

DIE ANWENDUNG NATUERLICHER UND KUENSTLICHER TRACER IN EINEM HOCHALPINEN MEGNESITBERGBAU

J.E. Goldbrunner, P. Ramspacher, H. Zojer, J.G. Zötl, Graz/A

Institut für Geothermie und Hydrogeologie, Forschungszentrum Graz

H. Moser, W. Rauert, W. Stichler, München

Institut für Radiohydrometrie, GSF München/BRD

Abstract: To compare different hydrogeological methods in the field of application in the magnesite mine of Radenthein/Austria natural and artificial tracers have been used. The results represent a corresponding proof concerning the recharge areas and the underground storage of selected waters. Thus gave the possibility to establish an optimum drainage system in the mine.

1. Die geologischen Grundlagen

Die Magnesitlagerstätte an der Nordflanke der Millstätter Alpe ist zwischen altkristallinen Gesteinsserien eingeklemmt, die bergwärts als Glimmerschiefer ausgebildet sind, während im Liegenden in die Schiefer immer wieder karbonatische Lagen (Kalkmarmore) eingeschaltet sind. Die Form der Lagerstätte als ein talwärts umgebogener Keil weist auf Hangbewegungen hin, die bereits zu einer Zeit wirkten, als noch kein Magnesit abgebaut wurde. Relikte dieser durch die glaziale Talvertiefung hervorgerufene Bergzerreissung sind Verebnungen und Grosswülste nordöstlich der Millstätter Alpe sowie ein Doppelgrat. Die kleinen Mulden sind örtlich von Seen ausgefüllt.

Reaktiviert wurde der Talzus Schub sowohl durch den schon seit längerem abgeschlossenen obertätigen Magnesitbergbau als auch durch die in der Folge in hohem Umfange ablaufenden Arbeiten unter Tage. Die durch den Abbau hervorgerufenen Hohlräume werden durch Gesteine des Hangenden des Magnesitzuges wieder aufgefüllt, wobei der blättrige Zerfall dieser Gesteine sicher die rezente Hangdeformation an der Oberfläche begünstigt. Sie ist in deutlichen Absackungen an der unteren Nordostflanke der Millstätter Alpe erkennbar.

2. Die Erfassung der Wasseraustritte

2.1 Die obertätig austretenden Quellen

Die Quellaufnahme im Hinterland des Magnesitbergbaues, die in der Zeit vom 25. bis 30. Juli 1978 durchgeführt wurde, brachte eine Differenzierung der Wasseraustritte in fünf Bereiche.

- Im gegenwärtig von massiven rezenten Bewegungen verschonten höchstgelegenen Gebiet sind Hinweise auf einen auf den Eisschurf zurückzuführenden Talzus Schub unverkennbar. Schon in diesem hochgelegenen Areal ergeben allein die einfachen Feldmessungen erste Hinweise auf eine differenzierte unterirdische Entwässerung. Jene Quellen, die im steilen Hinterland der Absetzungen entspringen, weisen sowohl eine ausserordentlich niedere Wassertemperatur (unter $3,6^{\circ}\text{C}$) als auch eine niedrige elektrolytische Leitfähigkeit (unter $15\ \mu\text{S}/20^{\circ}\text{C}$) auf (Quellennummer 28, 32, 36, 38).

Höhere Quellwassertemperaturen treten dort auf, wo die Austrittsstelle relativ flach ist (besonders Nr. 39, 40) oder die Möglichkeit einer Anreicherung der Quellen von stehenden Oberflächenwässern her gegeben ist. Hier kann auch eine leicht erhöhte elektrolytische Leitfähigkeit Hinweise geben, was bei den Quellen 29, 30, 31, 33, 34 und 35 der Fall ist.

- Im Zerrungsbereich zwischen 1720 und 1850 m gelegen, finden sich sowohl Wasseraustritte als auch Versickerungsstellen. Letztere trifft man schon im obersten Zerrgebiet, wo ein Gross-

teil der oben angeführten Quellwässer versiegt.

Von den Quellen im Zerrungsbereich tragen die Wässer der Gruppe Nr. 14 - 16 aufgrund der höheren Temperatur und Leitfähigkeit Anzeichen sekundären Ursprungs, zumal auch hinsichtlich ihrer Schüttung ihr Einzugsgebiet eindeutig über die höchstgelegenen Zerrspalten hinausgehen muss. Sehr unterschiedlich sind die Feldparameter der Quellen 12, 13 und 17 - 21, wobei manche von ihnen wohl Folgeaustritte sind, während weiter im SE (Nr. 22, 23, 41) eine direkte Entwässerung aus dem Bergleib erfolgen dürfte.

- Der Tagbaubruch wird durch eine Reihe von Quellen von stark unterschiedlichem Charakter entwässert. Die grösste Quellgruppe entspringt an der Basis des nördlichen Tagbaues mit einer Gesamtschüttung von mehr als 30 l/s (Nr. 5, 6, 7). In ihrer Nähe tritt auch die Quelle Nr. 4 auf einer etwas höheren Etage aus. Stark unterschiedlich sind die Feldmesswerte bei den in verschiedenen Höhen im Südabschnitt des Tagbaues entspringenden Quellwässern. Höhere Temperaturen (zur Aufnahmezeit!) weisen auf einen nahen Oberflächeneinfluss hin, die hohe elektrolytische Leitfähigkeit der Wässer (über 400 Mikrosiemens) lässt wiederum ihr Einzugsgebiet in Magnesit- oder Dolomitlagen vermuten. Ihre genaue Einstufung wird wohl auch vom Verbrauch in den Tagbauetwagen etwas behindert.
- Die Quellen im Bereich des Nöringsattels werden nicht mehr vom Bergbau beeinflusst, sie versiegen im Schutt des Abraummateri- als. Eine der Quellen bildet den Ursprung des Nöringbaches.
- Im SE-Bereich des Untersuchungsgebietes, etwa zwischen dem Hauptlager und dem Löschteich, treten einige Quellen aus, die sowohl noch im alten Bruchbereich liegen (25, 42-44) als auch im Gebiet darunter (26, 27, 45, 46), dem auch die Trinkwasserversorgung von Schwarzwald angehört. Alle diese Wässer erreichen Leitfähigkeitswerte um 200 Mikrosiemens.

Die Versickerung von Oberflächenwässern in nicht verkarsteten Gebieten ist entweder an offene Spalten und Fugen oder an Lockermaterial gebunden. Im Untersuchungsgebiet wurden 8 markante Ver-

sickerungsstellen aufgenommen. Am Nöringsattel strömen Gerinne von grösseren Höhen ab und versickern im dort angelagerten Schutt der Abraumhalden (E 1, E 2). Die weiteren Infiltrationspunkte liegen auf der Kälbergrön, wobei vier davon Oberflächenwasser im obersten Zerrspaltensystem aufnehmen (E 3 - E 6). Wie unterschiedlich die Lagerung der zerbrochenen Gesteinsmassen in diesem Bereich ist, zeigt E 7, wo am selben Hang ca. 30 m tiefer das Oberflächenwasser der Quellen Nr. 39 und 40 versickert. Die Quellen Nr. 14 - 16 bilden den Ursprung des sogenannten Wildbaches. Dieser versiegt in etwa 1780 m Höhe gänzlich (E 8), um etwa 50 Höhenmeter tiefer wieder auszutreten, allerdings mit einer geringeren Wasserführung. Weitere Versickerungen liegen im Südteil der Etage 10 (E 9).

2.2 Die Grubenwässer

Durch den Abbau unter Tag ist auch die Wasserzirkulation in der Grube Veränderungen unterworfen. Dies trifft umso mehr zu, als nicht nur die bergbautechnisch bedingten Hohlräume entstehen und damit ein künstliches Vorflutniveau geschaffen wird, sondern auch das durch den Talzus Schub nachrückende Gebirge immer wieder einen Wechsel in der Wasserwegigkeit bewirkt.

Aus diesen Gründen ist grundsätzlich mit Verlegungen von Wasseraustritten im gesamten Grubenbereich zu rechnen. Dies bewirkt auch eine schwierige Interpretation der untertätigen Wasserbewegungen. Zur Orientierung ist auf das Lagerstättenprofil (Fig. 1) zu verweisen:

UN = Unterschneidniveau
AN = Abzugsniveau
8/1 = Nummer des Wasseraustrittes
DA = Damm
MW = Messwehr
Q = Querschlag
WSN = Wetterschacht Nord
Sch = Schacht

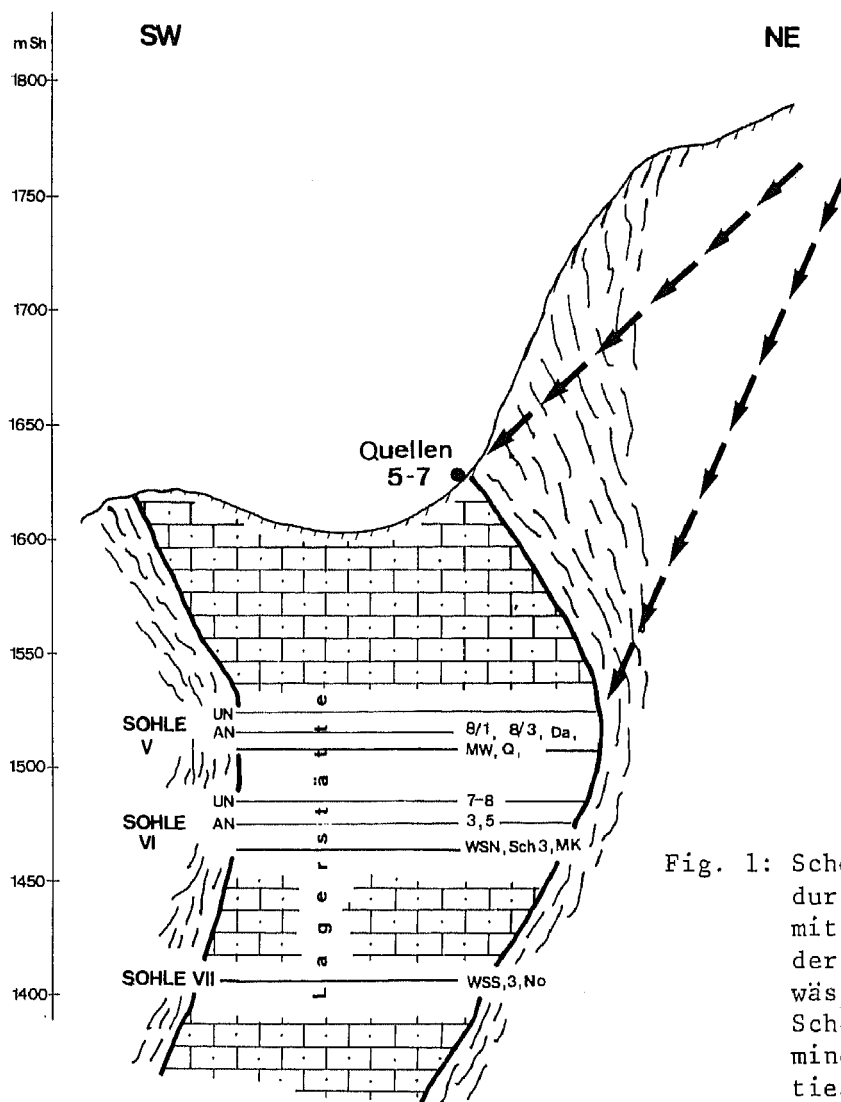


Fig. 1: Schematisches Profil durch die Lagerstätte mit einer Eingliederung der wichtigsten Grubenwässer.
Schematic profile of the mine including the localities of subsurface springs.

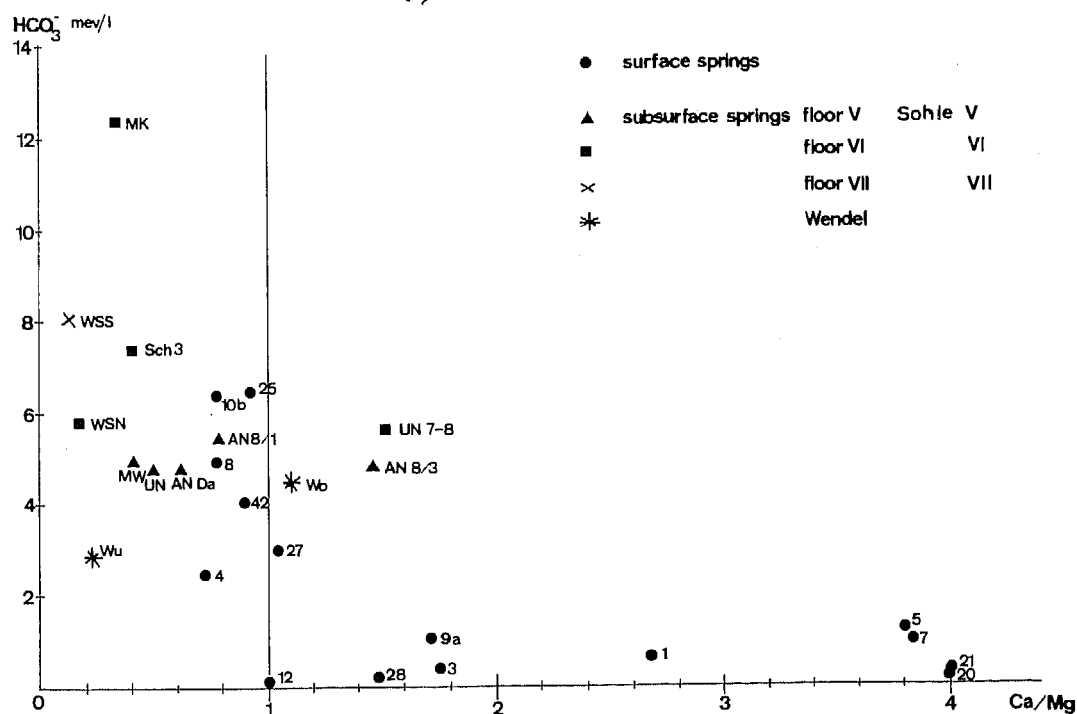


Fig. 2: Ca/Mg-Verhältnis in Beziehung zum HCO_3^- -Gehalt ausgewählter Wässer
Ca/Mg ratio versus the bicarbonate content of selected waters

MW = Maschinenkammer
WSS = Wetterschacht Süd
No = Nordstrecke

Sehr gering sind die Wassermengen, die auf Sohle V vom Unterschneidniveau des Versuchsblocks abströmen, sie waren ab dem Sommer 1978 nur mehr als stärkeres Tropfwasser erkennbar. Im Abzugsniveau des Versuchsblocks sind sowohl bei den Trichtern 1 und 3 des Querschlages 8 als auch auf dem Damm, der als Folge eines Grubenunglücks vom Jänner 1978 zwischen den Querschlägen 8 und 7 errichtet wurde, rege Wasseraustritte festzustellen.

Alle Wässer dieser Sohle werden im Niveau des Grundgleises durch zwei Messwehre erfasst.

Der nördliche Austritt von Grubenwässern auf der Sohle IV erfolgt beim Wetterschacht Nord. Seit dem Beginn der Untersuchungen fließen auf dieser Sohle kontinuierliche Wassermengen aus dem Schacht 3 und aus einer Kluft bei der Maschinenkammer.

Die Sohle VII wird durch die sogenannte Wendel aufgeschlossen. Entlang des Förderstollens, der auch mit der Sohle VI verbunden ist, treten an beiden Ulmen Sickerwässer zu, von denen jeweils solche in der Nähe des Mundloches (Station 72) und solche knapp vor Erreichen der Sohle VII für hydrogeologische Untersuchungen herangezogen wurden. Vom Beginn der Untersuchungsperioden an erfolgte eine Beobachtung von Grubenwasser aus dem Wetterschacht Süd.

3. Die chemisch-physikalischen Eigenschaften der Wässer

3.1 Die Untersuchung der wichtigsten Leitionen

Sowohl für die Charakterisierung der obertätig austretenden Quellwässer als auch der Grubenwässer wurden als Leitionen die Erdalkalien Calcium und Magnesium und das Hydrogencarbonat als Anion herangezogen. Besondere Berücksichtigung fand dabei das Ca/Mg-Verhältnis, um eine wirkungsvolle Trennung zwischen Magnesitwässern und dem Berggrundwasser aus dem tauben Gestein zu erzielen. Eine Kontrolle des Erdalkaligehaltes bildet hierbei die

Konzentration von HCO_3^- , da als Anionenrest nur geringe Spuren an Sulfat und Chlorid auftreten.

Grubenwässer, die aus dem "Alten Mann" entspringen, der vornehmlich gebrochenes Material mit hohem Magnesitanteilen enthält, weisen eine - entsprechend der Lösungsbereitschaft des stark aufgearbeiteten Materials - hohe Anreicherung von Magnesium auf. Dem gegenüber vermindert sich der Magnesiumgehalt bei jenen Wässern, deren Einzugsgebiet in den bergseitig aufgeschlossenen kristallinen Schiefern liegt; sie gelangen wohl in erster Linie entlang der Kontaktzone Schiefer-Magnesit in die Grube (Fig. 1).

Eine hydrochemische Eingliederung von Grubenwässern und ausgewählten obertätigen Quellwässern vermittelt Figur 2 in einer Gegenüberstellung des Ca/Mg-Verhältnisses zum HCO_3^- -Gehalt. Geringmineralisierten Wässern ist im allgemeinen ein Calciumübergewicht eigen (Nr. 12, 28, 3, 9a, 1, 31, 20, 5, 7). Sie stammen aus den höher gelegenen Einzugsgebieten, wo die Granatglimmerschiefer überwiegen und stehen nicht im Kontakt mit Magnesiumkarbonaten. Die höher mineralisierten obertätigen Wasseraustritte sind durch ein Ca/Mg-Verhältnis gekennzeichnet, das etwa zwischen 0,8 und 1 liegt. Der beachtliche Unterschied im HCO_3^- -Gehalt (2,5 bis 6,5 meV/l) deutet auf einen nicht einheitlichen Kontakt mit Karbonatgesteinen hin. So ist besonders bei den Quellen Nr. 25, 10b, 8 und auch 4 mit vornehmlich stark magnesiumhaltigen Gesteinen (Magnesit und Dolomit) in ihrem Einzugsgebiet zu rechnen, während die Quelle Nr. 27 hauptsächlich das Liegende der Lagerstätte (unter anderem auch Marmor) entwässert.

Bei den Grubenwässern ist eine generelle Zunahme der Mineralisierung mit der Tiefe festzustellen. Aus der Reihe fällt hier Mk (Sohle VI), in deren unmittelbaren Einzugsgebieten der "Alte Mann" besonders stark aufgearbeitet zu sein scheint und daher eine ausserordentlich hohe Lösungsbereitschaft zeigt.

Alle Grubenwässer mit einem Magnesiumübergewicht durchströmen vor ihrem Austritt über eine bestimmte, wenn auch unterschiedlich lange Strecke den "Alten Mann", wobei die Wässer der tiefe-

ren Sohlen infolge des in dieser Zone noch wirkungslosen Talzuschubes in stärker zerbrochene Gesteinsbereiche der Lagerstätte gedrängt werden. Aus diesen Gründen ist neben dem hohen Gehalt an Bikarbonaten auch der Magnesiumüberhang gegenüber dem Calcium beträchtlich. In Bereichen, wo im Sommer 1978 der Talzuschub besonders wirksam war (Sohle V), zeigt das Ca/Mg-Verhältnis der Grubenwässer deutliche Unterschiede in Abhängigkeit von der Lage der Austritte im Bezug zur Kontaktfläche kristalline Schiefer-Lagerstätte. Hier zeigt sich z.B. auf AN der Sohle V, dass Unterschiede auch auf engem Raum auftreten können. Die Proben AN/Damm und AN 8/1 weisen noch einen deutlichen Magnesiumüberschuss auf, während AN 8/3 - nur wenige Meter weiter bergseitig gelegen - bei ungefähr gleicher Konzentration von HCO_3^- ein klares Calciumübergewicht aufweist. Hier ist der Einfluss der bergseitigen Kontaktzone eindeutig nachweisbar.

Aussagekräftig ist auch die Betrachtung der chemischen Hauptkomponenten im jahreszeitlichen Vergleich. Die Beobachtungsperiode erstreckt sich vom Frühjahr bis zum Herbst 1978. Der eben noch im Frühsommer 1978 bei Sohle V AN 8/3 festgestellte Calciumüberhang ändert sich unmittelbar nach dem Trockenfallen des benachbarten Trichters 8/1. Hier werden die Wässer des "Alten Mannes" offensichtlich zu den benachbarten Austritten (8/3; Da) umgeleitet, zumal sich auch das Wasser aus dem Damm in seiner Beschaffenheit merklich zugunsten des Magnesiums ändert. Auf der anderen Seite führt der Querschlag 3 auf AN der Sohle VI ab Herbst 1978 jene Wässer ab, die in der Zeit vorher vom Messwehr (MW) der Sohle V entlang des Grundgleises dem Mundloch zuströmte und durch seinen hohen Mg-Anteil auffällt.

Aus den chemischen Analysen lässt sich der Einfluss der Schneeschmelze, der sich in einer Verminderung der Mineralisierung äussern müsste, nur sehr schwer ablesen. So steigt der Mineralgehalt bei den Wässern der Sohle V durchwegs an, was auf eine nicht unwesentliche Beimengung von länger gespeicherten unterirdischen Wässern zurückzuführen ist, während im Mittelfeld der Sohle VI (Sch 3, MK) doch eine deutliche Verringerung der Erdalkalienionensumme im Juni erkennbar ist. Dieses Absinken der Mi-

neralisierung geht - zumindest bei MK - mit einer Verschiebung des Ca/Mg-Verhältnisses zugunsten des Calciums konform.

3.2 Isotopenmessungen

3.2.1 Die stabilen Isotope Deuterium und Sauerstoff-18

Die Probennahme für Isotopenuntersuchungen erstreckte sich in unregelmässigen zeitlichen Abstand vom 20.3.1978 bis zum 24.4.1979. Sie umfassten sowohl Grubenwässer als auch an der Oberfläche austretende Quellwässer.

Im Vergleich der beiden stabilen Isotope Deuterium und ^{18}O ergibt sich eine Bezugslinie, die in nachstehender Gleichung ausgedrückt werden kann:

$$\delta\text{D} = 8,6 \cdot ^{18}\text{O} + 12,7$$

Der Deuteriumüberschuss dieser Beziehung ist einem gewissen Einfluss des Niederschlages mediterranen Ursprungs gegeben. Der Höheneffekt schlägt insofern durch, als in Fig. 3 eine Beziehung der Höhe der Quellaustritte und dem ^{18}O -Gehalt zur Zeit der Probennahmen, das ist im Juli 1978, erkennen lässt. In diesem Diagramm sind lediglich die oberirdischen Wasseraustritte zusammengefasst. Es ist ersichtlich, dass generell eine Dreiteilung der Wässer entsprechend der Höhenstufen des Einzugsgebietes mit deutlich unterschiedlichem ^{18}O -Gehalt vorliegt. Ein besonders hochliegendes Einzugsgebiet besitzen die Quellen Nr. 39 und 28. Aus der generellen Höhenabhängigkeit der ^{18}O -Werte fallen allerdings zwei Gruppen (A, B) heraus. Bei den Quellen Nr. 31 und 35 ist ein ihrer Seehöhe entsprechend zu hoher ^{18}O -Gehalt erkennbar. Die Ursache dieses Herausfallens beider Quellwässer liegt in einer teilweisen Anreicherung dieser Wässer durch kleine Karsen, die als stehende offene Wässer dem Verdunstungseffekt und einer entsprechenden Isotopenfraktionierung unterliegen.

Ein anderes Phänomen zeigt die Quellgruppe B (Quellen Nr. 5, 7), deren Wasser eine für die Austrittshöhe von ca. 1600 m im Nordteil der Etage 10 im ehemaligen Tagbau eine für diese Höhenlage zu niedrige ^{18}O -Konzentration enthält. Dies bedeutet, dass ihr

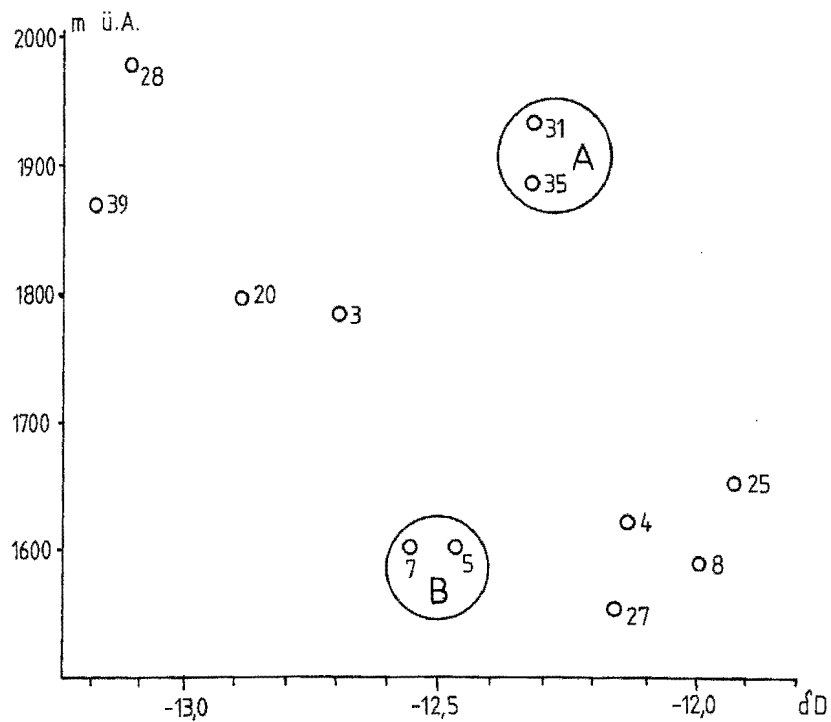


Fig. 3: Die Höhenlage der Quellaustritte in Beziehung zum Sauerstoff-18-Gehalt von Quellwässern (Juli 1978)

Relationship between the elevation and oxygen-18 content of surface springs (July 1978).

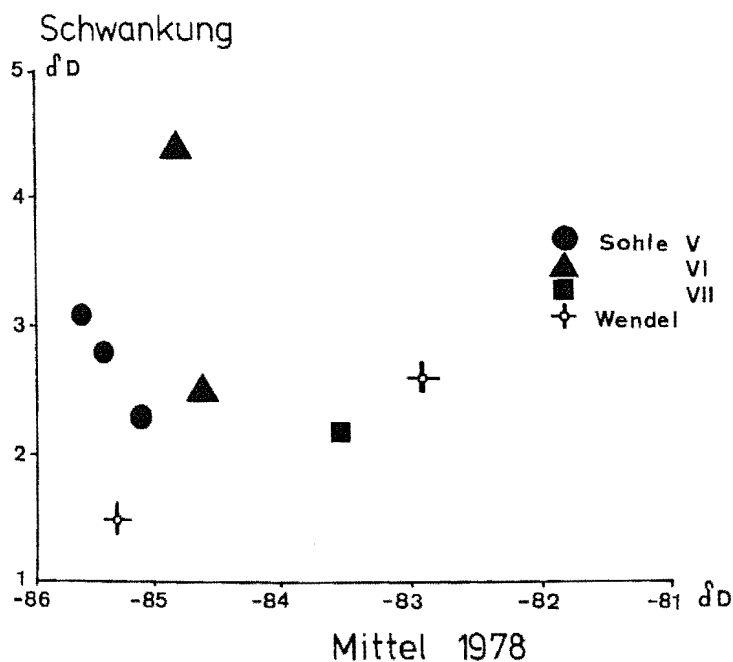


Fig. 4 : Das Jahresmittel 1978 des Deuteriumgehaltes von Grubenwässern und deren Schwankungsbreite

2H -average and fluctuations of mine waters 1978

Einflussgebiet sehr hoch bis in die Gipfelregion hinaufreichen muss. Hier deutet sich an, dass durch hochliegende Quellen austretende Wässer, die in den obersten Zerrspalten versickern, bei diesen beiden Quellen wieder austreten können.

Neben diesen Aussagen über die isotopenhydrologische Einstufung der Quellwässer an der Nordostflanke der Millstätter Alpe lassen sich auch die Grubenwässer in ein bestimmtes Entwässerungssystem einordnen.

Fig. 4 zeigt eine Gegenüberstellung des ^{18}O -Gehaltes von Grubenwässern, wobei der Schwankung von 6 - 7 Messungen im Jahre 1978 den mittleren ^{18}O -Gehalt derselben Wässer im selben Zeitraum gegenübergestellt wurden. Die geringste Schwankung des ^{18}O -Gehaltes zeigt der Wasseraustritt in der unteren Wendel, dessen Einzugsgebiet zwar relativ hoch hinaufreicht, das Wasser in diesem aber gut durchmischt ist. Die grössten Schwankungen im ^{18}O -Gehalt besitzt das Grubenwasser des Schachtes 3 (Sch3) auf der Sohle VI; die Ursache ist in einer schnelleren Verbindung zur Oberfläche und einem schnelleren Einsickern von Niederschlägen zu suchen. Dazwischen liegen in der Schwankungsbreite die übrigen für diese Untersuchungen herangezogenen Grubenwasseraustritte. Der niedrigste mittlere ^{18}O -Gehalt ist den Grubenwässern der Sohle V eigen (zwischen -12,6 und -12,1 ‰), was ein hochliegendes Einzugsgebiet der unterirdischen Wasseraustritte bedingt.

Im Gegensatz dazu liegt das Grubenwasser der Sohle VII (zwischen -11,9 und -12,1 ‰), das den höchsten ^{18}O -Gehalt aufweist. Daraus lässt sich der Schluss ableiten, dass die tief im Bergleib austretenden Grubenwässer bei Sohle VII nicht oder nur in geringer Masse von dem in dem Bereich der Kälbergrönlalm versickernden Oberflächenwässern angereichert werden. Im Gegensatz dazu dürfte der niedrige ^{18}O -Gehalt der Grubenwässer von der Sohle V sehr wohl auf eine Beeinflussung von Wässern aus einer grösseren Höhe hinweisen. Es ist daher aus diesem Diagramm zu schliessen, dass die im Bereich der obersten Zerrspalten versickernden Gerinne zum Teil in der Grube und hier auf der Sohle V austreten.

Diese Aussage wird auch durch den Jahresgang des Deuteriums von ausgewählten Wässern der Sohlen V, VI und VII bestätigt.

Bei einer gemeinsamen Interpretation der hydrochemischen und isopenhydrologischen Messungen ergibt sich eindeutig der Schluss, dass die Versickerung von Oberflächenwässern und Niederschlagwässern höherer Einzugsbereiche, die in die Grube eindringen, in erster Linie (solange es möglich ist), entlang des Kontaktes vor sich geht, und erst wenn eine Weiterverbreitung des Wassers entlang dieser Zone nicht mehr möglich ist, ein Eindringen in den "Alten Mann" erfolgt. Im Zuge der bergbautechnischen Massnahmen soll daher im Sinne der Sicherheit vor allem dem Wasser die Möglichkeit gegeben werden, sich frei an diesem Kontakt in die Grube zu bewegen, wobei generell verhindert werden soll, dass es sich im "Alten Mann" verteilen kann.

3.2.2. Tritium

Als günstig für die Interpretation der Tritiumdaten ist die Tatsache anzusehen, dass im Mai 1974 eine im Niederschlag ungewöhnlich hohe Tritiumkonzentration auftrat (Station St. Peter am Katschberg 470 T.U.).

Die meisten Wasserproben aus dem Grubenbereich zeigen Werte zwischen 90 und 125 T.U.; im Gegensatz dazu steht die Durchschnittstritiumkonzentration des Niederschlages der Jahre 1976/77/78 von 80 T.U.. Dies weist für den Hauptteil der Grubenwässer auf eine Verweilzeit von 2 - 3 Jahren hin, und zwar zeigt sich eine systematische Zunahme des Grundwasseralters von der Probennahmestelle Wendel oben (Wo) zu jenen auf den Sohlen V - VII. Es ist also auch aus den Tritiumuntersuchungen zu erkennen, dass auf den tieferen Sohlen der unmittelbare Einfluss von der Oberfläche abnimmt.

Niedrige Tritiumgehalte von ungefähr 20 T.U. fanden sich in Proben der Probennahmestelle Wendel unten (Wu). Dies lässt sich nur durch erhebliche Anteile von Wässern mit einem Alter von mehr als 25 Jahren erklären. Hinweise auf eine gute Durchmischung des Reservoirs dieses Wasseraustrittes lieferte schon die geringe Schwankung der ^{18}O und Deuterium-Gehalte in der Beobachtungsperiode.

4. Der kombinierte Markierungsversuch vom Sommer 1978

4.1 Vorarbeiten und Durchführung des Versuches

Aus Gründen, die in der möglichen Anreicherung von Wässern im Bruch- und Grubenbereich liegen, wurden für den kombinierten Markierungsversuch sechs Versickerungsstellen zur Eingabe von Markierungsstoffen ausgewählt

- a) Nöringsattel Süd - E 1 (1660 m)
- b) Nöringsattel Nord - E 2 (1660 m)
- c) höchstliegende Zerrspalten - E 5 (1850 m)
- d) alte Versickerungsstelle - E 7 (1820 m)
- e) Wildbach - E 8 (1780 m)
- f) Versickerung Etage 10 - E 9 (1600 m).

Die Eingabe der Markierungsstoffe erfolgte am 10. August 1978:

- E 1: 1.000 kg KCl (7:15 bis 11:30 Uhr)
- E 2: 7,5 kg Amidorhodamin G (11:45 bis 12:20 Uhr)
- E 5: 4,9 kg Rhodamin FB (7:25 bis 8:00 Uhr)
- E 7: 8 kg Uranin (8:00 bis 9:45 Uhr)
- E 8: 10 kg Tinopal (9:00 bis 9:40 Uhr)
- E 9: 1.500 kg NaCl (7:00 bis 12:15).

An der Versickerungsstelle E 9 wurde das NaCl kontinuierlich in den Untergrund eingebracht, da nur eine Teilversickerung des Oberflächenwassers über eine längere Strecke zum Zeitpunkt der Eingabe vorhanden war. Die Schwinden E 3, 4 und 6 wurden nicht beschickt.

Die Quellen an der Oberfläche wurden vorerst stündlich beprobt, später ging man auf weitere Zeitintervalle, in der Grube begann man im 8-stündlichen Rhythmus.

Alle Probennahmestellen wurden zur farbqualitativen Analyse mit Kohlesäckchen versehen, die in unregelmässigen Abständen mehrmals gewechselt wurden.

4.2 Die Messergebnisse

Ein quantitativer Nachweis sowohl des Uranins als auch Rhodamins konnte nur bei oberflächlichen Wasseraustritten gemessen werden. Der erste Nachweis einer Farbe ergab sich am 10. 8. 1978 um 18:00 Uhr bei W 1, das sind zehn Stunden nach der Einspeisung, die Spitze stellte sich am 11.8 um 11:00 Uhr ein, das sind 27 Stunden nach der Einspeisung. In Anbetracht der kurzen Entfernung zwischen der Einspeisung und der Messstelle von wenigen Metern ist dies eine relativ lange unterirdische Verweilzeit, die darauf hinweist, dass das Wasser vorerst in grössere Tiefen transportiert und dann in diesem stark zerbrochenen Bereich wieder herausgedrückt wird. Quantitative Messergebnisse lassen auch die Direktmessung bei den Quellen 5, 6 und 7 zu, wobei bei der Quelle Nr. 7 der grösste Farbnachweis mit etwa 6 mg/m^3 Uranin erfolgte. Generell ist allerdings festzustellen, dass die Spitze bei allen 3 Quellen zur selben Zeit erfolgte, nämlich am 3.8.79, das sind 23 Tage nach Einspeisung des Farbstoffes.

Ein eindeutiger Nachweis des eingegebenen Kochsalzes erfolgte bei der Messstelle Maschinenkammer auf Sohle VI im Mittelfeld der Grube, die obertägige Eingabestelle liegt direkt über diesem Wasseraustritt. Der Chloriddurchgang lässt erkennen, dass etwa Anfang Oktober, das ist ungefähr zwei Monate nach der Einspeisung, die Spitze erreicht wurde. Hingegen ist der Natriumdurchgang etwas verzögert, aber doch deutlich erkennbar, wobei im Frühjahr des Jahres 79 einige Schwankungen eingetreten sind. Es ist nicht eindeutig nachzuweisen, ob es sich um natürliche Schwankungen handelt. Das würde bedeuten, dass von der Etage 10 nur eine vertikale Fliessbewegung in den Untergrund erfolgt, die dann auf Sohle VI endet.

Auf der Sohle V ergaben die Uraninmessungen erste Nachweise dieses Farbstoffes im Abzugsniveau beim Damm und beim Querschlag 8/ Trichter 3 in der Zeit zwischen 30.8. und 6.9.78, was einer unterirdischen Verweildauer von 20 bis 27 Tagen entspricht. Dieser Uraninnachweis war in der Folge bis zum 25. Oktober desselben Jahres zu beobachten, in der Probenserie zwischen 25.10. und

10.11.78 lag die Konzentration unter der Nachweisgrenze, in der folgenden Beobachtungszeit bis Anfang Dezember waren keine Uraninspuren mehr nachweisbar. Einen weiteren Nachweis ergaben die Uraninmessungen mit Hilfe von Kohlesäckchen beim Wehrquerschlag. Auf Sohle VI setzte ein eindeutiger Farbnachweis durch Uranin bei UN Querschlag 7 am 5.9.78 ein, der in der Folge durchgehend bis etwa 15.2.79 erkennbar war.

Zwischen Mitte Jänner und Mitte Februar 1979 war ausserdem auf Sohle VI im Abzugsniveau beim Schacht 3 bergwärts ein eindeutiger Uraninnachweis vorhanden. Damit war auf der Sohle VI ein Nachweis von Tracern aus dem Zerrungsbereich der Oberfläche nur im Nordfeld nachweisbar, während im Mittelfeld keine Uranin- oder andere Farbspuren nachgewiesen werden konnten. Im Mittelfeld wohl auch deshalb, weil nach Auflassen der Sohle V die Entwässerung eine Stufe in die Tiefe geführt wurde, wodurch jenes Wasser, das ursprünglich auf dieser Sohle auftrat, in der Folge (etwa ab Herbst 1978) auf Sohle VI zum Vorschein kam.

Die Ergebnisse des Markierungsversuches zeigen generell eine klare Bestätigung der Daten und Resultate, die aus den hydrochemischen und isotonhydrologischen Interpretationen hervorgegangen sind. Sie beweisen aber, dass zur Bestätigung verschiedener Ergebnisse auch verschiedene Methoden notwendig sind, wodurch die Aussagekraft der Ergebnisse wesentlich erhöht wird. Es ist eindeutig bewiesen, dass die oberirdische Versickerung von Wässern bei den Zerrspalten in den verschiedenen Höhenbereichen unterhalb der Kälbergrönlalm in direkter Verbindung mit den einzelnen Sohlen unter Tage stehen. In diesem Zusammenhang sei auf das Nordfeld verwiesen, wo sowohl ein Austritt der Wässer bei den darüberliegenden Quellen 5, 6 und 7 erfolgt, als auch bis zum Herbst 1978 auf Sohle V und auf Sohle VI ab diesem Zeitpunkt. Dies bedeutet, dass hier einerseits eine Wasserzirkulation entlang des Kontaktes in die Grube erfolgt, andererseits aber auch eine direkte Verbindung zu den oberirdisch austretenden Quellen vorhanden ist. Dies schliesst eine Verbindung zwischen den weiter unten austretenden Quellen und der darunterliegenden Sohle V bzw. VI aus.

5. Folgerungen

Die wichtigste Massnahme ist nach der Ableitung von Oberflächenwässern vor Erreichen der obersten Zerrspalten sicher die Aktivierung der Wasserwegigkeit unter Tage im Bereich des Kontaktes, wobei dadurch in erster Linie vermieden werden soll, dass Wasser aus der Kontaktzone in den "Alten Mann" und vom "Alten Mann" schliesslich in die Grube durchdringen können. Es ist von grösster Wichtigkeit, dass die Wasserwegigkeit am Kontakt so weit als möglich aufrechterhalten bleibt.