

## Hydrogeologische Untersuchungen zur Abklärung des Einzugsgebietes der Weißbachquellen (Gamperdonatal, Vorarlberg)

*Hydrogeological Investigations for the Identification of the Catchment Area of the Weißbach Springs (Gamperdonatal, Vorarlberg)*

H. P. LEDITZKY, P. RAMSPACHER & R. SUTTERLÜTTI<sup>1)</sup>

### Inhalt

	Seite
Einleitung.....	6
1. Die geologischen Verhältnisse.....	6
1.1. Festgestein.....	6
1.1.1. Tektonische Grundzüge.....	6
1.1.2. Lithologie.....	6
1.1.2.1. Raibler Schichten.....	6
1.1.2.2. Hauptdolomit.....	8
1.1.2.3. Aroşa-Zone.....	9
1.2. Quartäre Ablagerungen.....	9
2. Quellkartierung.....	10
2.1. Weißbachquellen.....	10
2.2. Mühlebach.....	12
3. Hydrochemische Langzeituntersuchungen.....	15
3.1. Sulfatgehalt.....	16
3.2. Calcium- und Magnesiumgehalt.....	17
3.3. Berechnung thermodynamischer Gleichgewichte.....	18
3.3.1. Theoretische Grundlagen.....	18
3.3.2. Interpretation der Berechnungen.....	18
4. Isotopenmessungen.....	20
5. Markierungsversuch.....	24
5.1. Auswahl der Einspeisungsstellen.....	24
5.2. Einspeisung der Markierungsstoffe.....	24
5.3. Probennahmestellen.....	26
5.4. Laboranalysen und Farbstoffnachweise.....	27
6. Wasserbilanzierung der Weißbachquellen.....	30
7. Schlußfolgerung.....	32
Zusammenfassung.....	33
Literatur.....	34
Summary.....	34

<sup>1)</sup> Dr. H. P. LEDITZKY, Dr. P. RAMSPACHER, Dr. R. SUTTERLÜTTI, Institut für Geothermie und Hydrogeologie, Forschungsgesellschaft Joanneum Ges.m.b.H., Elisabethstraße 16–18, A-8010 Graz.

## Einleitung

Die Weißbachquellen entspringen im Gamperdonatal, das von der Meng entwässert wird und das bei Nenzing (Vorarlberg) in das Illtal mündet. Mit einer mittleren Quellschüttung von ca. 400 l/s scheint dieses Quellvorkommen, das derzeit noch nicht genutzt wird, vom wasserwirtschaftlichen Standpunkt aus gesehen als zukünftige Trinkwasserreserve nicht uninteressant. Seitens der Vorarlberger Landesregierung wurde deshalb eine hydrogeologische Untersuchung der Weißbachquellen, mit dem Schwerpunkt der Klärung des Einzugsgebietes der Weißbachquellen, in Auftrag gegeben. Die Durchführung dieser Untersuchungen oblag dem Institut für Geothermie und Hydrogeologie der Forschungsgesellschaft Joanneum Ges.m.b.H. in Graz.

## 1. Die geologischen Verhältnisse

Eine geologische Übersicht des Gebietes östlich des Gamperdonatales ist in Fig. 1 dargestellt.

### 1.1. Festgestein

#### 1.1.1. Tektonische Grundzüge

Dachziegelartig liegen mehrere Schollen der zu den Nördlichen Kalkalpen gehörenden Lechtaldecke mit geringen Überschiebungsbeträgen übereinander. Westlich der Linie Brandner Tal-Zalimtal setzt der Jura endgültig aus, so daß der oberostalpine Westabschnitt des Rätikons nur durch Trias aufgebaut wird. Das Untersuchungsgebiet gehört dem nordöstlichen Teil der Fundlkopfscholle an. Der Innenbau dieser Scholle ist durch eine flache WSW-ENE verlaufende Muldenstruktur gekennzeichnet, der sogenannten Tschengla-Synklinale. Als nächsthöheres Hauptelement setzt gegen SE in der gesamten Breite des Rätikons die Schesaplanascholle an. Sie hat bei ihrem Nordwestschub bedeutende Massen an Arosa-Gesteinen hochgepreßt, die auf die Fundlkopfscholle entlang der Grenze aufgeschoben sind (Fig. 2).

#### 1.1.2. Lithologie

##### 1.1.2.1. Raibler Schichten

Die Raibler Schichten sind durch ihre bunte Zusammensetzung gekennzeichnet: glimmerreiche schwarze Tonschiefer, dunkle Kalke, Dolomite und Rauhacken in mehrmaliger fazieller Wiederholung. Im oberen Teil dominieren Kalke, Rauhacken und Gipse. Beim Vortrieb des Walgaustollens der Illwerke erwies sich diese Formation unter dem östlich des Untersuchungsgebietes liegenden Bürserberg als extrem wasserführend und schaufelbar. Die Gipse, die an der Grenze zwischen den Raibler Rauhacken und dem Hauptdolomit auftreten, können eine Mächtigkeit von mehr als 40 m erreichen und sind meist an ihren großen Dolinen aus der Morphologie heraus gut identifizierbar. Die Mächtigkeit der Raibler Schichten schwankt beträchtlich infolge der unterschiedlichen Mächtigkeit der Rauhacken und Gipse, mehr noch aber aufgrund ihrer starken tektonischen Beweglichkeit.

Während die Raibler Schichten in den unteren und mittleren Lagen dank der verstärkt auftretenden Tonschiefer mehr oder weniger dicht sind, sind die oberen Be-



reiche größtenteils wasserdurchlässig. Recht ergiebige Quellen sind teilweise nicht am Rand der Hauptdolomitsynklinale situiert, sondern treten in den obersten Raibler Schichten aus. Dies könnte bedeuten, daß das Einzugsgebiet der Weißbachquellen östlich des Fundlkopfes über das Hauptdolomitgebiet hinausgreifen kann und die

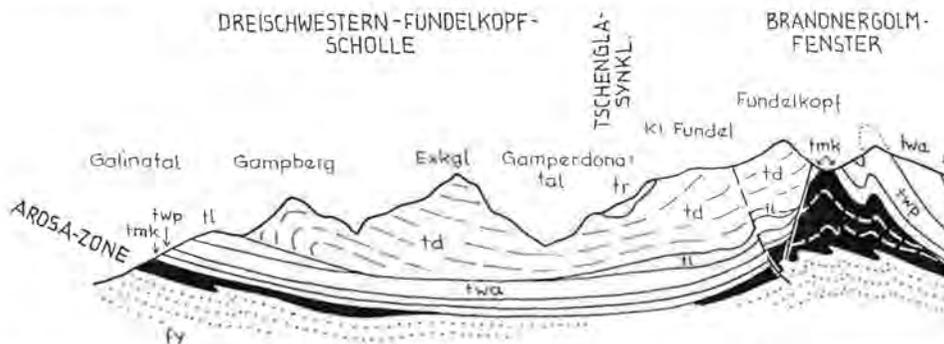


Fig. 2: Profil durch die Tschengla-Synklinale (A. TOLLMANN, 1976). tr – Kössener Schichten, td – Hauptdolomit, tl – Nordalpine Raibler Schichten und Karn i.a., twa – Arlbergschichten, twp – Partnachschichten, tmk – Alpiner Muschelkalk, fy – Flysch.

oberen Raibler Schichten besonders im Bereich des Parpfienzsattels in solche Überlegungen miteinbezogen werden müssen.

Die mächtigen Gipslagen bzw. Gipsdecken können fallweise eigene hydrogeologische Systeme bilden.

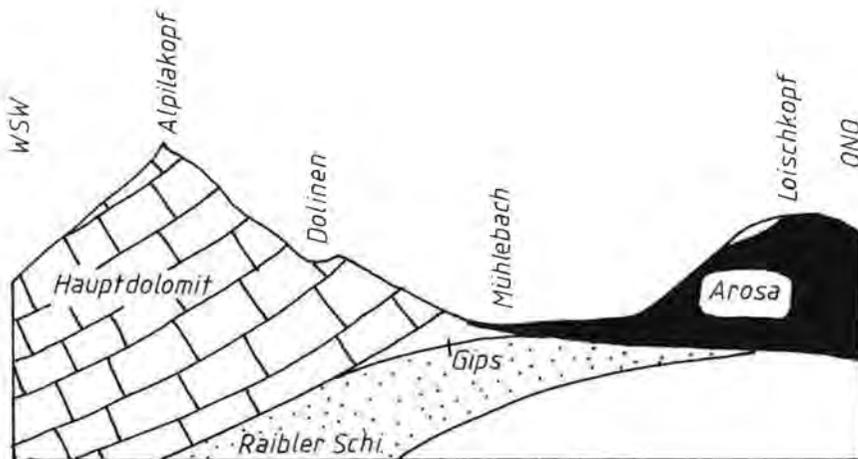


Fig. 3: Profil durch den Alpilakopf und Loischkopf.

### 1.1.2.2. Hauptdolomit

Die Formation des Hauptdolomits setzt sich aus hellbraunen oder hellgrauen, meist gut gebankten Dolomiten zusammen. Sie verwittern splittrig bis grusig. Sie können an ihrer Basis rauhwackoide Lagen beinhalten, die wasserdurchlässiger sind als die sonst sehr monotonen Dolomitbänke.

Mit Ausnahme von kleinen Lösungsdolinen in den südöstlichen Hochkaren der Fundlkopfgruppe, die sich unter idealen Bedingungen bilden konnten (Lage in abflußlosen Senken und relativ steiles Einfallen der Schichten), sind keine Karsterscheinungen zu beobachten. Auch ist im Hauptdolomit Vorarlbergs keine einzige Höhle bekannt. Dagegen bieten die Schichtfugen aufgrund der ausgeprägten Bankung eine bevorzugte Wasserwegigkeit. Kleinere Lösungsdolinen von bis zu 2 m Durchmesser und bis zu 2 m Tiefe treten in den östlichen Hochkaren des Schillerkopfes sowie des Alpilakopfes in einer Höhe um 1700 m auf. Im Gegensatz dazu konnte in den nordwestlichen Hochtälern der Fundlkopfgruppe nichts dergleichen gefunden werden. Es treten zeitweise sogar in relativ hohen Lagen kleinere Quellen aus, was seine Ursache sicherlich in den gegen NW geneigten Schichten und der bevorzugten Wasserwegigkeit entlang der Schichtgrenzen hat (Fig. 3). Große Einsturzdolinen im Hauptdolomit treten nur in Gebieten auf, in denen Gips im Liegenden des Hauptdolomits vorkommt, wie im Rätikon oder in der östlich davon gelegenen Davennagruppe. In der Fundlkopfgruppe tritt eine solche Einsturzdoline unterhalb der Schmalzberg-Jagdhütte auf, also direkt über den Weißbachquellen, mit einem Durchmesser von 60 m und einer Tiefe von 50 m. Besonders eindrucksvoll sind die Einsturzdolinen aber im Bereich des Schillerkopfes. Der sogenannte „Kessi“ nordwestlich des Gipfels erreicht eine Tiefe von 80 m und einen Durchmesser von ca. 200 m. Südlich und östlich des Schillerkopfes treten noch weitere größere Vertiefungen auf. Bezüglich ihrer Entstehung wird vermutet, daß Gips in den obersten Schichten gelöst wurde und der darüberliegende Hauptdolomit in die so entstandenen Hohlräume eingebrochen ist. Begünstigt werden solche Lösungsvorgänge durch die im Zentrum der Synklinale sicherlich vorhandenen Großklüfte und damit einer bevorzugten Wasserwegigkeit. Andererseits bedeutet die Lösung von so großen Gipsvorkommen eine zusätzliche Abdichtung des Hauptdolomits gegen die Raibler Schichten durch das in diesen unreinen Gipsen enthaltene nicht lösliche Material.

#### 1.1.2.3. Arosa-Zone

Der Arosaschollenteppich dient als Gleithorizont für die oberostalpinen Schollen. Diese zentralalpinen Schürflinge sind meist schlecht aufgeschlossen und häufig tektonisch stark beansprucht. Das Überwiegen von weichen Gesteinen (Tonschiefer, Mergel) ist am besten in der Morphologie des Loischkopfes dokumentiert, dessen runde Formen sich stark von den schroffen Hauptdolomitbergen der Fundlkopfgruppe absetzen. Typisch für die dichten Gesteine der Arosa-Zone sind auch die vielen kleineren seichten Tümpel, die auch nach längeren Trockenzeiten noch Wasser beinhalten. Lithologisch handelt es sich bei den Gesteinen der Arosa-Zone um meist stark zerrüttete, dunkle strukturlose Kalke in dm-Wechsellagerung mit roten oder schwarzen Tonschiefern, dunklen stark klüftigen Karbonaten, Mergel und Grünschieferblöcken. Die Arosa-Schichten können an den Hauptschuppengrenzen der Schollen aus der Unterlage hochgeschleppt sein oder an beweglichen Horizonten wie den Gipsmassen der Raibler Schichten innerhalb der oberostalpinen Schichtfolge gleichsam wie injiziert erscheinen.

## 1.2. Quartäre Ablagerungen

Das glazial überformte Gamperdonatal, ein Seitental des schon im Jungtertiär angelegten Illtales, ist charakterisiert durch einen relativ flachen Mittelteil und einen steilen Abfall am Ausgang des Gamperdonatales zum Walgau hin. Aufgrund des

kleineren und niedrigeren Einzugsgebietes des Gamperdonagletschers gegenüber dem des Illgletschers stand diesem Nebental eine viel kürzere Zeit zur Ausformung der Talsohle zur Verfügung und wurde deshalb weniger eingetieft. Da das Gamperdonatal zu Zeiten, als im Illtal ein mächtiger Gletscher lag, schon eisfrei war, kam es im unteren Teil des Tales zu großen Lockermaterialanhäufungen, die infolge des den Talaustritt blockierenden Illtalgletschers nicht abgeführt werden konnten. Heute liegen diese Ablagerungen als Bürser Konglomerat vor. Diese interstadialen Ablagerungen sind eine Folge eines einzigen, vermutlich würmzeitlichen Aufstaus, da keine Mehrphasigkeit festgestellt werden konnte. Der überwiegende Teil der Weißbachaustritte befindet sich an der Obergrenze des Gamperdonakonglomerates, die über eine längere Zeitdauer hinweg das Vorflutniveau darstellte.

## 2. Quellkartierung

Den ersten Untersuchungsschritt des hydrogeologischen Untersuchungsprogrammes zur Erfassung des Einzugsgebietes der Weißbachquellen stellte eine Quellkartierung dar, die im Oktober 1987 durchgeführt wurde. Die Quellaufnahme umfaßte die gesamte orographisch rechte Talflanke des Gamperdonatales vom Virgloria-Tobel bis zur Einmündung des Dunkelobelbaches in die Meng sowie die gesamte Ostabdachung zwischen Fundlkopf, Alpilakopf und Mondspitze. Neben der hydrogeologischen Situation und etwaiger Nutzung von Quellen wurden dabei folgende Geländeparameter erhoben:

- topographische Lage und Seehöhe sowie geologische Situation,
- Schüttung,
- Temperatur,
- elektrolytische Leitfähigkeit,
- pH-Wert.

Im Rahmen der Quellaufnahme wurden bei einem Großteil der Quellen Wasserproben zur Ermittlung chemischer und isotonhydrologischer Parameter im Labor gezogen.

Die Lage sämtlicher aufgenommenen Quellen ist Fig. 1 zu entnehmen.

### 2.1. Weißbachquellen

Die Austritte der Weißbachquellgruppe sind in Fig. 4 dargestellt, die Meßwerte wurden im Rahmen der Quellaufnahme im Oktober 1987 ermittelt.

Bei den unteren Weißbachquellen (100–129), die zur Zeit der Aufnahme zusammen ca. 500 l/s schütteten, handelt es sich um eine Vielzahl von kleineren und größeren Quellen, die in einem Gebiet von 5 ha austreten. Generell handelt es sich um Überlaufquellen, die an durchlässigeren Lagen im untersten Hauptdolomit entspringen. Die Quellen 101 und 102, direkt neben der Wallfahrtskapelle Kühbruck, haben die tiefste Lage im Hauptdolomit und befinden sich immer noch mindestens 10 m im Hangenden der Raibler Schichten. Diese nördlichsten Austritte der Quellgruppe fließen ca. 100 m unterhalb des Weißbaches direkt in die Meng.

Die Austritte 103–105 befinden sich in einer Rinne mit Hauptdolomitgehängeschutt, in der des öfteren teils sandige und siltige Bürser Konglomerate aufgeschlossen

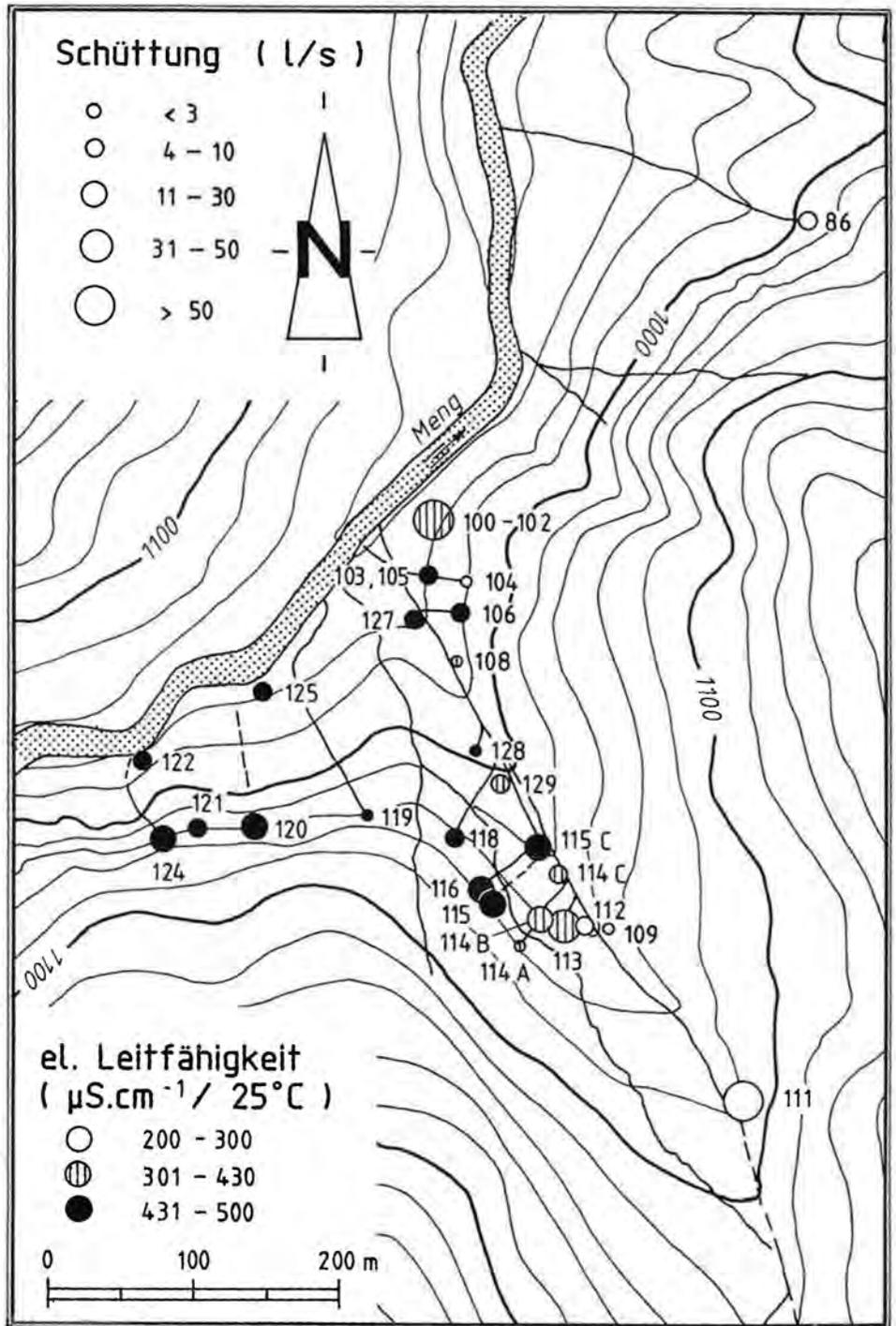


Fig. 4: Weißbachquellgruppe. Schüttung, Leitfähigkeit.

sind. Im Hangenden dieser geringfügig verfestigten Schichten befinden sich die Austritte 104 und 105. Der schüttungsmäßig ergiebigste Austritt dieser drei Quellen (103) entspringt im Gehängeschutt. Einige kleinere Austritte, die von ihrer Schüttung her unbedeutend sind (106–109) entspringen wenige Meter rechtsufrig des Weißbaches aus Hauptdolomitblockwerk.

Der höchste Austritt der gesamten Quellgruppe (111) ist bezüglich der Schüttung (im Sommer) der ergiebigste und befindet sich direkt neben dem Bachbett in Hauptdolomitblockwerk und erstreckt sich über eine Länge von ca. 10 m. Die zahlreichen Einzelaustritte dieser Quelle weisen in ihrer Leitfähigkeit sowie der Quelltemperatur einheitliche Werte auf. Oberhalb dieses Austrittes war das Bachbett des Weißbaches zur Zeit der Aufnahme trocken. Der Quellaustritt 111 unterscheidet sich von den übrigen Weißbachquellen durch seine bedeutend niedrigere Leitfähigkeit.

Bei den Quellaustritten 113–124 handelt es sich mit Ausnahme des Austrittes 122 um einen ausgeprägten Quellhorizont. Sämtliche Austritte sind an eine Gesteinsbank gebunden, die vor allem an der zur Meng gekehrten Seite durch 1–3 m große Nischen gekennzeichnet ist. Die Leitfähigkeit nimmt generell von 113 nach 124 zu. Der einzige Unterschied besteht darin, daß die dem Weißbach zugewandten Quellen (113–118) mehr von Gehängeschutt bedeckt sind. Sie treten entweder als Gehängeschuttquellen auf, wie 113 und 114, oder sie haben sich schon vom Gehängeschutt freigespült (115–118). Vermutlich bleiben viele Austritte dieses Quellhorizontes dem Auge verborgen, da sie direkt am Fuße der Schuttkegel ins Bachbett des Weißbaches fließen. Die Quellen dieses Horizonts, die der Meng zugewandt ausfließen, sind durchwegs schlecht erreichbar- bzw. meßbar, da sie in einer steilen Felswand entspringen.

Knapp über der Meng bzw. orographisch links des Weißbaches treten mehrere Quellen aus Blockwerk aus, bei denen es sich teils um Wiederaustritte des vorhin besprochenen Quellhorizontes handelt (122–129). Nahezu die Hälfte des Weißbachwassers tritt als Grundquelle direkt in den Bach und entzieht sich so dem sichtbaren Bereich. Besonders das Gebiet unterhalb der Austritte 114–116 ist reich an Grundquellen.

## 2.2. Mühlebach

In Anbetracht der hohen Schüttungen der Weißbachquellen lag die Vermutung nahe, daß sich das tatsächliche Einzugsgebiet über den Kammverlauf Alpila-kopf-Schillerkopf hinaus in östliche Richtung erstrecken könnte. Aus diesem Grunde wurde auch das Gebiet östlich des Loischkopfes sowie der Parpfienzalp (südlich des Alpila-kopfes) in die Untersuchungen mit einbezogen.

Die Quellen, die in den in nordöstliche Richtung abfließenden Mühlebach entwässern, entspringen alle östlich des Mühlebaches entweder aus den Arosagesteinen des Loischkopfensters oder aus den überlagernden Gipsen (Fig. 5, 6). Linksufrig des Mühlebaches befinden sich keine Quellzutritte, da dieses Gebiet von Gipsen bedeckt wird, die zur Quellgruppe 25 und 27 weiter im N entwässern.

Die Quelle 15 entspringt knapp oberhalb der Forststraße, die von der Furkla-Alpe zur Alpe Parpfienz führt. Sie tritt am Fuße eines kleinen Gipsgebietes aus, das zumindest teilweise von dichten Arosa-Schichten unterlagert wird. Dieses Wasser versickert jedoch auf einer Fließstrecke von wenigen 10er Metern im Bachbett. Im Oberlauf des Mühlebaches treten in unmittelbarer Nähe des Baches weitere kleine Quellen, vermutlich aus Arosagesteinen, aus (18, 20). Die Arosa-Zone ist hier nicht

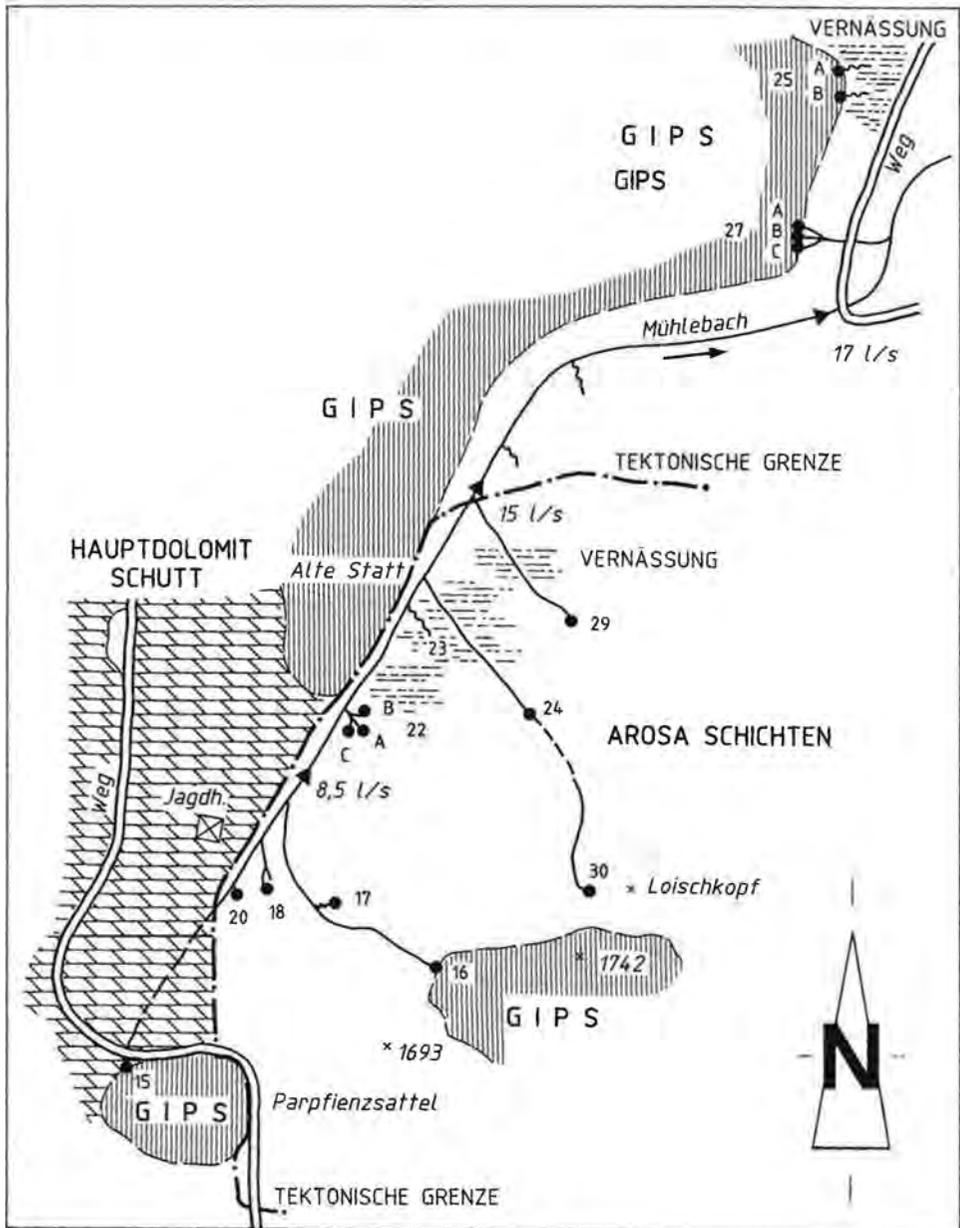


Fig. 5: Quellgebiet Mühlebach.

nachweisbar, da das Gelände der nächsten Umgebung von Hauptdolomitblockwerk und von Bürser Konglomerat bedeckt ist. Mehrere Tümpel in der Nähe der Quelle 18 deuten auf einen dichten Untergrund hin.

Der Austritt 16 entspringt direkt am Fuße eines größeren Gipsaufschlusses aus einer Höhle. Das Gelände über der Quelle bzw. der Bereich um den südwestlichen



Fig. 6: Blick vom südlichen Vorgipfel des Schillerkopfs Richtung SE auf die obersten Quellaustritte des Mühlebachs, wobei die beiden Quellen 16 und 15 direkt aus einem Gipsgebiet (G) entspringen und der Austritt 18 auch von Gips beeinflusst wird. Das Bild zeigt den mittleren Teil des Profils der Fig. 3; links steilt sich der Hang zum Loischkopf auf, rechts sind die Hochkare des Alplakopfs zu sehen, in denen Lösungsdolinen zu finden sind. Die gepunktete Linie knapp unterhalb der Forststraße markiert die Grenze des Hauptdolomits (H) der Tschengla-Synklinale. Im linken Teil des Bildes zeigen Tümpel und sumpfige Bereiche den dichten Charakter der Arosa-Zone (A) an. Die Dolinen in der Ebene (E) sind Gipstrichter; einer davon wurde für die Tracereingabe ausgewählt.

Vorgipfel des Loischkopfes ist von einer mächtigen Gipseinheit bedeckt, die die Arosa-Zone überlagert. Diese Einheit ist besonders reich an großen, bis zu 30 m tiefen Gipsdolinien. Die Leitfähigkeit der aus den Gipsen austretenden Wässer beträgt zwischen 1200 und 2000  $\mu\text{S}$ . Die Gehängeschuttquelle 17 tritt dem Quellwasser 16 ca. 20 m unter dessen Austritt diffus zu. Zwischen den Austritten 20 und 22 treten dem Mühlebach 4 l/s in Form von Grundquellen zu. Die Quellgruppe 22 tritt auf einer Breite von ca. 20 m flächenhaft direkt neben dem Bachbett aus dem Gehängeschutt. Es handelt sich um das Drainagewasser einer darüberliegenden sumpfigen Verflachung. Es ist aufgrund der unterschiedlich hohen Leitfähigkeiten zu vermuten, daß kleine Gipslinsen am Aufbau des Untergrundes beteiligt sind. Knapp unterhalb dieser Quellen sind im Bachbett Arosa Schichten in Form von wechselgelagerten dunklen Karbonaten und Tonschiefern aufgeschlossen. Die Quelle 23 entspringt wie die Quellgruppe 22 aus dem vernästen Bereich, der sich als Geländeverflachung auf 1500–1540 m entlang der orographisch rechten Seite des Mühlebaches über nahezu einen Kilometer erstreckt. Der Austritt 30 befindet sich am Fuße einer Rutschungsmasse etwa 100 m unterhalb des Loischkopfes, nördlich davon entspringt die Quelle 29 knapp über der vernästen Verflachung.

Im Vergleich zu den Weißbachquellen sind die Quellabflüsse im Bereich des oberen Mühlebaches ungleich niedriger und erreichten Schüttungen zur Zeit der Aufnahme von maximal 3 l/s.

Die Quellkartierung erfaßte im Gesamtuntersuchungsgebiet auch noch die restlichen Einzugsgebiete rund um den Fundlkopf und dem Alpilakopf, worauf aber nicht näher eingegangen werden soll, da diese Gebiete, wie sich am Ende der Untersuchung herausstellen sollte, nicht in einem direkten Zusammenhang mit den Weißbachquellen stehen.

### 3. Hydrochemische Langzeituntersuchungen

Von den im Rahmen der Kartierung aufgenommenen Quellaustritten wurden zwei Schwerpunktsbereiche mit insgesamt sechs repräsentativen Quellen für eine Dauerbeobachtung ausgewählt.

Die vier Austritte 102, 111, 113 und 115 gehören der Weißbachquellgruppe an, wobei die Auswahl so getroffen wurde, daß die dauerbeobachteten Austritte höhenmäßig den gesamten Quellbereich abdecken. Durch die Dauerbeobachtung sollen Rückschlüsse auf die Speicherfähigkeit des Aquifergesteins erhalten werden, das hier ausschließlich in Form von Hauptdolomit aufgeschlossen ist, sowie über mögliche Kontakte mit Gipsen an dessen Basis. Weiters sollen Hinweise auf eventuelle Oberflächeneinflüsse gewonnen werden. Es sind dies auch jene Quellen, die aufgrund ihrer Schüttungen zur Fassung für Trinkwasserzwecke von Bedeutung sein könnten.

Die Quellaustritte 18 und 27 liegen außerhalb des orographischen Einzugsgebietes der Weißbachquellen im Oberlauf des Mühlebaches. Bereits aufgrund des Geländebefundes lassen sich diese Wässer als Gipswässer klassifizieren.

Von den dauerbeobachteten Quellen wurden in der Zeit von Oktober 1987 bis Oktober 1988 durchschnittlich monatlich Proben für hydrochemische Analysen gezogen.

Die Messung der elektrolytischen Leitfähigkeit, des pH-Wertes sowie der Temperatur erfolgte im Gelände. Die Analysen auf Na, K, Ca, Mg,  $\text{HCO}_3$ , Cl,  $\text{NO}_3$  und  $\text{SO}_4$  wurden in den Labors des Institutes für Geothermie und Hydrogeologie durchgeführt.

Die hydrochemische Interpretation stützt sich neben Absolutgehalten an einzelnen Ionen sowie Ionenverhältnissen auch auf die Berechnung von thermodynamischen Gleichgewichten, durch die detaillierte Aussagen, vor allem bezüglich möglicher Oberflächeneinflüsse, erhalten werden können.

### 3.1. Sulfatgehalt

In Fig. 7 sind die  $\text{HCO}_3/\text{SO}_4$ -Verhältnisse der dauerbeobachteten Wässer in mg/l dargestellt. Alle von den Quellen 18 und 27 entnommenen Wässer zeichnen sich durch extrem hohe  $\text{SO}_4$ -Gehalte aus. Bei der Quelle 27, die im Kontakt mit Gipsen steht, liegen die  $\text{SO}_4$ -Gehalte durchwegs um 1000 bis 1200 mg/l. Ebenfalls hohe Konzentrationen weisen die Wässer des Quellaustrittes 18 in den Raibler Schichten auf, wobei hier allerdings eine beträchtliche Schwankungsbreite von 200 bis über 600 mg/l vorhanden ist.

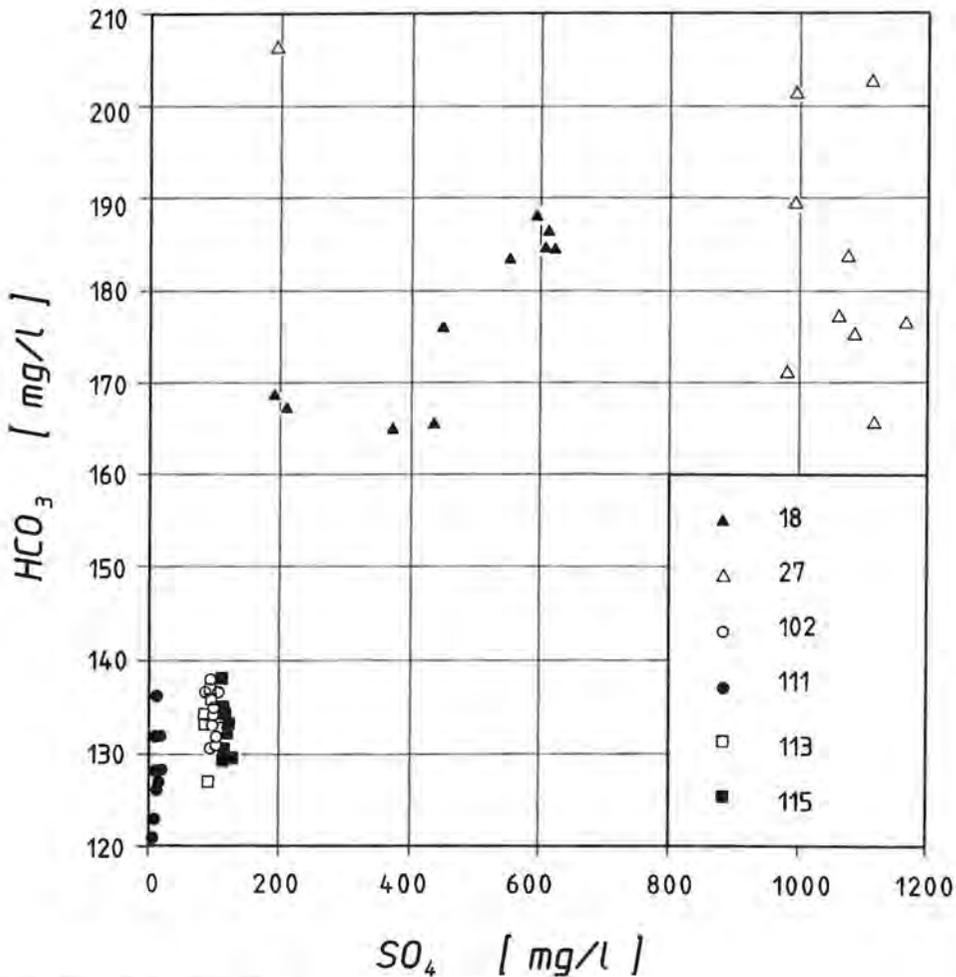


Fig. 7:  $\text{HCO}_3/\text{SO}_4$ -Verhältnisse.

Im Gegensatz zu diesen sulfatreichen Wässern stehen jene aus der Gruppe der Weißbachquellen mit geringen Sulfatgehalten, wobei eine deutliche Zweigliederung vorhanden ist. Die Quelle 111 weist durchwegs nur Gehalte unter 20 mg/l auf, wogegen die Wässer aus den Quellen 102, 111, 113 und 115 durch Sulfatgehalte in Größenordnungen zwischen 90 und 130 mg/l charakterisiert sind. Es sind dies Konzentrationen, die durch eine Zumischung von Wässern mit Gipskontakt erklärbar sind. Wie aus den hydrochemischen Analysen der im Rahmen der Quellkartierung

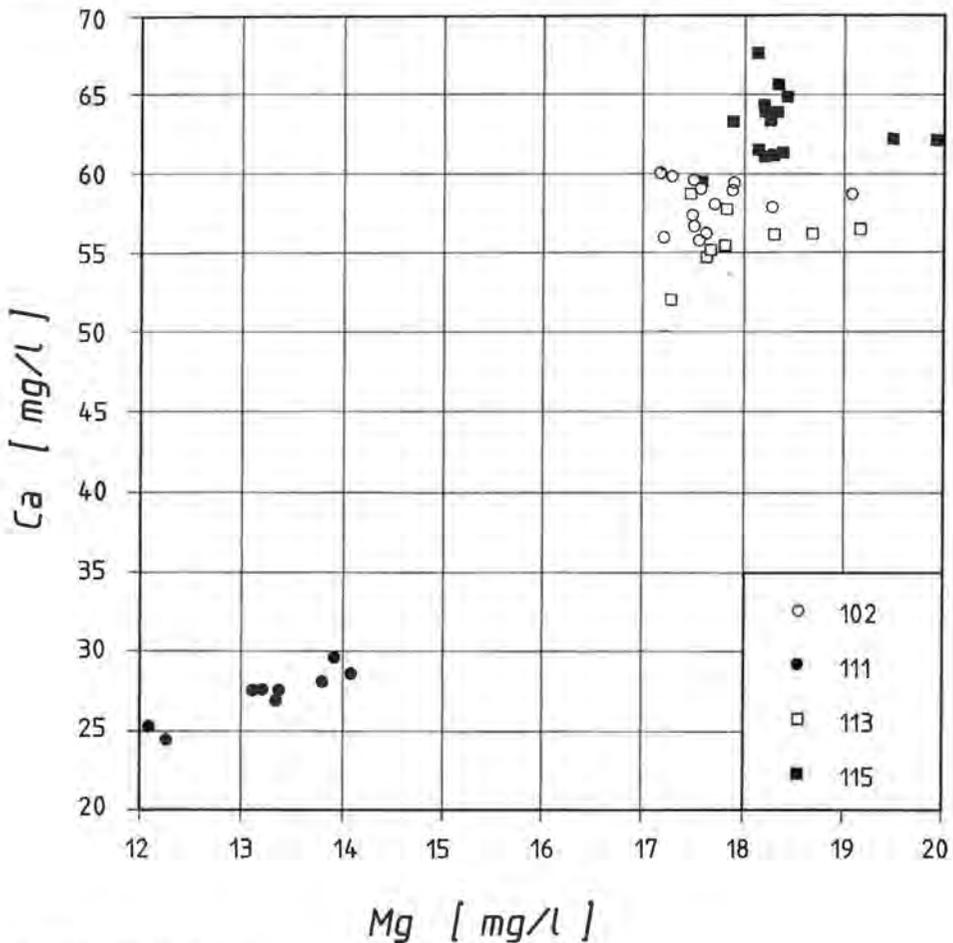


Fig. 8: Ca/Mg-Verhältnis.

entnommenen Proben ersichtlich, zeichnen sich Wässer, deren Einzugsgebiet ausschließlich im Hauptdolomit liegt, durch wesentlich niedrigere Sulfatgehalte aus.

### 3.2. Calcium- und Magnesiumgehalt

Die vorhin genannten Gruppierungen ergeben sich auch aus der Darstellung der Calcium- und Magnesiumgehalte, wie in Fig. 8 ersichtlich. Die Ionenverhältnisse

weisen bei den Wässern aus der Gruppe der Weißbachquellen auf das dolomitische Einzugsgebiet hin; in der Gesamtmineralisierung fällt wiederum der Quellaustritt 111 deutlich ab.

### 3.3. Berechnung thermodynamischer Gleichgewichte

Wie J. GOLDBRUNNER & H. P. LEDITZKY (1986) zeigen konnten, ist es durch die Berechnung thermodynamischer Gleichgewichte (Kalzit- bzw. Dolomitsättigung) von Serienanalysen möglich, weitreichende Aussagen über das Einzugsgebiet, Alimmentationsverhalten und Oberflächeneinflüssen von Quellwässern zu treffen. Solche Modellrechnungen haben gegenüber allen anderen Darstellungen einzelner Ionen den Vorteil, daß alle zu diesem Zweck bestimmten chemischen und physikalischen Parameter in ihrer Gesamtheit in die Berechnungen einfließen.

#### 3.3.1. Theoretische Grundlagen

Wasser, das mit einem Gestein in Kontakt steht, trachtet mit diesem in einen hydrochemischen Gleichgewichtszustand zu treten. Diese Wechselbeziehung zwischen Wasser und Gestein wird durch die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Grundwassers, der Gasphase ( $\text{CO}_2$ -Gehalt im Wasser und in der Bodenluft) und dem Gestein bestimmt. Im folgenden wurde ein Computerprogramm in Anlehnung an A. BATH (1980) zur Anwendung gebracht, das Sättigungsindizes für Kalzit und Dolomit sowie den zugehörigen  $\text{CO}_2$ -Partialdruck des Wassers berechnet.

Der  $\text{CO}_2$ -Partialdruck des Wassers hängt stark vom Bewuchs und der Konsistenz des Bodens ab. In der Literatur werden Werte in der Größenordnung von  $10^{-1,8}$  bis  $10^{-2,5}$  atm genannt (I. C. ATKINSON, 1977). Der  $\text{CO}_2$ -Partialdruck der Luft liegt hingegen bei  $10^{-3,5}$  atm.

Aufgrund des unmittelbaren atmosphärischen Kontaktes stehen Oberflächenwässer im allgemeinen mit dem  $\text{CO}_2$ -Partialdruck der Luft in einem Gleichgewicht. Hingegen kann bei Grundwässern ein Gleichgewichtszustand mit dem  $\text{pCO}_2$  der Bodenluft eintreten. Bei gut gespeicherten Quellwässern besteht ein Zusammenhang zwischen den chemisch-physikalischen Parametern, weiters sind Analysen eines Quellwassers, abgesehen von besonderen Ereignissen, in einem bestimmten quellspezifischen Zusammenhang zwischen Sättigung bezüglich Kalzit oder Dolomit und dem  $\text{CO}_2$ -Partialdruck eingebunden. Dadurch ist es möglich, Einflüsse wie Schneeschmelzeereignisse, schnell infiltrierende Niederschläge oder Zusammenhänge mit Oberflächenwässern zu erkennen.

#### 3.3.2. Interpretation der Berechnungen

In Fig. 9 sind die kalkulierten Kalzitsättigungen zu den jeweils zugehörigen  $\text{CO}_2$ -Partialdrucken aufgetragen. Aus den Wertpaaren der Quellen 27 und 115 sind die Ausgleichsgeraden berechnet und dargestellt. Dabei zeigt sich, daß mit Ausnahme der Quellen 18 und 111 alle berechneten Sättigungs- $\text{pCO}_2$  Wertpaare gut korrelieren und eine quellspezifische Lösungsgerade ergeben. Die Lage der Geraden im Diagramm läßt Rückschlüsse auf Infiltrationsbedingungen in den jeweiligen Einzugsgebieten zu.

Die höchsten  $\text{CO}_2$ -Partialdrucke bei einer definierten Kalzitsättigung weisen die sulfatreichen Wässer im Einzugsgebiet des Mühlebaches auf. Die in diesem Einzugsgebiet vorhandenen Raibler Schichten erlauben eine intensive Bodenbildung und eine damit verbundene nahezu geschlossene Vegetationsdecke. Damit verbunden

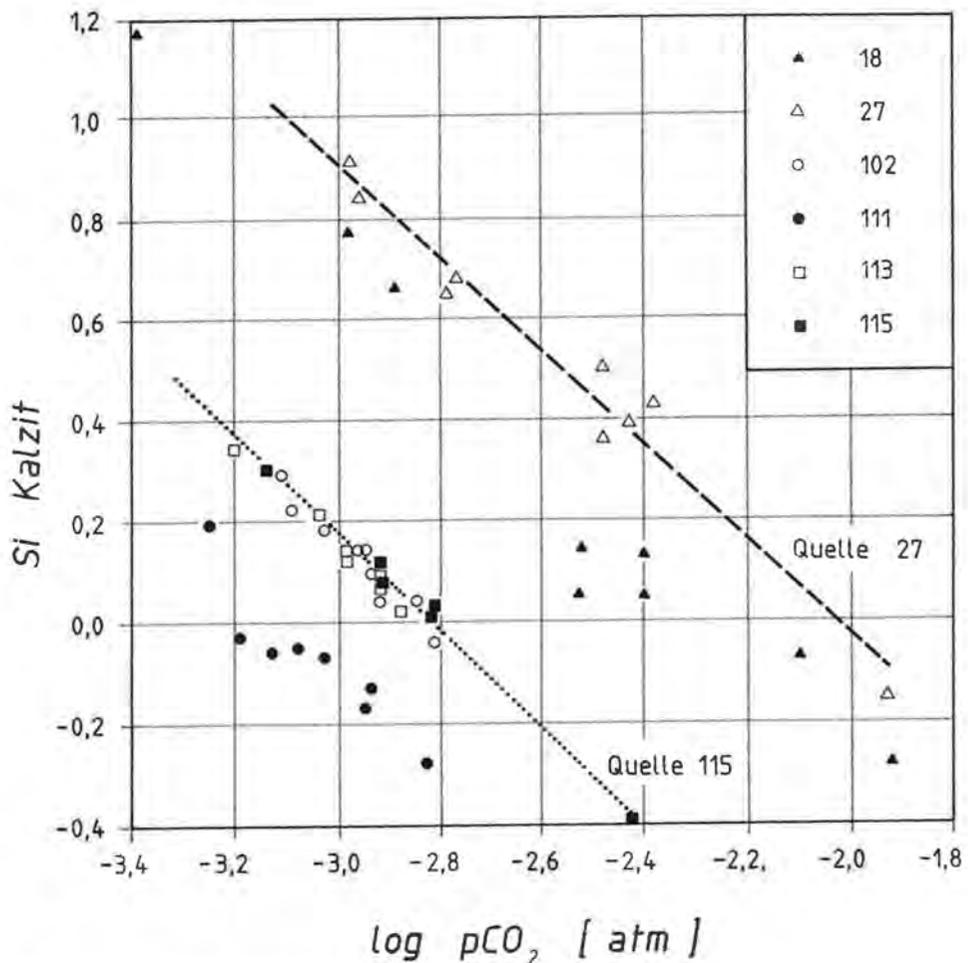


Fig. 9: Sättigung/ $p\text{CO}_2$ -Verhältnis.

ist eine reichliche Zufuhr von  $\text{CO}_2$  aus der Bodenzone in den Bergwasserkörper. Ähnlich gelagert sind die Verhältnisse bei der ebenfalls aus Raibler Schichten austretenden Quelle 18, wobei allerdings eine bedeutend größere Streuung der berechneten Werte vorhanden ist. Eine Ausgleichsgerade, berechnet aus den Sättigungs- und  $p\text{CO}_2$ -Werten von Wässern, die zum Zeitpunkt relativer Niederwasserabflüsse entnommen wurden, zeigt wiederum eine ausgezeichnete lineare Korrelation. Abweichungen von dieser Geraden zeigen jene Wässer, die in Monaten mit hohen Abflüssen oder mit Schneeschmelze gezogen wurden.

Die Abweichungen von der Sättigungs- $p\text{CO}_2$ -Geraden sind als ein direkter Einfluß von Oberflächenwässern bzw. eine Zumischung von rasch infiltrierenden Wässern ohne nennenswerte Speicherung anzusehen (J. GOLDBRUNNER & H. P. LEDITZKY, 1986). Dieser Einfluß kommt auch dadurch zum Ausdruck, daß sich bei den genannten Stichtagen die Gesamtmineralisierungen zum Teil um 100% reduzieren. Die auf der gerechneten Ausgleichsgeraden liegenden Punkte repräsentieren einen relativ unbe-

einflußten Basisabfluß. Deutlich kommt das Einsetzen der Schneeschmelze zwischen den beiden Beprobungen im April 1988 zum Ausdruck, ebenso dokumentiert sich der warme Jänner 1988 in einem Schneeschmelzabfluß zur Zeit der Probennahme.

Eine Tendenz zu bedeutend niedrigeren  $\text{CO}_2$ -Partialdrucken bei einer definierten Kalzitsättigung weisen die Wässer der Weißbachquellgruppe auf. Eine zum Teil vorhandene Untersättigung an Kalzit läßt auf eine wesentlich geringere Zufuhr von  $\text{CO}_2$  aus der Bodenzone schließen. Dadurch kommt die lithologische Ausbildung des Einzugsgebietes deutlich zum Ausdruck, das hier aus Hauptdolomit besteht, der allein aufgrund der Morphologie und der Höhenlage des Einzugsgebietes eine wesentlich geringere Vegetation aufweist. Dies bedeutet eine nur beschränkte  $\text{CO}_2$ -Zufuhr und eine damit verbundene reduzierte Lösungsmöglichkeit.

Die ausgezeichnete Korrelation aller berechneten Werte von den Quellen 102, 113 und 115 läßt auf vergleichbare Infiltrations- und Speicherbedingungen im Einzugsgebiet schließen. Es sind keinerlei Anzeichen vorhanden, daß diese Quellen durch direkte Niederschlags- bzw. Schneeschmelzwässer beeinflusst werden.

Die niedrigsten  $\text{CO}_2$ -Partialdrücke bei definierter Sättigung weisen die Wässer aus der Quelle 111 auf, sie nähern sich bezüglich dieses Verhältnisses bereits weitgehend Oberflächengewässern. Dieser Quellaustritt ist auch der von den dargestellten am höchsten gelegene, der in erster Linie Schneeschmelz- und Niederschlagswässer abführt und nach längeren niederschlagsfreien Perioden trocken fällt. Neben einem doch vorhandenen, gewissen Basisabfluß in relativ trockenen Perioden kommen Niederschlags- und Schneeschmelzereignisse durch Abweichungen von der dargestellten Lösungsgeraden deutlich zum Ausdruck.

#### 4. Isotopenmessungen

Zur Differenzierung mittlerer Einzugsgebietshöhen ausgewählter Quellen wurden über einen Zeitraum von mehr als einem Jahr ca. monatlich Wasserproben zur Bestimmung des stabilen Umweltisotops Sauerstoff-18 genommen. Von der Weißbachquellgruppe sind für diese Untersuchungen vier Quellaustritte, die ein höhenabgestuftes Profil präsentieren, ausgesucht worden. Zusätzlich erfolgte auch eine Probennahme zweier Quellen östlich des Schillerkopfes, die aus den Gipsen austreten. Die  $^{18}\text{O}$ -Analysen sind im Labor des Institutes für Hydrologie an der GSF München vorgenommen worden.

Die Anwendung von Isotopen in der Hydrologie dient unter anderem zur höhenmäßigen Gliederung von Einzugsgebieten, die unter bestimmten Voraussetzungen aufgrund des Temperatur- bzw. Höheneffektes vorgenommen werden kann. Mit zunehmender orographischer Höhe tritt eine Abnahme des  $^{18}\text{O}$ -Gehaltes in den Niederschlägen auf. Diese Abnahme beträgt, wie Untersuchungen im westösterreichischen Bereich zeigen, ca 0,20‰  $^{18}\text{O}$  bei einer Höhenzunahme von 100 m. Grundvoraussetzung für diese Berechnungsart ist jedoch die Erfassung eines repräsentativen Mittelwertes des Isotops  $^{18}\text{O}$  von bestimmten Quellwässern. Die im Untersuchungsgebiet durchgeführten Langzeitmessungen von der Dauer in etwa eines Jahres und der Beprobungsdichte annähernd eines Monats, stellen günstige Voraussetzungen als Berechnungsgrundlagen dar.

Unter Berücksichtigung einer definierten  $^{18}\text{O}$ -Abnahme pro 100 m Seehöhe stehen für eine höhenmäßige Eingliederung von Quelleinzugsgebieten mehrere Möglichkeiten offen:

- Es liegen Analysen stabiler Isotope von Niederschlagswässern einer Station vor, die in größerer Höhe gelegen ist und deren Zeitreihen eine Mittelwertbildung zulassen. Damit kann im Untersuchungsgebiet nicht gedient werden, da keine hochgelegene Station besteht.
- Die aus der Lufttemperatur, nach der Formel von K. ROZANSKI (1982)

$$^{18}\text{O} = 0,35 \times t - 11,80\%$$

(t = mittlere Lufttemperatur) errechneten Werte für die dem Untersuchungsgebiet am nächsten liegende Temperatur- bzw. Niederschlagsstation Bürs lassen auf eine mittlere Einzugsgebietshöhe der Weißbachquellen von ca. 2500 m schließen. Da die auf diese Weise ermittelten Werte um einige hundert Meter zu hoch ausfallen, kann diese Methode ebenfalls nicht angewendet werden.

Als zielführendste Methode für die höhenmäßige Einstufung erwies sich die Ableitung von Einzugsgebietshöhen von einer sogenannten „Eichquelle“. Dabei ist die Kenntnis eines nach Möglichkeit geologisch abgrenzbaren Einzugsgebietes eines bestimmten Quellaustrittes notwendig. Im Untersuchungsgebiet bietet sich die Quelle 18 an, die einen lokal abgrenzbaren Gipsstock entwässert und für die eine mittlere Einzugsgebietshöhe von 1650 m errechnet werden konnte. Unter Berücksichtigung einer Abnahme des  $^{18}\text{O}$ -Gehaltes von 0,2‰ pro 100 m können mittels der im Rahmen der Langzeitmessungen eruierten Isotopenmittelwerte die jeweiligen mittleren Einzugsgebietshöhen in bezug auf das bereits bekannte Einzugsgebiet geschätzt werden. Diese Zuordnung der dauerbeobachteten Quellaustritte ist in Fig. 10 ersichtlich.

Für die Quellaustritte 102, 113 und 115 konnte demnach eine mittlere Einzugsgebietshöhe von 1830–1870 m errechnet werden, für die oberhalb der Weißbachquellen austretende Quelle 111 ergaben die Berechnungen eine Höhe von 1730 m.

Diese Ergebnisse wurden aufgrund der ersten Übersichtsbeprobung angedeutet, wonach die wahre Einzugsgebietshöhe der Weißbachquellen mit Ausnahme der Quelle 111 über der orographisch abgegrenzten liegt. Nach den Ergebnissen der Langzeitmessungen geht eindeutig hervor, daß sich das tatsächliche Einzugsgebiet der Weißbachquellen über den Kammverlauf Richtung E hinaus erstreckt. Die aus den Isotopen errechnete mittlere Höhe des Einzugsgebietes über 1800 m deckt sich nahezu mit der mittleren Höhe der Verbreitung des Hauptdolomits. Dieses Speichergestein weist in seiner Ausdehnung, das vermutlich zu den Weißbachquellen hin entwässert, eine mittlere Höhe von ebenfalls über 1800 m auf. Die Aussage, daß das Einzugsgebiet der Quellaustritte 102, 113 und 115 über die orographische Abgrenzung hinausreicht, wird zusätzlich durch die Isotopenwerte des Austritts 111 untermauert. Wie schon aus den hydrochemischen Untersuchungen hervorgeht, stellt dieser Quellaustritt einen lokalen Abfluß aus dem Karbereich oberhalb der Weißbachquellen dar. Daß diese Quelle keinen tiefreichenden Aquifer entwässert, zeigt schon die Tatsache, daß sie in Zeiten geringerer Infiltration trocken fällt. Die über die Isotopenanalysen ermittelte mittlere Einzugsgebietshöhe ist praktisch ident mit der mittleren Höhe des orographischen Einzugsgebietes. Für beide Höhen kann ein Betrag von etwa 1700 m veranschlagt werden.

Neben den längerfristig beobachteten Quellen im Bereich des Weißbaches erfolgte weiters die Beprobung zweier Quellaustritte im Einzugsgebiet des Mühlebachs. Hauptgrund dieser Beobachtung war der Versuch, von diesen Quellen, deren Einzugsgebiete aufgrund des hydrochemischen Befundes fast ausschließlich in den Gipsen

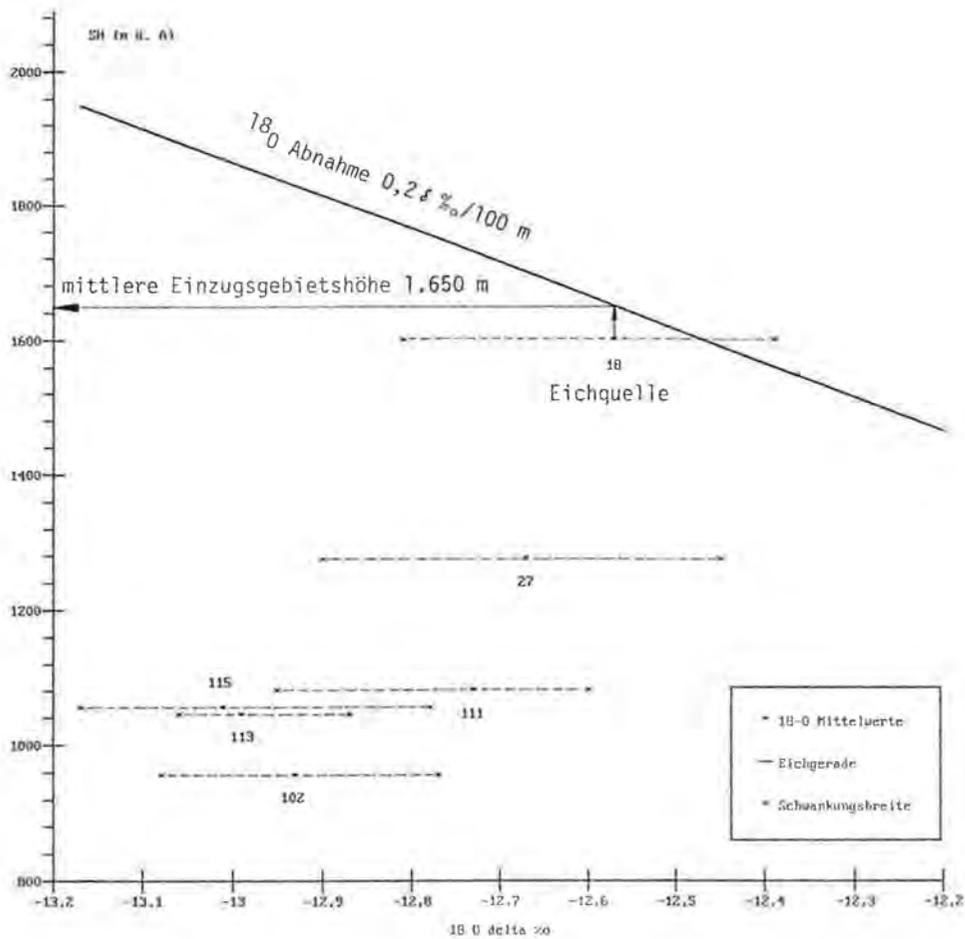


Fig. 10: Mittlere Einzugsgebietshöhen aus  $^{18}\text{O}$ -Mittelwerten.

sein müßten, gegebene Einzugsgebietshöhen abzuleiten. Wie vorhin schon erwähnt, hat sich der Quellaustritt 18, der ein kleines, abgrenzbares Einzugsgebiet entwässert, als Eichquelle gut geeignet. Anhand der Analysenwerte ließ sich für den Quellaustritt 27 ein dazugehöriges Einzugsgebiet in einer mittleren Höhenlage von 1700 m errechnen. Diese Höhe liegt gegenüber der mittleren Höhe des Gipsvorkommens in diesem Gebiet um ca. 200 m zu hoch. Dies würde bedeuten, daß am Quellaustritt 27 auch Wasser aus größerer Höhe, die nicht aus den Gipsen kommen, abfließen. Somit eignet sich diese Quelle, deren Einzugsgebiet nicht genau bestimmt werden kann, nicht als Eichquelle für die Zuordnung von mittleren Einzugsgebietshöhen.

Für eine *wasserwirtschaftliche Nutzung* ist das Maß der unterirdischen Speicherung von Quellwässern ein bedeutendes Kriterium. Nach entsprechend langer Beobachtung kann der Wechsel von Auffüllen unterirdischer Speicherräume zu Zeiten aktiver Infiltration und deren Auslaufen in Trockenperioden durch verschiedene Parameter, wie etwa Abflußgang, chemischer und physikalischer Beschaffenheit des Wassers, erfaßt werden. Die Beurteilung der unterirdischen Speicherung stützt sich vor allem

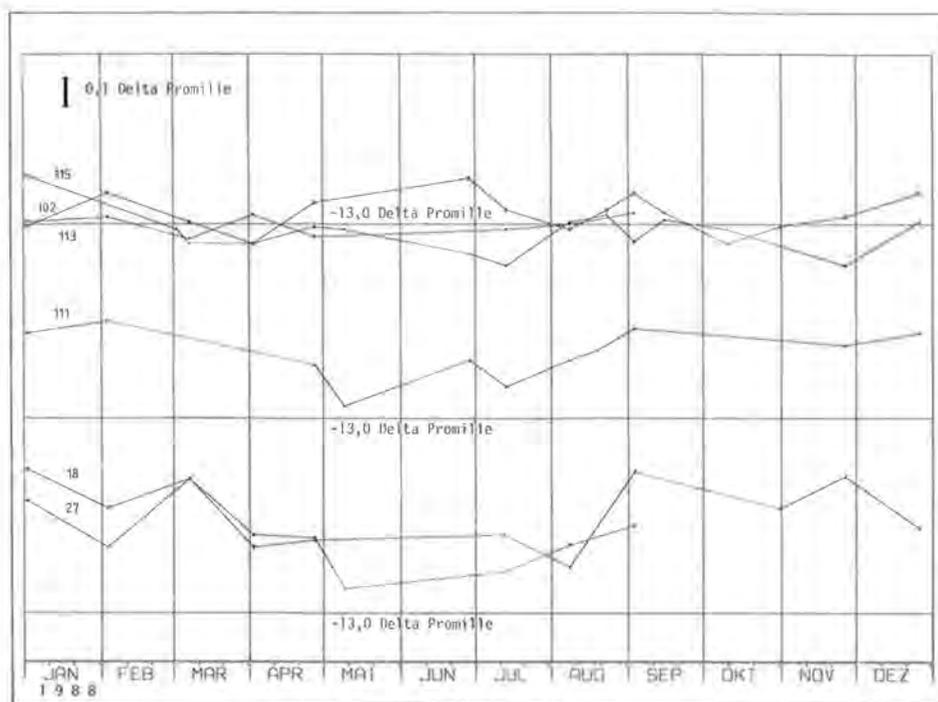


Fig. 11: Schwankungen des  $^{18}\text{O}$ -Gehaltes um Bezugshöhe.

auf das jahreszeitliche Schwankungsverhalten der einzelnen Parameter. Gaben die hydrochemischen Untersuchungen an den Weißbachquellen aufgrund der äußerst geringen jahreszeitlichen Schwankungen erste Hinweise auf eine gute Speicherung, so werden diese Aussagen durch die Isotopenuntersuchungen noch bestärkt.

Fig. 11 zeigt die Schwankungen des  $^{18}\text{O}$ -Gehaltes um eine Bezugshöhe, wobei die dauerbeobachteten Quellaustritte in drei Gruppen zusammengefaßt wurden. Zusätzlich sind die jährlichen Schwankungsbreiten in Fig. 10 graphisch dargestellt. Dabei zeigt sich, daß die beiden Gipsquellen 18 und 27 die größte jährliche Schwankungsbreite aufweisen, deutlich geringer schwanken die Weißbachquellen.

Der Jahresgang des Gehaltes an Sauerstoff-18 bei den einzelnen Wässern beruht vor allem auf dem Temperatureffekt, einer temperaturabhängigen Isotopengehaltsänderung bei Phasenübergängen (Verdunstung, Kondensation). So weisen die Isotopengehalte der Niederschläge im Sommer ein Maximum, im Winter ein Minimum auf, wobei die Differenz im  $\delta$ -Wert in unserer Klimazone etwa  $9 \text{ }^{18}\text{O}\text{‰}$  beträgt.

Ausgehend von der Tatsache, daß die Winterniederschläge isotopisch leichter sind als die Sommerniederschläge, müßte sich demnach bei einem schnellen Durchströmen des Untergrundes zur Zeit der Schneeschmelze ein merkliches Absinken, bzw. bei höheren Niederschlagsabflüssen infolge ergiebiger Sommerregen, ein deutliches Ansteigen des Gehaltes an stabilen Isotopen am Quellaustritt einstellen. Diese Verhältnisse treffen, wenn auch nur in abgeschwächtem Maße, an den Quellen 18 und 27 zu, ähnlich ist der Verlauf auch am Quellaustritt 111. Wesentlich geringer schwanken die Quellen 102, 113 und 115, vor allem ist kein ausgeprägter Jahresgang, der auf Schneeschmelze- bzw. Niederschlagsabflußverhältnisse hinweisen würde, er-

kennbar. Die jahreszeitlichen Amplituden scheinen an den Weißbachquellen durch die gute Durchmischung und längere Verweilzeit im Untergrund stark gedämpft.

## 5. Markierungsversuch

Zur Klärung der Dimensionierung des Einzugsgebietes der Weißbachquellen wurde neben den hydrochemisch-physikalischen Untersuchungen auch ein kombinierter Markierungsversuch durchgeführt. Ziel dieser Untersuchungen war in erster Linie, einen Nachweis eines Zusammenhanges bestimmter Gebiete östlich der orographischen Abgrenzung des Einzugsgebietes der Weißbachquellen zu dieser Quellgruppe zu liefern.

### 5.1. Auswahl der Einspeisungsstellen

Wie aus einer ersten groben Wasserbilanzierung der Weißbachquellen ersichtlich, reicht das rein orographisch abgegrenzte Einzugsgebiet als Infiltrationsfläche auf keinen Fall aus. Unter Berücksichtigung der geologischen Verhältnisse scheint sich das tatsächliche Einzugsgebiet der Weißbachquellen nach E über den Kammverlauf (Tuklar-Alpilakopf-Schillerkopf) auf die von Hauptdolomit aufgebauten Gebiete auszudehnen. Um eine mögliche Verbindung dieser Gebiete mit den Weißbachquellen nachzuweisen, mußten demnach die Markierungsstoffe in den Hauptdolomit östlich der Linie Alpilakopf-Schillerkopf eingebracht werden. Aufgrund der in diesem Gebiet annähernd nach W einfallenden Hauptdolomitschichten konnte man ein Abfließen in Richtung der Weißbachquellgruppe erwarten. Als erste Eingabestelle bot sich das große, östlich des Alpilakopfes gelegene Kar an, eine zweite Einspeisung in der Schillermulde sollte die mögliche Ausdehnung des Einzugsgebietes in Richtung NE bestätigen. Da ein Abfließen des Wassers aus den Gipsen der Raibler Schichten an der Basis des Hauptdolomits ebenfalls erwartet werden konnte, wurde eine dritte Einspeisung in einen Gipstrichter nördlich des Parpfienzattels, linksufrig des Mühlebaches, vorgesehen.

### 5.2. Einspeisung der Markierungsstoffe

#### Alpilakar

Die Farbeinspeisung sowohl im Alpilakar als auch in der Schillermulde gestaltete sich relativ schwierig, da zu beiden Versickerungsstellen kein kontinuierlicher Wasserzufluß vorhanden war. Für die Farbeinbringung im Alpilakar wurde eine in ca. 1720 m Seehöhe gelegene Doline verwendet, die für diesen Karbereich vor allem während der Schneeschmelze, aber auch bei stärkeren Niederschlagsereignissen als natürlicher Abfluß fungiert.

Zur Zeit der Einspeisung Mitte Juni 1988 war im unteren Karbereich die Schneeschmelze weitgehend abgeschlossen, so daß kein aktueller Zufluß zu dieser Doline erfolgte. Das zur Einspeisung benötigte Wasser mußte demnach aus der näheren Umgebung herbeigeschafft werden, ein Wassertransport mittels Fahrzeugen war

aufgrund des Fehlens eines Zufahrtsweges nicht möglich. Das Spülwasser konnte aus einer nahegelegenen abgedichteten Doline entnommen werden. Für die gesamte Einspeisung standen ca. 1400 l Wasser zur Verfügung, wobei zur eigentlichen Farbstoffeingabe ca. 500 l verwendet wurden. Der Rest des Wassers diente zur Nachspülung. Als Markierungsstoff kamen 10 kg URANIN AP conc. zum Einsatz. Nachdem im Rahmen einer Vorspülung die einwandfreie Versickerung überprüft worden war, wurde der vorgelöste Markierungsstoff am 16. 6. 1988 in der Zeit von 09:28 bis 10:25 langsam in die Doline eingegeben. Von 10:30 bis 10:50 erfolgte eine Nachspülung.

### Schillermulde

Ähnliche Verhältnisse wie im Alpilakar herrschten in der nördlich davon gelegenen Schillermulde, lediglich mit dem Unterschied, daß in diesem Kar kein punktförmiger, natürlicher Abfluß zu finden war. Um den Markierungsstoff trotzdem in den Untergrund einbringen zu können, mußte im ebenen Karboden ein künstlicher Aufschluß zur Farbstoffeingabe gegraben werden. Am Rande eines Schneefeldes wurde eine Schürfgrube errichtet, so daß nach der Einspeisung eine natürliche Nachspülung durch abfließendes Schneeschmelzwasser erfolgen konnte. Wie im Alpilakar mußte auch bei dieser Einspeisung das Spülwasser (ca. 800 l) aus einer nahegelegenen, abgedichteten Doline herbeigeschafft werden. Wegen der relativ geringen Sickerleistung konnte der Markierungsstoff, 10 kg RHODAMIN G, nur langsam, ebenfalls am 16. 6. 1988, in der Zeit von 12:50 bis 14:40 in die Versickerungsstelle eingebracht werden.



Fig. 12: Nachspülung an der Eingabestelle für Eosin, einem Gipstrichter westlich des Loischkopfes.

## Mühlebach

Geologisch gesehen lagen die beiden ersten Einspeisungsstellen im Hauptdolomit und sollten eine mögliche Abflußrichtung zu den Weißbachquellen nachweisen. Die dritte Einspeisungsstelle hingegen wurde im Kontaktbereich des Hauptdolomits zu den Raibler Schichten angesetzt. Anhand dieser Markierung sollte die Frage abgeklärt werden, inwieweit es an der Basis des Hauptdolomits, entlang der Raibler Schichten zu einem Abfließen in westliche Richtung zu den Weißbachquellen kommt. Man mußte aber auch mit der Möglichkeit rechnen, daß der Markierungsstoff von dieser Eingabestelle ausschließlich nach NE zu Quellaustritten entlang des Mühlebaches abfließt. Die Voraussetzungen für die Farbstoffeingabe waren gegenüber den beiden ersten Einspeisungen ungleich günstiger, zumal genügend Wasser vom Mühlebach zur Eingabestelle geleitet werden konnte. In Fig. 12 ist die Eingabestelle, ein ca. 3 m tiefer Gipstrichter, zu erkennen. Die Farbstoffeinspeisung erfolgte am 16. 6. 1988 zwischen 16:48 und 17:30, wobei während der gesamten Einspeisungsdauer, einschließlich einer Nachspülung bis 17:45, ein konstanter Zufluß zur Eingabestelle von ca. 5 l/s herrschte. Als Markierungsstoff wurden 10 kg EOSIN G verwendet. Trotz des recht hohen künstlichen Zuflusses zur Schwinde versickerte das Wasser sogleich.

### 5.3. Probennahmestellen

Die Beprobung ausgewählter Quellaustritte erfolgte in erster Linie durch Direktprobennahme, zusätzlich durch den Einsatz von Aktivkohle an schwerer zugänglichen Wasseraustritten. Bei der Auswahl der Probennahmestellen wurde versucht, den gesamten theoretischen Abflußrahmen abzudecken. Sämtliche Probennahmestellen sind in Tab. 1 zusammengefaßt.

Die Direktprobennahme wurde zu Beginn des Markierungsversuches in Abständen von zwei Tagen durchgeführt, mit Fortdauer der Untersuchungen sind die Pro-

Tab. 1: Probennahmestellen. D – Direktprobennahme, A – Aktivkohlenprobennahme.

Quellnr.	Örtlichkeit	Beprobungsart	
5	Rhona-Alp	D	A
7	Rhona-Alp		A
18	Parpfienz	D	A
27	Gipsqu. Mühlebach	D	A
55	Großtal		A
91	Käserlisboden	D	A
61	Schneckenstamm		A
102	Weißbachquellen	D	A
111	Weißbachquellen	D	A
115	Weißbachquellen	D	A
RW	Weißbach oben		A
P3	Weißbach unten		A
DB	Dunkeltobelbach		A
MBo	Mühlebach oben		A
MBu	Mühlebach unten		A

bennahmeintervalle auf mehrere Wochen ausgedehnt worden. An den Quellaustritten, an denen der Farbstoff im sichtbaren Bereich austrat, sind die Beprobungsintervalle dementsprechend verkürzt worden. Nach Beendigung der Direktprobennahme Ende Dezember 1988 sind die Wasseraustritte mittels Aktivkohle weiterbeprobelt worden, diese Beprobungsart dauert heute noch an.

#### 5.4. Laboranalysen und Farbstoffnachweise

Die im Gelände gezogenen Wasserproben sowie die Aktivkohlen sind im Labor auf ihre Farbstoffgehalte analysiert worden.

Das Eosin von der Einspeisungsstelle nördlich des Parpfienzattels konnte schon einen Tag nach der Einspeisung am Quellaustritt 18 sowie an der Quelle 27 in hohen Konzentrationen, die die Sichtbarkeitsgrenze deutlich überschritten, nachgewiesen werden. An beiden Quellen wurde das Farbstoffkonzentrationsmaximum einen bzw. zwei Tage nach der Farbstoffeingabe erreicht. Wie Fig. 13 und 14 zeigen, nahmen die Konzentrationen nach Erreichen des Maximums ebenso rasch wieder ab. Die Eosindurchgangskurven beider Quellaustritte unterscheiden sich in ihrem Verlauf kaum voneinander, lediglich sind aufgrund der Nähe des Quellaustrittes 18 zur Eingabestelle die Farbstoffkonzentrationen an diesem Austritt um ein Vielfaches höher als an der Quelle 27. Sind diese Farbnachweise aus hydrogeologischer Sicht erwartet worden, so war ein weiteres Auftreten des Eosins am Quellaustritt 61 westlich der Weißbachquellen doch überraschend. Der Farbstoff konnte zwar nicht in der Direktprobe nachgewiesen werden, war aber in den Aktivkohlen, die zwischen dem 29. 6. und 1. 8. 1988 eingehängt waren, eindeutig feststellbar. Dieser Umstand des

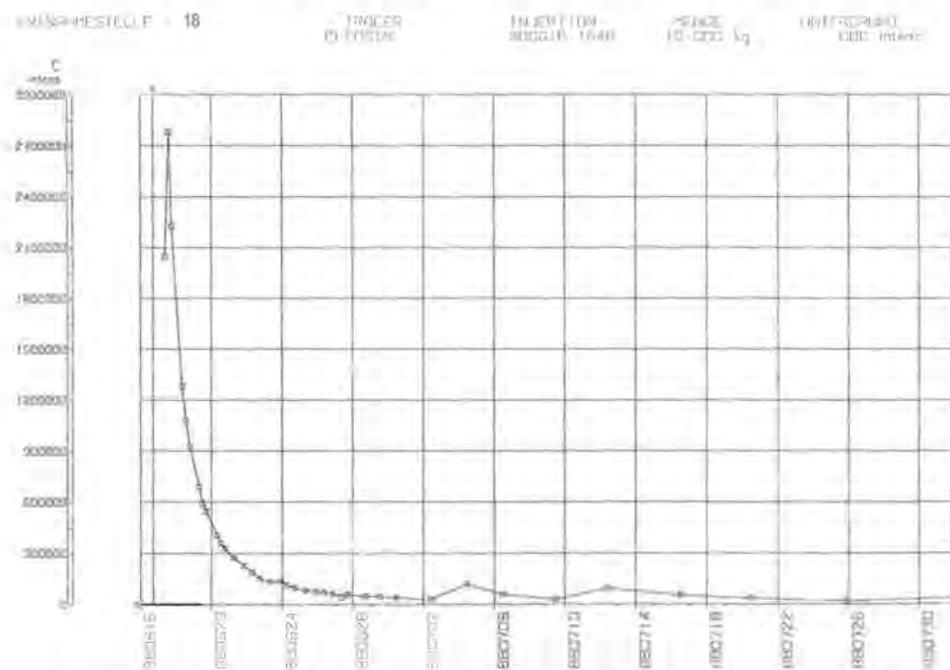


Fig. 13: Eosindurchgangskurve, Entnahmestelle 18 (Parpfienz).

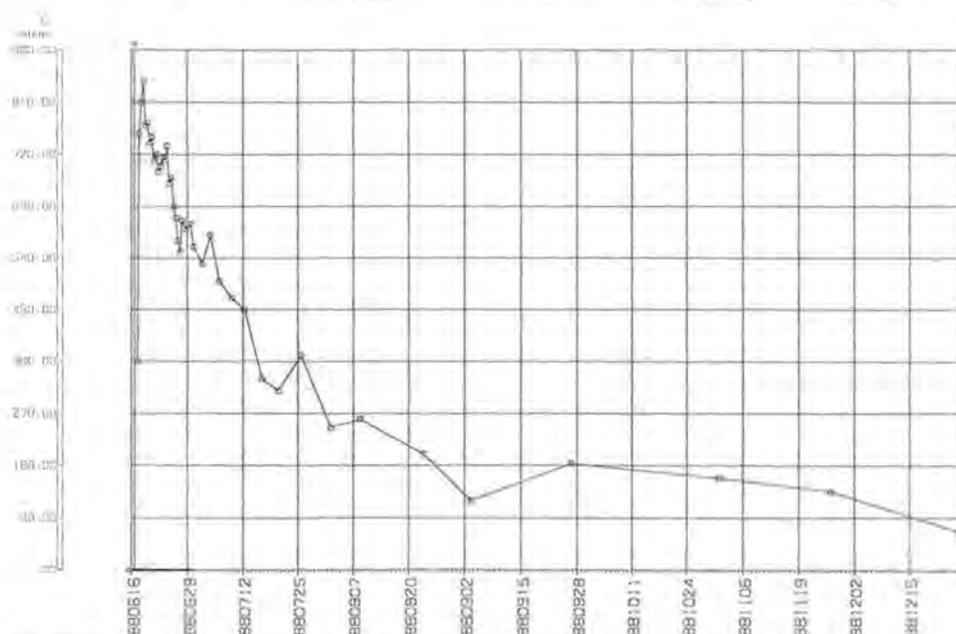


Fig. 14: Eosindurchgangskurve, Entnahmestelle 27 (Gipsquelle Mühlebach).

Nachweises ausschließlich in der Aktivkohle läßt sich durch die Aufsummierung geringster Konzentrationen in der Aktivkohle, die für einen Nachweis in der Direktprobe nicht ausreichen, erklären. Die in der Schillermulde bzw. im Alpilakar eingesetzten Farbstoffe konnten an keinem Quellaustritt nachgewiesen werden. Diese Tatsache soll aber nicht als Mißerfolg des Markierungsversuches gewertet werden, da diese eingetretene Situation aufgrund der hydrochemischen und isotohydrologischen Untersuchungen durchaus erklärt werden kann. Nachträglich betrachtet mag es vielleicht ein Nachteil gewesen sein, den Markierungsversuch im Rahmen der gesamten Untersuchungen relativ früh angesetzt zu haben, da die parallel zum Markierungsversuch durchgeführten Langzeitbeobachtungen wertvolle hydrogeologische Informationen lieferten, die bei der Durchführung des Färbeversuches zusätzlich hätten berücksichtigt werden können. Auf der anderen Seite aber wäre die Untersuchungsdauer um mindestens ein Jahr länger ausgefallen. Eine Betrachtung der Langzeitmessungen der Weißbachquellaustritte 102, 113 und 115 zeigt, daß sie praktisch kaum jahreszeitlichen Schwankungen im Chemismus unterworfen sind. Leitet man von diesem Schwankungsverhalten eine gute Speicherung in einem mächtigen Aquifer ab, so wird diese Annahme noch durch die  $^{18}\text{O}$ -Analysen, die ebenfalls durch geringste Schwankungen gekennzeichnet sind, verstärkt. Die Berechnung der mittleren Verweildauern von Wässern der Weißbachquellgruppe erbrachte Werte von vier bis sechs Jahren, so daß einerseits durch die lange Speicherung des Wassers im Untergrund der Markierungsstoff an den Weißbachquellen möglicherweise noch gar nicht wiederausgetreten ist, andererseits kann der Farbstoff in dem mächtigen Aquifer in einem solchen Maße verdünnt worden sein, daß er an den Quellen in Konzentrationen austrat, die unter der Nachweisgrenze lagen. Von diesen beiden

Möglichkeiten scheint die erstere eher zuzutreffen, da selbst geringste Spuren des Farbstoffes, die in der Direktprobe nicht mehr identifiziert werden können, auf alle Fälle in den Aktivkohlen, die länger als ein Jahr in den Quellen eingehängt waren, nachgewiesen werden müßten. Daß die beiden Farbstoffe Uranin und Rhodamin bis heute noch nicht wiederausgetreten sind, kann auch auf die Eingabebedingungen zurückzuführen sein. Obwohl die Markierungsstoffe reibungslos in den Untergrund eingebracht werden konnten, scheinen doch die zur Einspeisung zur Verfügung gestandenen Wassermengen nicht ausgereicht zu haben, die Tracer auf schnellstem Wege in den Bergwasserkörper zu bringen. Es ist somit durchaus vorstellbar, daß infolge des sehr langsamen Durchströmens der ungesättigten Zone die beiden Tracer erst sehr spät in den abströmenden Aquifer gelangen. Diese Vorstellung bedingt weiters geringe Farbstoffabgabemengen an den durchflossenen Aquifer, so daß es in weiterer Folge zu Verdünnungserscheinungen kommen kann, die keinen Nachweis mehr an den Quellaustritten ermöglichen. Stellt man nun den positiven Eosinnachweis am Quellaustritt 61 den bis jetzt negativen Nachweisen von Uranin und Rhodamin an den Weißbachquellen gegenüber, so muß man sich die Frage stellen, wie diese Verbindung zustande kommen kann. Betrachtet man ein E-W-Profil in der Höhe der Weißbachquellen (Fig. 15), so kann man sehen, daß die Eosineingabestelle annähernd am Kontakt der Raibler Schichten zum Hauptdolomit liegt. Wie die Farbstoffanalysen zeigten, ist der Großteil des eingespeisten Eosins nach E in das Einzugsgebiet des Mühlebaches abgeflossen. Ein Teil dieses Farbstoffes dürfte jedoch über die steil nach W einfallenden Raibler Schichten unter dem Hauptdolomit durch nach W abgeflossen sein. Die geologische Situation im Bereich der Quelle 61 spricht für diese Annahme, da an diesem Quellaustritt die Raibler Schichten als Stauer das Wasser zum Austritt bringen. Anhand der relativ schnellen Durchgangszeit von ein bis zwei Monaten kann man weiters annehmen, daß entlang dieser geologischen Grenze gute Wasserwegigkeiten vorhanden sein müssen. Die in diesem Bereich die

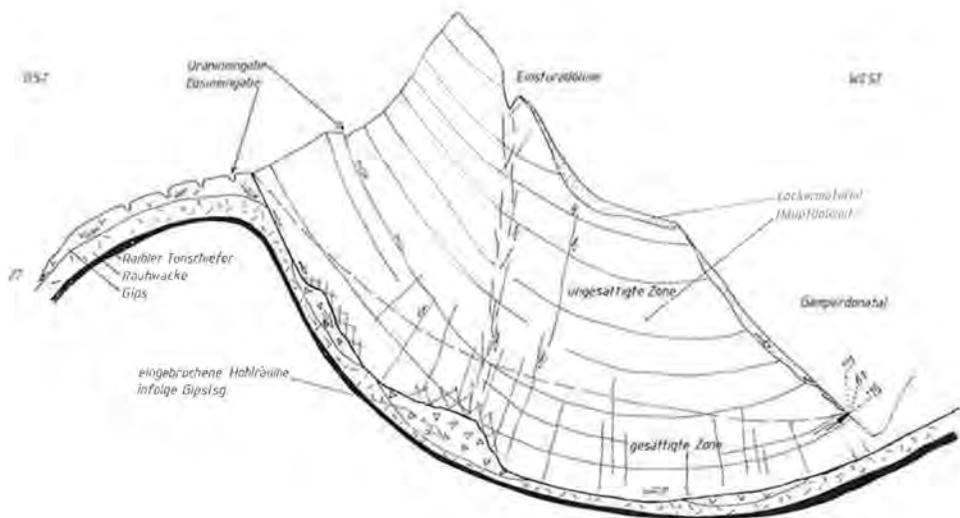


Fig. 15: Schematisiertes Profil durch den Alpinkopf.

Raibler Tonschiefer überlagernden leicht löslichen Gipse stellen gute Voraussetzungen zur Bildung unterirdischer Hohlräume, in denen es zu einem schnelleren Abfließen kommen kann, dar. Im Vergleich dazu kann man sich aber auch vorstellen, daß die Farbstoffe von der Schillermulde bzw. vom Alpilakar wesentlich langsamer im nicht allzugut verkarsteten Hauptdolomit den Weißbachquellen zuströmen. Als Hauptergebnis hat der Markierungsversuch jedoch gezeigt, daß das tatsächliche Einzugsgebiet der Weißbachquellen auf alle Fälle über den Kammverlauf hinaus nach E bis an die Grenze der Raibler Schichten zum Hauptdolomit reicht. Ein positiver Farbnachweis von den Karen östlich der Linie Alpilakopf–Mondspitze zur Weißbachquellgruppe konnte bis jetzt aus den vorhin erwähnten Gründen noch nicht erbracht werden.

## 6. Wasserbilanzierung der Weißbachquellen

Bei dieser Bilanzierung muß berücksichtigt werden, daß keine kontinuierliche Abflußmeßreihe der Weißbachquellen und keine Meßwerte der meteorologischen Parameter im Untersuchungsgebiet zur Verfügung stehen. Die Errichtung einer Pegelanlage zur kontinuierlichen Registrierung der Wasserstände war aufgrund des Bachprofils des Weißbachs und dem Nebeneinanderauftreten einer Vielzahl von Quellen, die teils auch ein unterschiedliches Einzugsgebiet sowie verschiedenes Speichervermögen und Schüttungsverhalten aufweisen, nicht möglich. Es wurde aber versucht, durch möglichst viele Einzelschüttungsmessungen mittels der Salzverdünnungsmethode einen Näherungswert für die mittlere Jahresschüttung einzelner Quellgruppen zu bekommen und damit eine Bilanzierung zu ermöglichen. Die dafür notwendigen meteorologischen Parameter wurden regressiv aus den Daten umliegender Wetterstationen ermittelt. Für die Anschätzung des Gebietsniederschlags im Untersuchungsgebiet wurden als Basis die Werte der meteorologischen Station Bürs während des Beobachtungszeitraums von Oktober 1987 bis einschließlich September 1988 verwendet. Die Zunahme des Niederschlags mit der Höhe wurde regressiv aus den hydrographischen Stationen der nach W geöffneten Täler Großes Walsertal (Blons) und dem Klostertal (Dalaas, Langen Rauz) sowie dem Brandnertal (Bürs, Brand) jeweils im Zeitraum 1971–1980 berechnet. Wo längere Meßreihen vorlagen, wurden diese verwendet. Die Stationen Fontanella im Großen Walsertal und Lünnersee im Brandnertal wurden aufgrund ihrer starken Abweichung (Beeinflussung durch niederschlagsreicheres Wetter bzw. Lage im Windschatten) nicht verwendet. Es wurde hier insbesondere der in Vorarlberg dominierenden Westwetterlage Rechnung getragen. Aus den erwähnten Stationen konnte eine Niederschlagszunahme pro 100 m von 58 mm errechnet werden, wonach sich ein Gebietsniederschlag von etwas über 2000 mm ergibt. Unter Berücksichtigung der Verdunstung und Interzeption von ca. 25% des Niederschlags (Berechnungen nach HAUDE und THORNTHWAITE) ließ sich ein mittlerer jährlicher Abfluß von 48,7 l/s je km<sup>2</sup> ermitteln. Versucht man nun aus dem mittleren jährlichen Abfluß der gesamten Weißbachquellgruppe von 470 l/s ein zugehöriges Einzugsgebiet zu berechnen, kommt man auf eine Einzugsgebietsgröße in einem Ausmaß von 9,6 km<sup>2</sup>. Abzüglich des orographischen Einzugsgebietes der Weißbachquellen in der Größenordnung von 3,8 km<sup>2</sup> ergibt sich demnach eine Einzugsgebietsfläche von 5,8 km<sup>2</sup>. Bei dieser ermittelten Größe muß berücksichtigt werden, daß der oberflächennahe Abfluß nicht der Anreicherung des Weißbachspeichers zugute kommt. Diese Abflußkomponente beträgt im Weiß-

bachtal 50% der Grundwasserneubildungsrate. Bei einer Extrapolation auf die benachbarten Gebiete ergibt sich somit eine 11,2 km<sup>2</sup> große Fläche, deren Festgesteinsabfluß zu den Weißbachquellen entwässert. Als wahrscheinliche Gebiete, die mit Ausnahme des orographischen Einzugsgebietes in Richtung der Weißbachquellen entwässern, kommen aus hydrogeologischer Sicht die Hauptdolomitareale nordöstlich des Fundlkopfes bis annähernd zur Mondspitze, die östlich des Kammverlaufes liegen, in Frage. Außerdem dürfte auch der Grenzbereich Gips/Hauptdolomit zwischen der Äußeren Parpfienz-Alpe und der Furkla-Alp dem Einzugsgebiet der Weißbachquellen angehören.

In Fig. 16 sind die Schüttungen, die an zwei Profilen am Weißbach ermittelt wurden, zusammen mit den Niederschlägen und den Lufttemperaturen der Station Bürs sowie mit den Leitfähigkeiten dreier Quellen am Weißbach aufgetragen. In der Schüttungsdarstellung repräsentiert die Meßstelle P1 den Gesamtabfluß des Weißbaches, am Pegel P3 ist vom Gesamtabfluß des Weißbaches der obere Weißbach einschließlich des Quellaustrittes 111 abgezogen, so daß in P3 der reine Quellabfluß der Weißbachquellen, die direkt in den Weißbach münden, dargestellt ist. Da ein Teil der Weißbachquellen direkt in die Meng entwässert, wurde die Meng in größeren Zeitabständen über und unter dem Quellgebiet der Weißbachquellen gemessen. Die Zunahme des Mengabflusses in diesem Bereich ist in Fig. 16 durch die mit dem Wort MENG markierten Punkte angegeben. Hinsichtlich der Schüttungsschwankungen fällt an den Weißbachquellen ein extrem ausgeglichener Schüttungsgang auf. Niederschlagsereignisse in Form von ergiebigen Regenfällen wirken sich direkt praktisch

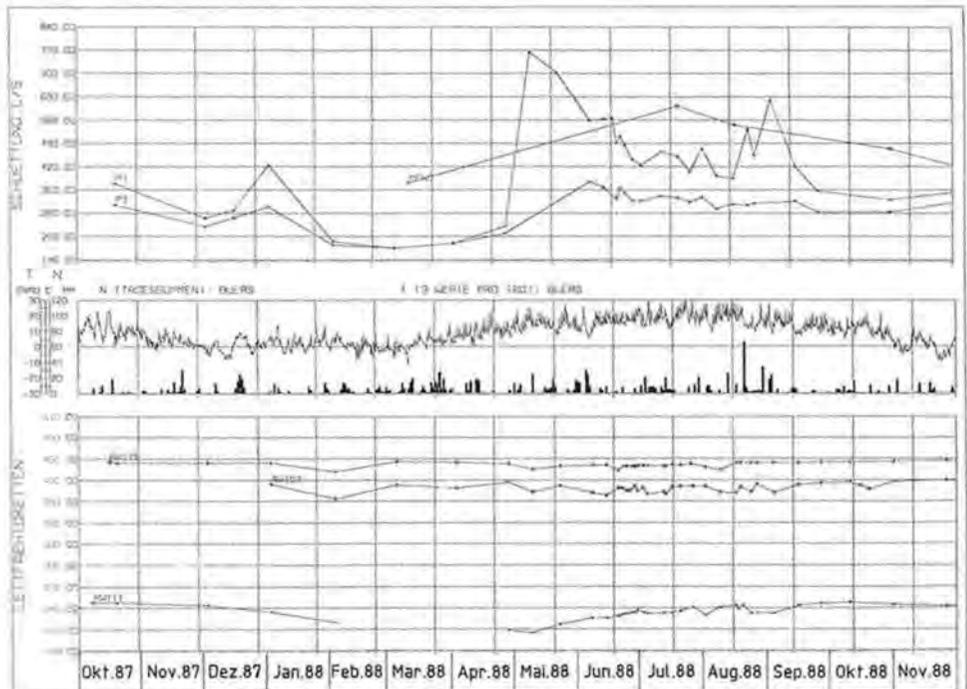


Fig. 16: Schüttungen, Temperatur, Niederschläge, Leitfähigkeiten.

nicht auf den Quellabfluß aus. Wohl aber ist ein solcher Einfluß an der Quelle 111 sowie am oberen Weißbach deutlich nachzuweisen. Die Schneeschmelze und die Sommerniederschläge zeichnen sich am oberen Weißbach durch markante Abflußanstiege aus.

## 7. Schlußfolgerung

Die hydrogeologischen Untersuchungen an den Weißbachquellen, mit dem Hauptziel der Bestimmung der Einzugsgebietsgröße, brachte unter Anwendung verschiedenster hydrogeologischer Untersuchungsmethoden ein grundlegendes Ergebnis, welches besagt, daß aufgrund der Schüttungen der Weißbachquellen das orographische Einzugsgebiet auf keinen Fall dem tatsächlichen Infiltrationsgebiet entspricht. Anhand von Wasserbilanzierungsrechnungen wurde ermittelt, daß dem rein orographisch abgegrenzten Einzugsgebiet von 3,8 km<sup>2</sup> ein zusätzliches Einzugsgebiet in der Größenordnung von ca. 5,2 km<sup>2</sup> zuzurechnen ist, das eine mittlere jährliche Schüttungsmenge des Weißbachgesamtabflusses von mehr als 400 l/s rechtfertigt. Aus hydrogeologischer Sicht kommt als Infiltrationsgebiet der Hauptdolomit in Frage, der die gesamte, nach NE gerichtete Bergflanke zwischen Tuklar und Mondspitze aufbaut. Das generelle Westeinfallen der Hauptdolomitschichten begünstigt ein Abfließen in Richtung Weißbachquellen. Eine exakte Grenzziehung des gesamten Infiltrationsgebietes ist entlang des Kontaktes der Hauptdolomite zu den Raibler Schichten bzw. Gipsen annähernd möglich, kann aber im Hauptdolomit in den Bereichen östlich des Fundlkopfes sowie südwestlich der Mondspitze nur angeschätzt werden. Um die Ausdehnung des Einzugsgebietes der Weißbachquellen in östliche Richtung wenigstens für lokale Bereiche festzustellen, wurde an drei Stellen Farbstoff eingebracht. Diese Farbstoffeingaben sollten in erster Linie ein Abfließen von bestimmten Stellen in Richtung der Weißbachquellen nachweisen, weiters konnte man sich aufgrund des Farbstoffdurchganges Hinweise auf die Speicherung des Wassers im Untergrund erwarten. Als Eingabestellen wurde das Alpilakar sowie eine Versickerungsstelle nördlich des Parphiensattels, weiters die Schillermulde ausgesucht. Die Farbstoffeingabe in der Schillermulde sollte zur Feststellung der Infiltrationsgebietsausdehnung Richtung NE dienen. Wie die Ergebnisse des Markierungsversuches zeigten, gelang es zwar, eine Verbindung von der unteren Einspeisung in der Alpilamulde zu einem Quellaustritt nahe der Weißbachquellen nachzuweisen, die im oberen Bereich des Alpilakars sowie in der Schillermulde eingesetzten Tracer konnten jedoch an keinem Quellaustritt gefunden werden. Zum derzeitigen Zeitpunkt der Untersuchungen wäre es zu früh, das Nichtauftreten der Farbstoffe in den Weißbachquellen so zu interpretieren, daß es von den Einspeisungsstellen keine Verbindung zu den Weißbachquellen gäbe. Vielmehr scheinen die Durchgangszeiten auf der Fließstrecke nach W dementsprechend lang zu sein, daß die Farbstoffe entweder noch nicht die Quellen im Einzugsgebiet des Weißbaches erreicht haben, oder daß die Farbstoffe beim langsamen Durchfließen des anscheinend mächtigen Grundwasserkörpers eine solche Verdünnung erfahren haben, die einen Nachweis an den Quellaustritten nicht mehr zuläßt. Die Ergebnisse der hydrochemischen Langzeitmessungen ausgewählter Quellaustritte am Weißbach lassen aufgrund ihrer äußerst geringen jahreszeitlichen Schwankungen im Chemismus auf eine tiefreichende Entwässerung, die lange Verweilzeiten der Wässer im Untergrund bedingt, schließen. Anhand der hydrochemischen Dauerbeobachtung, der unter anderem vier Quell-

austritte der Weißbachquellen unterzogen wurden, konnte festgestellt werden, daß mit Ausnahme des Quellaustrittes 111, der einen Lockergesteinsabfluß darstellt, die beobachteten Quellen 102, 113 und 115, die eigentlichen Weißbachquellen, ein und denselben Aquifer entwässern. Die hohen Sulfatgehalte dieser Wässer weisen auf Gipskontakt der Wässer an der Basis des Hauptdolomits hin. Aufgrund der geologischen Situation kann eine Gipslösung auf der gesamten Fließstrecke in den untersten Bereichen des Hauptdolomits erfolgen. Die ebenfalls im Rahmen der Dauerbeobachtung entnommenen Isotopenproben trugen zur Abrundung des hydrologischen Gesamtbildes der Abflußverhältnisse der Weißbachquellen wesentlich bei. So konnte einerseits anhand unterschiedlicher repräsentativer Mittelwerte eine Zuordnung von mittleren Einzugsgebietshöhen zu bestimmten Quellen vorgenommen werden, andererseits konnte man aus den jahreszeitlichen Schwankungen des Isotopengehaltes Hinweise auf das Speicherverhalten ableiten. Die Isotopenuntersuchungen gaben eine weitere Bestätigung der Ausdehnung des Einzugsgebietes auf die Hauptdolomitbereiche über das orographische Einzugsgebiet hinaus. Die ausgesprochen geringen jahreszeitlichen Schwankungen im Isotopengehalt der Weißbachquellen sind, wie am Beispiel der hydrochemischen jahreszeitlichen Schwankungen schon erwähnt, Indizien für eine gute Speicherung mit langen Verweildauern des Wassers im Untergrund. Für das Wasser am Austritt 102 der Weißbachquellengruppe wurde eine mittlere Verweildauer unter Anwendung des Exponentialmodelles von mehr als sechs Jahren im Untergrund errechnet.

Geht man von der Voraussetzung aus, daß sich die Tracer noch immer auf dem Fließweg zu den Weißbachquellen befinden, oder daß sie über die Nachweisgrenze hinaus verdünnt wurden, so sind dies Verhältnisse, die einem Quellschutz nur entgegenkommen. Die Möglichkeit, daß die Tracer in eine andere Richtung abgeflossen sein könnten, würden die geologischen Verhältnisse nicht zulassen, außerdem erstreckte sich die Beprobung auf alle theoretisch in Frage kommenden Quellaustritte, so daß aus dieser Sicht diese Möglichkeit als die unwahrscheinlichste anzusehen ist.

## Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie werden die hydrogeologischen Untersuchungen zur Abklärung des Einzugsgebietes der Weißbachquellen (Gamperdonatal, Vorarlberg) dargestellt. Aus Wasserbilanzierungen konnte man erste Hinweise ableiten, daß aus dem orographischen Einzugsgebiet allein nicht die großen Wassermengen zusammenkommen können, die an den Weißbachquellen abfließen. Nach einer Quellaufnahme des orographischen Einzugsgebietes sowie benachbarter Gebiete wurde eine Anzahl von Quellen für eine hydrochemische und isotopehydrologische Dauerbeobachtung ausgewählt. Die Ergebnisse der hydrochemischen Langzeitmessungen lassen an den Weißbachquellen aufgrund ihrer äußerst geringen jahreszeitlichen Schwankungen auf eine tiefreichende Entwässerung, die lange Verweilzeiten der Wässer im Untergrund bedingt, schließen. Anhand der hydrochemischen Dauerbeobachtung konnte weiters festgestellt werden, daß die Weißbachquellen mit Ausnahme des höchstgelegenen Austrittes, ein und denselben Aquifer entwässern. Unter Zuhilfenahme von Isotopenanalysen konnten den beobachteten Quellen einerseits mittlere Einzugsgebietshöhen zugeordnet werden, andererseits konnte man aus den jahreszeitlichen Schwankungen des Isotopengehaltes Hinweise auf längerfristige Speicherung des Wassers im Untergrund ableiten. Neben den Ergebnissen eines

durchgeführten kombinierten Markierungsversuches gaben die Isotopenuntersuchungen eine weitere Bestätigung der Ausdehnung des Einzugsgebietes der Weißbachquellen auf die Hauptdolomitbereiche in östliche Richtung über das orographische Einzugsgebiet hinaus.

## Literatur

- ATKINSON, T. C. (1977): Carbon Dioxide in the atmosphere of the unsaturated zone: an important control of groundwater hardness in limestones. – *J. of Hydrology*, **35**, 111–123, Amsterdam.
- BATH, A. (1980): TI 59 Program for Calculation Calcite, Dolomite and Gypsum Saturation in Solution. – Report Nr. WD/ST/80/3, Inst. of Geol. Sciences Geophysics and Hydrogeology Division, Wallingford.
- BERTLE, H., H. FURRER & H. LOACKER (1979): Geologie des Walgaus und des Montafons mit Berücksichtigung der Hydrogeologie. – *Jb. Mitt. oberrhein. geol. Ver.*, **61**, Stuttgart.
- CZURDA, K. & L. NICKLAS (1970): Zur Mikrofazies und Mikrostratigraphie des Hauptdolomits- und Plattenkalk-Nivaus der Klostertaler Alpen und des Rätikons. – *Festbd. Geol. Inst. 300 J. Feier, Univ. Innsbruck*.
- GOLDBRUNNER, J. & H. P. LEDITZKY (1986): Natural tracer study in groundwater systems by application of thermodynamic calculations. – *Proc. 5<sup>th</sup> Int. Symp. on Underground Water Tracing*, 283–288, SUWT, Athens.
- HEISSEL, W., R. OBERHAUSER, O. REITHOFER & O. SCHMIDEGG (1965): Geologische Karte des Rätikons 1 : 25 000. – *Geol. Bundesanst., Wien*.
- LOACKER, H. (1971): Berg- u. Grundwasserverhältnisse im Illgebiet. – *Verh. Geol. Bundesanst., Wien*.
- LOACKER, H. (1986): Geologische Beschreibung des Walgaustollens. – *Mitt. österr. geol. Ges.*, **78**, Wien.
- PAVUZA, R. & H. TRAINDL (1983): Über Dolomitkarst in Österreich. – *Die Höhle*, **34**, Wien.
- RICHTER, M. (1969): Voralberger Alpen. – *Samml. geol. Führer*, **49**, Berlin.
- RICHTER, M. (1970): Die Arosa-Zone. – *N. JB. Geol. Paläont. Mitt.*, **19**, Stuttgart.
- ROZANSKI, K., Ch. SONNTAG & K. O. MÜNNICH (1982): Factors Controlling Stable Isotope Composition of European Precipitation. – *Tellus*, **34**, Kopenhagen.
- STICHLER, W. & H. ZOJER (1986): Umweltisotopenmessungen und hydrochemische Untersuchungen als Hilfsmittel für die Erfassung von Quelleinzugsgebieten. – *Österr. Wasserwirtsch.*, **38**, 11/12, Wien.
- SUTTERLÜTTI, R. (1990): Die Hydrogeologie des Gamperdonatales unter besonderer Berücksichtigung der Weißbachquellen (Rätikon, Voralberg). – *Dissertation, TU Graz*, 81 S, Graz.
- TOLLMANN, A. (1976): Der Bau der Nördlichen Kalkalpen. – *Wien*.
- VERDAM, J. (1928): *Geolog. Forschung im nördl. Rätikon*. – *Zürich*.

## Summary

This paper deals with the hydrogeological investigations carried out to identify the catchment area of the Weißbach Springs (Gamperdonatal, Voralberg). The water balance sheets indicated that the orographical catchment area cannot account exclusively for the great quantities of water which flow off at the Weißbach Springs. After recording the springs that are located in the orographical catchment area and in adjacent areas, a number of springs was chosen for permanent observation as to their hydrochemical nature and isotope content. In the case of the Weißbach Springs, the hydrochemical long-term measurements showed that the seasonal fluctuations are extremely small. This leads to the conclusion that drainage occurs at a deep level, which results in long underground storage times of the waters. From the hydrochemical long-term observation it could also be deduced that, apart from the highest emergence point, the Weißbach Springs discharge from the same aquifer. By means of isotope analyses mean catchment area altitudes could be attributed to the observed springs. The seasonal fluctuations of the isotope content indicated long underground water storage. Together with the results of a combined tracer test, the isotope tests furnished additional proof for the assumption that the catchment area of the Weißbach Springs reaches beyond the orographical catchment area and stretches eastwards into the main dolomite areas.