

Reports

R-143

ABFLUSSDYNAMIK IM SCHNEEALPENMASSIV

**Zur Abschätzung der Umwelteinflüsse auf die
Qualität der Quellwässer**

Mahindokht Heinz-Arvand

Gerhard Bryda

Dieter Rank

Reports

R-143

ABFLUSSDYNAMIK IM SCHNEEALPENMASSIV

**Zur Abschätzung der Umwelteinflüsse auf die
Qualität der Quellwässer**

Wien, 1997

Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie



Projektleiter(in)

M. Heinz-Arvand (Umweltbundesamt)

Autor(en)

M. Heinz-Arvand

G. Bryda (Geologische Bundesanstalt)

D. Rank (Arsenal)

Analytik

C. Schütz (Umweltbundesamt)

Karten/Satz/Layout

E. Stadler

I. Tölly

R. Schuh

B. Gröger

Danksagung:

R. Lein (Geolog. Inst. der Univ. Wien) für die Betreuung der Geologie und
Strukturgeologie

L. Leitner (Geolog. Inst. der Univ. Wien) für Graphik

W. H. Kollmann (Geolog. Bundesanstalt) für kritische Durchsicht

Ch. Leibundgut (Univ. Freiburg/Breisgau, Inst. f. Hydrologie) für fachliche Hinweise

W. Käss (Internat. Arbeitsgemeinschaft Tracerhydrologie, Freiburg/Breisgau) für
nützliche Hinweise

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt, Spittelauer Lände 5, A-1090 Wien

Druck: Druckerei Riegelnik, 1080 Wien

© Umweltbundesamt, Wien, 1997

Alle Rechte vorbehalten (all rights reserved)

ISBN 3-85457-373-1

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG/ABSTRACT	I
1. EINLEITUNG	1
2. STAND DER FORSCHUNG	3
2.1. GEOLOGISCHE- GEOTEKTONISCHE AUFNAHMEN	3
2.2. MARKIERUNGSVERSUCHE 1962,1963 UND 1968.....	4
3. GEOLOGISCHER AUFBAU UND TEKTONIK.....	9
4. HYDROGEOLOGISCHE CHARAKTERISIERUNG DER GESTEINE	15
4.1 MITTELOSTALPIN UND GRAUWACKENZONE.....	16
4.2 DIE GESTEINE DER MÜRZALPENDECKE.....	16
4.2.1 Haselgebirge und Werfener Schichten.....	16
4.2.2 Gutensteiner Dolomit und Kalk	17
4.2.3 Steinalm-Dolomit und -Kalk.....	17
4.2.4 Reifflinger Kalk.....	18
4.2.5 Wetterstein-Kalk und -Dolomit	18
4.2.6 Raibler Schichten.....	19
4.2.7 Waxenegg-Kalk	19
4.3 DIE SCHNEEBERGDECKE	20
4.3.1 Proles-Schuppe	20
4.3.1.1 Hallstätter Dolomit.....	20
4.3.1.2 Halobienschichten	20
4.3.1.3 Oberkarnische Hallstätter Graukalke.....	20
4.3.1.4 Zlambach-Schichten.....	21
4.4 ROSSKOGEL - RAUHENSTEIN - LACHALPEN-DECKSCHOLLE.....	21
4.4.1 Werfener Schichten	21
4.4.2 Gutensteiner Dolomit und Kalk	21
4.4.3 Steinalm-Dolomit	21
4.4.4 Hornstein führende Hallstätter Kalke.....	22
4.4.5 Roter und bunter Hallstätter Kalk.....	22
4.4.6: Wetterstein-Kalk	22
5. CHARAKTERISIERUNG DER GEWÄSSERTYPEN UND ABGRENZUNG IHRER EINZUGSGEBIETE	23
5.1 DIE WASSERALMQUELLE	23
5.2 DIE SIEBENQUELLEN.....	24
5.3 DER SCHNEEALPENSTOLLEN - MITTELSEKTION.....	25

5.4 DER LOHMBACH	26
5.5 DIE KALTE QUELLE	26
5.6 DIE KALTE MÜRZ.....	27
5.7 DER KLEINBODENGRABENBACH	27
5.8 KALTER BACH	27
5.9 DIE QUELLE IM STEINALPLTAL.....	29
5.10 DER TIROLBACH	29
5.11 WASSERFALL ZUM TOTEN WEIB	29
5.12 DER SCHWARZBRUNNEN	30
6. ABFLUSS	31
6.1 SPEICHERVERHALTEN.....	35
6.2 BERECHNUNG DER ABFLUSSRÜCKBILDUNG DER EINZELNEN ABSCHNITTE DER TROCKENWETTERFALLINIE(TWL) DES SIEBEN- QUELLENSYSTEMS UND DER WASSERALMQUELLE 1	38
6.3 ABSCHÄTZUNG DER EINZUGSGEBIETSGRÖßEN.....	43
7. UNTERSUCHUNGEN DER WASSERBESCHAFFENHEIT	47
7.1 UNTERSUCHUNGEN ZU EREIGNISSEN (SCHNEESCHMELZE, REGEN)	56
7.1.1 Beobachtungen zur Schneeschmelze 1994.....	56
7.1.2 Untersuchung eines Regenereignisses im Sommer 1994.....	63
7.2 ISOTOPENHYDROLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN IM KARSTMASSIV DER SCHNEEALPE.....	67
7.2.1 Zur Anwendung von Isotopenmessungen.....	67
7.2.2 Die Isotopenverhältnisse im natürlichen Wasserkreislauf	67
7.2.3 Bestimmung des Alters von Wässern	71
7.2.4 Ergebnisse der Langzeitmessungen.....	71
7.2.4.1 Siebenquellen und Wasseralmquelle.....	71
7.2.4.2 Wasseraustritte im Schneesalpenstollen.....	74
7.2.5 Vorversuche zur Analyse der Auswirkung einzelner hydrologischer Ereignisse (Starkregen, Schneeschmelze).....	76
7.2.5.1 Auswirkung von Niederschlagsereignissen, Abflußzusammensetzung.....	76
7.2.5.2 Auswirkung der Schneeschmelze, Abflußzusammensetzung.....	78
7.2.6 Weiterführende Untersuchungen	79
8. SCHLUSSFOLGERUNGEN	81
9. LITERATUR.....	85

ABBILDUNGSVERZEICHNIS:

Abb. 1: Lage des Arbeitsgebietes und Situation des Schneesalpenstollens im System der I. und II. Wiener Hochquellenwasserleitung	1
Abb. 2: Farbversuche 1962, 1963 u. 1968 - Eingabe- und Austrittsstellen der Markierungsstoffe	5
Abb. 3: Schneesalpenstollen	
Abb. 4: Schneesalpenstollen - Tracerlaufzeiten	
Abb. 5: Tritiummessungen in Niederschlagswässern und Wasseraustritten im Schneesalpenstollen.....	7
Abb. 6: Tektonische Übersichtskarte	10
Abb. 7: Geologische Profilschnitte durch das Schneesalpengebiet	11
Abb. 8: Schematisierte Schichtfolge des Schneesalpengebietes.....	15
Abb. 9: Vergleich der Tageswerte des Jahresabflusses der Siebenquellen und der Wasseralmquelle, 1970	31
Abb.10: Vergleich der Tageswerte des Jahresabflusses der Wasseralmquelle und der Siebenquellen, 1973	32
Abb. 11: Vergleich der Tageswerte des Jahresabflusses der Wasseralmquelle und der Siebenquellen, 1981	32
Abb. 12: Vergleich der Tageswerte des Jahresabflusses des Wasseralmquellesystems (Schneesalpe Nord) und Reistalbach II mit der Niederschlagshöhe und Lufttemperatur.	
Abb. 13: Vergleich der Tageswerte des Jahresabflusses des Siebenquellen-systems (Schneesalpe Süd) mit der Niederschlagshöhe und Lufttemperatur	
Abb. 14: Tagesgänge während der Schneeschmelze der Siebenquellen und der Wasseralmquelle	33
Abb. 15: Reaktion der Siebenquellen und der Wasseralmquelle auf das Hochwasser 1991	34
Abb. 16: Trockenwetterfalllinien der Siebenquellen 1971 und 1975.....	37
Abb. 17: Trockenwetterfalllinien der Wasseralmquelle 1971 und 1975.....	37
Abb. 18: Abhängigkeit der Abflußspende von der mittleren Einzugsgebietshöhe der Siebenquellen und Wasseralmquelle	46
Abb. 19: Lage der beobachteten Quellen im Bereich Neuberg-Altenberg	
Abb. 20: Vergleich Schüttung und Gesamthärte der Siebenquellen und der Wasseralmquelle.	53
Abb. 21: Station Karlgraben: Niederschlagshöhen von Oktober 1980 bis März 1982	53

Abb. 22:	Vergleich Schüttung und Wassertemperatur der Siebenquellen.....	54
Abb. 23:	Ganglinien von Wassertemperatur und Gesamthärte der Wasseralmquelle I und einiger Wasseraustritte im Schneesalpenstollen-Nordtrum.....	55
Abb. 24:	Wasseralmquelle: Vergleich Magnesiumgehalt und Leitfähigkeit bei der Schneesalpenmelze	59
Abb. 25:	Wasseralmquelle: Vergleich Calciumgehalt und Leitfähigkeit bei der Schneesalpenmelze	59
Abb. 26:	Wasseralmquelle: Vergleich Sulfatkonzentration und Leitfähigkeit bei der Schneesalpenmelze	60
Abb. 27:	Niederschlagshöhe bei der Station Hinternaßwald	60
Abb. 28:	Siebenquellen: Vergleich Magnesiumgehalt und Leitfähigkeit bei der Schneesalpenmelze	61
Abb. 29:	Siebenquellen: Vergleich Calciumgehalt und Leitfähigkeit bei der Schneesalpenmelze	61
Abb. 30:	Siebenquellen: Vergleich Sulfatkonzentration und Leitfähigkeit bei der Schneesalpenmelze	62
Abb. 31:	Siebenquellen - Meßwehr.....	62
Abb. 32:	Niederschlagshöhe auf dem Schneesalpenplateau in unmittelbarer Nähe der dortigen Wetterstation.	64
Abb. 33:	Ganglinie der Siebenquellen.....	65
Abb. 34:	Siebenquellen: Vergleich Magnesiumgehalt und Leitfähigkeit bei einem Regenereignis.....	65
Abb. 35:	Siebenquellen: Vergleich Calciumgehalt und Leitfähigkeit bei einem Regenereignis.....	66
Abb. 36:	Siebenquellen: Vergleich Sulfatkonzentration und Leitfähigkeit bei einem Regenereignis.....	66
Abb. 37:	Jahresgang des $\delta^{18}\text{O}$ -Monatsmittels des Niederschlages bei den Beobachtungsstationen Podersdorf (120 m ü.A.) und Patscherkofel (2245 m ü.A.), Mittelwert 1976/85; mittlere monatliche Lufttemperatur am Patscherkofel, Mittelwert 1971/80.	69
Abb. 38:	Langfristiger Verlauf der ^3H -Konzentration im Niederschlag (Monatsmittel) und im Oberflächenwasser (monatliche Stichproben)	70
Abb. 39:	Modellvorstellung zur Wasserbewegung im Karstmassiv	72
Abb. 40:	Schneesalpenstollen.	74

Abb. 41:	Niederschlagshöhe und ^{18}O -Gehalt des Niederschlages beim Schnees- alpenhaus im August 1994. ^3H - und ^{18}O -Gehalt der Siebenquellen.	77
Abb. 42:	^3H - und ^{18}O -Gehalt der Siebenquellen im Zeitraum 6. bis 9.5.1994.....	78
Abb. 43:	^{18}O -Gehalt der Wasseralmquelle im Zeitraum 6. bis 9.5.1994.....	79

TABELLENVERZEICHNIS:

Tab. 1:	Schwankungsbereich der Gesamt- und Karbonathärte der 1966-1970 beobachteten Quellen im Bereich Neuberg - Altenberg	47
Tab. 2:	Ergebnisse der Modellrechnungen auf der Basis von Isotopendaten.....	73
Tab. 3:	Errechnete mittlere Verweilzeiten der Stollenwässer (Durchgangszeit von ^3H)	75

TAFELN:

Tafel 1:	Methoden- und Geräteübersicht
Tafel 2:	Bestimmungs- und Nachweisgrenzen

BEILAGEN:

1	Geomorphologische Karte
---	-------------------------

ZUSAMMENFASSUNG

Das Karstmassiv der Schneealpe mit einer Fläche von 113 km² liegt ca 100 km südwestlich von Wien (Abb. 1). Ein bedeutender Teil dieser Fläche wird von einem Hochplateau mit einer durchschnittlichen Seehöhe von 1.800 m eingenommen. Dieses Massiv stellt einen selbständigen Karstkörper dar. Die Schiefer und Phyllite der Grauwackenzone bilden das Basement einer aus drei Deckenkörpern aufgebauten Abfolge (Tirolikum, Mürzalpendecke, Schneealpen-Deckscholle). Am Aufbau dieser Einheiten sind folgende Schichtglieder beteiligt: Werfener Schichten, Gutensteiner Kalk, Steinalmkalk, Reiflinger Kalk, Hallstätter Buntkalk, Wetterstein-Kalk und -Dolomit, Waxeneggkalk. Die Serie der Werfener Schiefer an der Basis der triadischen Karbonate bilden den bedeutendsten Stauhizont.

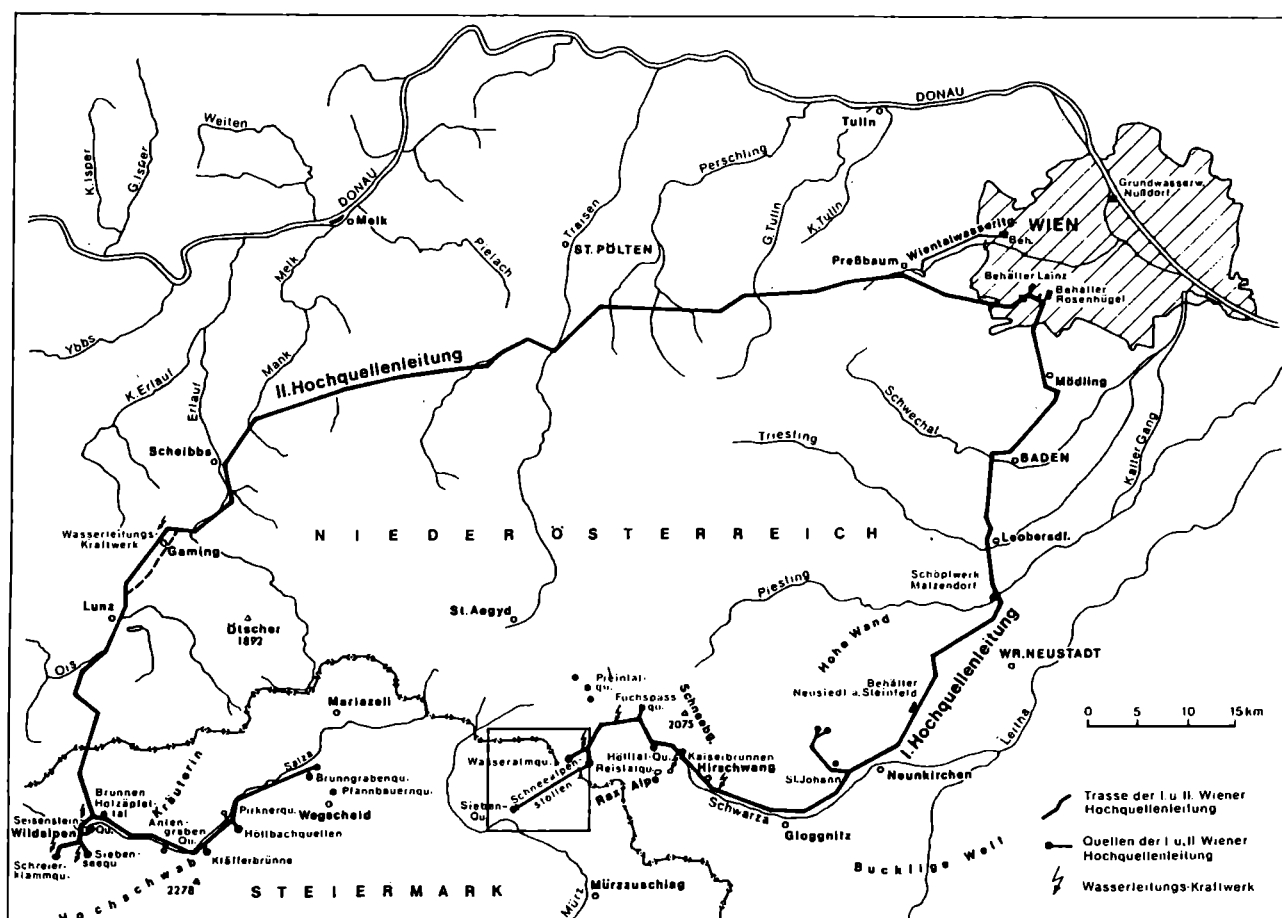


Abb. 1: Lage des Arbeitsgebietes und Situation des Schneealpenstollens im System der I. und II. Wiener Hochquellenwasserleitung (aus T. E. Gattinger, 1973, ergänzt)

In den Jahren 1965 bis 1968 wurde zwecks Überleitung der Siebenquellen bei Neuberg an der Mürz in die I. Wiener Hochquellenwasserleitung bei Hinter-Naßwald ein 9661 m langer Wasserstollen (Abb. 1) durch das Schneealpenmassiv vorgetrieben. Der Stollen verläuft quer durch das Schneealpenmassiv zumeist nahe der Basis der Karbonatmasse, unterhalb des Karstwasserspiegels, knapp über den wasserstauenden Werfener Schichten. Das

Mundloch im Karlgraben (bei Neuberg) liegt 10 bis 20 m unter den Austritten der Siebenquellen, das Mundloch im Reistal (bei Naßwald) etwa 30 m unter dem Hauptaustritt der Wasseralmquelle. Der Stollen verläuft größtenteils ca. 800 bis 1000 m unter der Geländeoberkante.

Die karsthydrogeologische Datenerfassung zur Abschätzung der Umwelteinflüsse (geogene und anthropogene Einflüsse) auf die Qualität der Quellwässer im Schneesalpengebiet basiert auf den karsthydrogeologischen Kenntnissen, die seit 1962 in diesem Gebiet gewonnen worden sind. Unseren Informationen zufolge sind derartig lang laufende Reihenuntersuchungen, wie sie im Bereich der Schneesalpe durchgeführt worden sind, im alpinen Raum einzigartig.

Das Schneesalpengebiet wird sowohl im Norden als auch im Süden von polyphasig bewegten, annähernd W-E streichenden Blattverschiebungen begrenzt. Die Dobrein-Störung bildet die südliche Begrenzung des Karstmassives und verläuft in einem Bündel zahlreicher subparalleler Flächen vom Dobrein-Tal über Mürzsteg im Westen nach Osten in die Südflanke der Lachalpe und des Rauhensteins bei Neuberg an der Mürz. Entlang der Bewegungsbahn der Störung sind Gesteine aus unterschiedlichen tektonischen Einheiten in Form dünner, stark tektonisierter Lamellen (Flower structure) eingeschichtet.

Die entlang der Nordgrenze von Frein im Westen (siehe Beilage 1) über das Tal der Kalten Mürz in Richtung der Goldgrubhöhe und dem Lettingkogel nach Osten streichende Blattverschiebung besitzt geringere Bedeutung. Beide Blattverschiebungen durchtrennen ein offenbar älteres, engständiges System aus dominierenden NE-SW streichenden und annähernd NW-SE streichenden Störungen.

Untergeordnet sind auch N-S verlaufende Trennflächen zu beobachten. Diese sind teilweise aufgegangen und scheinen an NS-streichende, ESE-gerichtete Abschiebungen gekoppelt zu sein, die durch die Mürzschlucht N-S streichen.

Alle Trennflächen zeigen gemeinsam mit den Schichtfugen eine lithologisch abhängige Verkarstung, jedoch scheint diese besonders das NE-SW und NW-SE vergitternde System zu betreffen. Die im Gelände und aus dem Luftbild erkennbaren Dolinen und Senkungsfelder erscheinen vorwiegend an diesen Trennflächen angelegt zu sein und belegen erhöhte Wasserwegigkeiten an diesen Strukturen.

Im Falle der Siebenquellen wirkt die Dobrein-Störung als Sammelkanal für die gespeicherten und an den Trennflächen zutretenden Bergwässer, die dann am Kreuzungspunkt der Störung im tief eingeschnittenen Karlgraben als Überfallquelle zutage treten. Ein geringer Teil des Wassers strömt möglicherweise entlang der Dobrein-Störung weiter nach Westen und kommt erst am Fuße des Kuhkogels im Bachbett des Tirolbaches zum Austritt.

Beim Einsetzen der Schneeschmelze (März-Mai) erreichen die Hauptquellen des Schneesalpengebietes, die Siebenquellen und die Wasseralmquelle ihre maximale Schüttung. Die Siebenquellen zeigen während der Schneeschmelze eine starke Abhängigkeit vom Gang der Tagestemperaturen und damit vom Strahlungshaushalt. An einem typischen Frühlingstag mit starker Tageserwärmung folgt das Schüttungsmaximum der Siebenquellen dem Zeitpunkt der maximalen Tageserwärmung mit einer Verzögerungen von ca. 13 bis 14 Stunden. Die Wasseralmquelle zeigt ein ähnliches Verhalten, jedoch tritt das Schüttungsmaximum hier etwa drei Stunden früher auf. Die Ursache dafür ist möglicherweise in dem vergleichsweise größeren und tiefer liegenden orographischen Einzugsgebiet zu sehen.

Im Sommer und Herbst folgen weitere Maxima im Zusammenhang mit Niederschlagsperioden. Im Sommer 1994 konnte eine Reaktion der Siebenquellen bereits 10,5 Stunden nach dem ersten Niederschlagsereignis nachgewiesen werden. Ein weiterer Schüttungsanstieg

erfolgte 54 Stunden nach dem Niederschlagsereignis. Offenbar trifft Wasser aus unterschiedlichen Speicherbereichen im Einzugsgebiet der Siebenquellen zeitversetzt ein.

Die Untersuchungsergebnisse der Wasserbeschaffenheit lassen sowohl bei den Siebenquellen als auch der Wasseralmquelle saisonale Schwankungen erkennen. Die Höchstwerte der Gesamthärte und Temperatur werden im Februar (Siebenquellen: 8,2 °dH -Temp. 5,7°C; Wasseralmquelle: 8,5°dH-Temp. 5,9 C°) erreicht. Zur Zeit der Schneeschmelze und während starker Niederschlagsereignisse erfolgt eine bedeutende Vermischung der Bergwässer mit Niederschlagswässern, wobei die Siebenquellen eine stärkere Beeinflussung der Härte ihres Quellwassers (6,5°dH) als die Wasseralmquelle (7,2°dH) zeigt.

Die Ergebnisse der Markierungsversuche (1962, 1963 und 1968) geben Hinweise auf die räumliche Lage der Einzugsgebiete und die Fließgeschwindigkeit im Karstwassersystem. Diese Untersuchungen legen nahe, daß der Abfluß zu den beiden Quellen überwiegend aus dem östlichen Bereich des Schneealpenplateaus erfolgt. Die ermittelten Spitzenwerte der Tracerdurchgänge lagen 1968 zwischen 43 und 46 Stunden. Im Stollenbereich konnte mittels der Aktivkohlemethode ein Farbtracerdurchgang zumindest bis 1977 nachgewiesen werden. Nach Modellrechnungen aufgrund von Isotopenbestimmungen (¹⁸O und ³H) wurden für die Siebenquellen und die Wasseralmquelle folgende mittlere Durchgangszeiten der Karstwässer errechnet:

Siebenquellen und Wasseralmquelle Karstschläuche	2 Monate
Siebenquellen und Wasseralmquelle klüftig-poröse Matrix (kalkig)	2,5 Jahre
Wasseralmquelle klüftig-poröse Matrix (dolomitisch)	4,5 Jahre

Die Ergebnisse der ¹⁸O und ³H-Bestimmungen in den Niederschlägen und in den Siebenquellen während der Niederschlagsperioden von 17./18.8. und 22./23.8.1994 zeigten, daß im Schneealpenbereich mit einem nennenswerten Anteil kurzfristig abfließenden Niederschlagswassers zu rechnen ist.

Der unterschiedliche ³H Gehalt der in den Stollen austretenden Wässer weist auf eine breite Altersverteilung im Karstock hin. Während die mittleren Verweilzeiten bei den austretenden Quellwässern (Siebenquellen und Wasseralmquelle) zwei und vier Jahre betragen, haben einzelne Stollenwässer ein Wasseralter von über 90 Jahren (RANK).

Aufgrund der geologischen Strukturen und hydrologischen Verhältnisse (Abflußdaten, Wasserbeschaffenheit, Markierungsversuche) wurden die Einzugsgebiete abgegrenzt. Dabei sind für die Siebenquellen drei und für die Wasseralmquelle zwei Einzugsgebiete räumlich ausgeschieden worden. Die Einzugsgebietsgröße wurde aus gemessenen Abflußmengen und geschätzten Abflußspenden (ASCHWANDEN, 1985) gerechnet und mit den aufgrund geologischer Vorstellungen ermittelten Einzugsgebietsgrößen verglichen.

Mit Hilfe der gewonnenen Daten wurde versucht, ein so gut als möglich an die Realität angepaßtes Abflußmodell für das Schneealpengebiet zu erstellen; mit diesem ist es möglich, Aussagen über Stofftransport und Stoffausbreitung zu treffen.

ABSTRACT

The Schneealpe Karst massif is located about 100 km southwest of Vienna (Fig. 1). The largest part of its area (113 km²) forms a plateau at a mean altitude of nearly 1800 m. This massif consists of karstified Triassic limestone and dolomite of more than 1000 m thickness. Slates and phyllites of the Paleozoic Grauwackezone form the basement of three rudimentary nappes (Tirolikum, Mürzalpen nappe, Schneealpen klippe). The Werfener shales form the impermeable basement of each of the overthrust carbonates nappes.

The karst water is used to supply more than 80% of Vienna's drinking water. About 30% is supplied from the Schneealpe massif.

A 9,7 km long tunnel was driven through the deepest karst nappe at the base of the carbonate rocks during 1965 to 1968. This tunnel conducts water from the major spring „Siebenquellen“ into the „1st Wiener Hochquellenleitung“ in the northeast section of the Schneealpe massif.

In this paper the results of hydrological and chemical investigations since 1962-1983 and special sampling during snowmelt (may 1994) and rain events (august 1994) are summarised. This is a unique situation of a long term hydrological observation of more than 30 years in and around an Alpine karst massif.

The karstification follows tectonic lineaments and bedding planes in specific lithological units. These faults form a system of NE-SW and NW-SE striking lineaments. Dolines and sinkholes observed in the field and aerial photographs seem to follow these tectonic lineaments and confirm these structures as areas of increased water recharge.

In the case of the Siebenquellen the Doberein fault acts as a collecting channel for the karst water extruding where the deep Karlgraben trench cuts this fault system as an overflow spring.

At the beginning of the snow melt (March - May) the two main springs of the Schneealpe massif, the Siebenquelle (south) and the Wasseralmquelle (north), reach their maximum discharge. The discharge of the Siebenquelle and Wasseralmquelle depends on the air temperature and radiation from the sun. The discharge from the Siebenquelle reaches a maximum at about 13 to 14 hours after the hottest day temperature. The Wasseralm spring shows a similar feature with an earlier response of 3 hours. This may be due to the larger and orographic lower catchment area.

Further discharge maxima are observed during rainy periods in summer and autumn. In samplings in summer of 1994, increased discharge was observed at the Siebenquelle 10,5 hours and 54 hours after heavy rainfall. Clearly, water is supplied from different parts of the karst water reservoir with a certain time lag.

Chemical data of waters from the Siebenquelle as well as from the Wasseralmquelle show seasonal variations. Maximum values of the total hardness and temperature are reached in February (Siebenquelle: 8.2° dH - Temp. 5.7° C; Wasserquelle: 8.5° dH - 5.9° C). At periods of snow melt and heavy rain events karst waters are heavily diluted by precipitation waters. Spring waters of the Siebenquelle are more diluted (6.5° dH) than waters of the Wasseralmquelle.

According to water samples analysed up to now no signs of pollution were observed. Chloride (Siebenquelle: 0.31-0.43 mg/l; Wasseralmquelle: 0.41-0.45 mg/l) and nitrate concentrations (Siebenquelle: 3.16-3.46 mg/l; Wasseralmquelle: 3.31-3.71 mg/l) in spring waters dur-

ing snow melt are more or less in a range commonly observed from natural unpolluted karst aquifers.

The results of the tracer studies (1962, 1963, 1968) give indications of the position of recharge areas and of the velocity. The studies suggest the recharge to both springs comes predominantly from the eastern part of the Schneealpen massif. In 1968 the time for the tracers to reach their peak observed value was 43 to 46 hours. In the tunnel traces of the dye were observed at least till 1977 with the charcoal method.

Model calculations based on isotope measurements (^{18}O and ^3H) yielded the following mean transit times for the karst waters:

Siebenquellen and Wasseralmquelle karstic conduits	2 month
Siebenquellen and Wasseralmquelle fissured-porous aquifer (limestone)	2.5 years
Wasseralmquelle fissured-porous aquifer (dolomite)	4.5 years

The results of ^{18}O and ^3H -measurements in the precipitation and in the Siebenquellen spring waters during the rain event of 17th/18th and 22nd/23rd of August 1994 indicate a considerable proportion of rapidly discharged precipitation waters.

The considerable variation in the ^3H -content in the spring waters collected in the tunnel suggest variable periods of storage in the karstic systems. On the one hand, the mean transit times of the spring waters (Siebenquelle and Wasseralmquelle) are two and four years, on the other hand, some of the outflows in the tunnel discharged waters of more than 90 years (RANK; see section 7.2).

Based on the geological structure and the hydrogeological features (discharge, water quality data, tracer studies) the recharge areas were defined, three areas for the Siebenquelle and two for the Wasseralmquelle. Recharge areas were calculated on the basis of measured discharge and estimated water yield data (ASCHWANDEN 1985) and compared with recharge areas defined on geological considerations.

On the basis of these data a water balance model was developed for the Schneealp massif. This model allows to quantify substances brought into the aquifer and to determine their transport behaviour.

1. EINLEITUNG

Die karsthydrologischen Untersuchungen im Schneesalpengebiet wurden zur Abgrenzung des Schutzgebietes der I. Wiener Hochquellenwasserleitung im Jahre 1962 begonnen.

Die Einleitung der Siebenquellen in die I. Hochquellenleitung war ein Anlaß, daß F. Bauer (Bundesanstalt für Wasserhaushalt von Karstgebieten) systematische karsthydrologische Untersuchungen durchführte. Die Untersuchungen dienten vor allem zur Beweissicherung der Siebenquellenfassung. Später wurde von F. Bauer eine interdisziplinäre Zusammenarbeit mit dem Bundesforschungs- und Prüfzentrum Arsenal, den Wiener Wasserwerken und der Gesellschaft für Strahlenforschung (GSF) München - heute Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit - ins Leben gerufen. Zweck dieser Studien war eine genauere Wasserbilanz, aber auch ein Abflußmodell auf Basis der zahlreichen karsthydrologischen Untersuchungen darzustellen. Auch wurde von F. Bauer die Ausarbeitung eines Frühwarnsystems für den Fall von Umweltkatastrophen wie z. B. Tschernobyl geplant.

Die vorliegende Arbeit ist eine Weiterführung der Arbeiten Bauers und die Erweiterung der Forschungen in Hinblick auf die Erfassung und Prognostizierung des Stofftransportes. Es war dabei notwendig, die zahlreichen Meßblätter (Pegel, tägliche Abflußmengen 1962-1990) und hydrochemisch-hydrophysikalische sowie Isotopen-Listen (1972-1983) zu digitalisieren, um sie mit EDV-gestützten Methoden weiter bearbeiten zu können.

Alle benötigten Pegelstreifen wurden hierbei mit einem speziell für diesen Zweck von G. Bryda entwickelten Computerprogramm digitalisiert und liegen nun als Listen regelmäßig gemessener (10-Minuten-Abstände) Pegelstände [cm] in ASCII-Dateien vor (Abteilung Wasserhaushalt von Karstgebieten/ Aquatische Ökologie).

Die nun numerisch faßbaren Pegeldaten konnten jetzt auf einfache Art und Weise mit chemophysikalischen Meßwerten verglichen und weiter verarbeitet werden.

So konnten mit Hilfe eines von A. Biederman 1993 (Geologische Bundesanstalt) entwickelten Computerprogrammes die Trockenwetterfalllinien mehrerer hydrologisch relevanter Jahre (1970,1973,1981) berechnet und graphisch dargestellt werden. Aus den ermittelten Trockenwetterlinien wurden in der Folge unter Zuhilfenahme eines weiteren, von G. Bryda entwickelten Computerprogrammes die jeweiligen Abflußanteile rechnerisch abgetrennt.

Im Rahmen der Dissertation von G. Bryda (in Vorbereitung) wurden zur genaueren Charakterisierung der geotektonischen, hydrogeologischen Verhältnisse hydrogeologische Aufnahmen und ergänzende Untersuchungen der Ereignisse wie Schneeschmelze und Starkregenfälle durchgeführt.

Im ersten Teil des Berichtes wird der Stand der Forschung und deren Resultate dokumentiert. Im zweiten Teil wird die Ergebnisanalyse der Abflußverhältnisse und Wasserbeschaffenheit in bezug auf den Stofftransport im Karstaquifer beschrieben und grafisch dargestellt.

Im allgemeinen können anhand der Berechnung der Einzugsgebietsgröße und Modellierung der Karstwasserzirkulation für bestimmte Fälle Vorhersagen über zeitliche und räumliche Ausbreitung von Fremdstoffen in einem verkarsteten Grundwasserleiter getroffen werden.

2. STAND DER FORSCHUNG

2.1. GEOLOGISCHE- GEOTEKTONISCHE AUFNAHMEN

Die geologische Grundlagenforschung in den Mürztaler Alpen beginnt bereits um die Mitte des vorigen Jahrhunderts (HAIDINGER, 1848; HAUER, 1847).

Diese Arbeiten beschäftigen sich jedoch hauptsächlich mit den damals genutzten Erzvorkommen der Grauwackenzone und einigen Fossilvorkommen in den Kalkalpen. Der Kenntnisstand jener Zeit ist in der Übersichtskarte von MORSLOT (1850) dokumentiert. In ihr wird bereits versucht, die basalen Anteile der Kalkalpen von den stratigraphisch höheren abzutrennen.

Die eigentliche Pionierzeit der Kalkalpenforschung wird in den Mürztaler Alpen allerdings erst durch die Arbeiten von HAUER & FÖTTERLE (1852) in Verbindung mit der Gründung der Geologischen Reichsanstalt 1850 eingeleitet. Arbeiten von STUR (1871), GEYER (1889), MOJSISOVICS (1892) und BÖSE (1898) folgen und sind von entscheidender Bedeutung für das Verständnis des stratigraphischen Aufbaues dieses Kalkalpenabschnittes.

Von der Stadt Wien wurde im selben Zeitraum die Errichtung der I. Hochquellenwasserleitung begonnen und diese Schritt für Schritt ausgebaut.

So erfolgte die Anbindung der nordöstlich des Schneealpengebiets nahe Naßwald gelegenen Quellen in den Jahren 1894 bis 1897. Davon wurde 1896 mit der Wasseralmquelle die ergiebige Quelle des Gebietes eingeleitet.

Die südwestlich des Bergstockes im Krampengraben unweit Neuberg/Mürz entspringenden Siebenquellen wurden ebenso bereits 1899 von der Gemeinde Wien angekauft, konnten damals aufgrund der enormen technischen Schwierigkeiten, die der Bau eines Anbindungsstollens an das Netz der Hochquellenwasserleitung mit sich gebracht hätte, allerdings noch nicht eingeleitet werden.

Nach der Jahrhundertwende machte die geologische Forschung aufgrund neuer Konzepte große Fortschritte. So liegt in der „Geologischen Spezialkarte des Bundesstaates Österreich, Blatt Mürzzuschlag“, Geologische Bundesanstalt 1936, bereits ein umfassendes Bild der Geologie der Mürztaler Alpen vor, das auch heute noch in weiten Grenzen Gültigkeit besitzt. In den Erläuterungen zu dem genannten Kartenblatt (CORNELIUS, 1936 und 1952) erfahren die großen Quellen der Mürztaler Alpen auch eine erste hydrogeologische Charakterisierung.

In der Folgezeit haben vor allem die Forschungen von KRISTAN-TOLLMANN & TOLLMANN (1963) zur Auffassung über den tektonischen Aufbau der Mürztaler Alpen beigetragen.

Mit diesem Wissen und nun entscheidend verbesserter Technik im Stollen- und Tunnelbau konnte nun wieder an eine Anbindung der Siebenquellen an das Netz der I. Wiener Hochquellenwasserleitung gedacht werden. Infolge des nach dem II. Weltkrieg wieder stark angestiegenen Wasserverbrauches der Stadt Wien schien jenes Projekt auch von hoher Dringlichkeit.

Nach eingehenden geologischen und hydrogeologischen Voruntersuchungen (Farbversuche DOSCH [1962], ZÖTL [1963], BAUER [1968]) erfolgte daher am 6. Dez. 1965 der Anschlag zum Bau des Wasserleitungsstollens durch die Schneealpe.

Der Stollen wurde unter der technisch-wissenschaftlichen Betreuung von T. E. Gattinger und F. Bauer mit dem am 8. Juli 1968 nach einer Bauzeit von 31 Monaten erfolgten Durchschlag fertiggestellt und erreichte eine Gesamtlänge von 9.681m.

Die Erfahrungen und Forschungsergebnisse aus dem Stollenbau wurden schließlich entsprechend ihres Fachbereiches von BAUER (1969) und GATTINGER (1973) veröffentlicht. Aufgrund dieser Forschungsergebnisse schienen weitergehende Untersuchungen zur Qualitätssicherung der erschlossenen Wässer notwendig. Zudem hatte man durch den Stollenbau ein natürliches Laboratorium erschlossen, das Einblick in die Vorgänge innerhalb des Karstwasserkörpers der Schneesalpe versprach. Es wurde daher in der Folgezeit unter der Betreuung von F. Bauer in Zusammenarbeit mit den Wiener Wasserwerken ein umfangreiches Beobachtungs- und Versuchsprogramm durchgeführt.

Die ersten eingehenden hydrologischen Untersuchungen wurden im Rahmen des Sporentriftversuches 1962 durchgeführt. In der Folge wurden sämtliche bedeutenden Abflüsse aufgenommen und auf Wassertemperatur, Wasserchemismus (Ca- und Mg-Gehalt, Chlorid- und Sulfat) untersucht und die Abflußmengen gemessen.

Bereits im Jahre 1963 wurde ein hydrologisches Programm durch das Speläologische Institut erstellt. Die ergänzende Quellen- und Brunnenaufnahme erfolgte im Bereich Neuberg im Jänner 1963. Ab 1964 wurden zirka 40 Quellen im Bereich Neuberg-Altenberg im Zuge eines Beweissicherungsprogramms wöchentlich gemessen und vierwöchentlich der Chemismus der Quellen bestimmt. Die Hauptquellen Wasseralmquelle und Siebenquellen wurden nach Möglichkeit täglich gemessen. In den Jahren 1964-1966 wurden insgesamt 27.000 Wasserproben an Quellen und Wasseraustritten im Stollenbereich der Schneesalpe gezogen und vor allem auf Gesamt-, Karbonat- und Kalziumhärte untersucht.

Die Abflußmessungen an den Gewässern (Siebenquellen, Siebenquellen-Stollen, Karlgrabenbach, Tirolbach, Lohmbach, Mittelsektion-Stollen, Randzone Nord-Stollen, Wasseralmquelle I,II, Reißtalbach) erfolgte durch eingebaute Schreibpegel bzw. Zähler.

2.2. MARKIERUNGSVERSUCHE 1962,1963 UND 1968

Zur Abgrenzung des Schutzgebietes um die I. Wiener Hochquellenwasserleitung nach hydrologischen Gesichtspunkten wurden am 1. August 1962 in eine Schwinde nördlich der Rinnhoferhütten 21 kg grüngefärbte und in die Schwinde Durchfall am Naßköhr 14 kg rotgefärbte Lycopodiumsporen eingespeist (Speläologisches Institut), wodurch nur ein Abfluß zur Kaltequelle bestätigt werden konnte. Die Sporen, die bei der Schwinde nördlich der Rinnhoferhütten eingespeist wurden, waren trotz langfristiger Beobachtung (1. August-2. Oktoberhälfte) auch bei einem so bedeutenden Wasseraustritt wie den Siebenquellen nicht nachweisbar. Rund 700 m südlich der Schwinde der Rinnhoferhütten wurde am 27. Juni 1962 15 kg Uranin eingespeist (Hygienisch-bakteriologische Untersuchungsanstalt). Als Ergebnis zeichnete sich ein ausschließlicher Abfluß zu den Siebenquellen, allerdings bei hohen Quellschüttungen ab. Die Lage der Eingabe- sowie Beobachtungsstellen sind aus der Abbildung 2 ersichtlich.

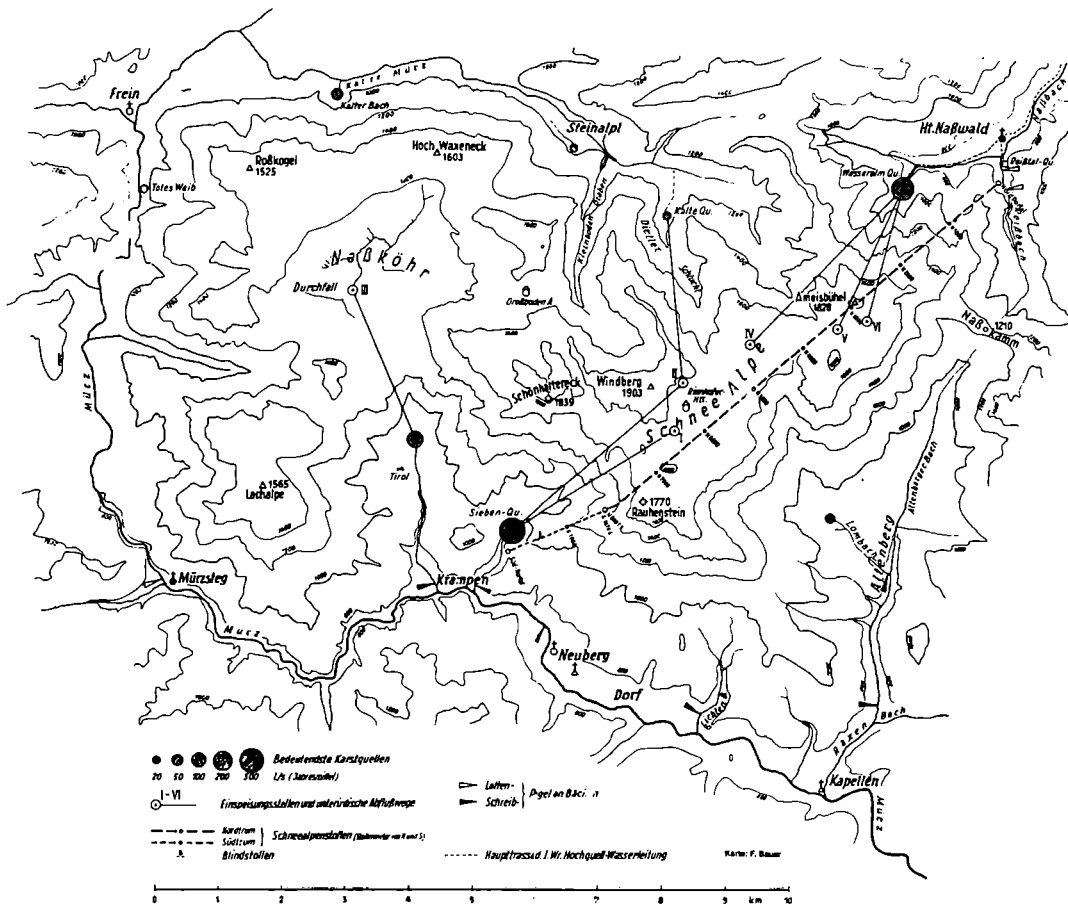


Abb. 2: Farbversuche 1962, 1963 u. 1968 - Eingabe- und Austrittsstellen der Markierungsstoffe (F. Bauer, 1969)

Da vermutlich wegen der herrschenden ungünstigen hydrologischen Verhältnisse die Markierungsversuche mit Sporen im Schneesalpengebiet zur Abgrenzung des Schutzgebietes im August 1962 keine positiven Ergebnisse lieferten, wurden vor allem für die Klärung der Grenzen der Einzugsgebiete der Siebenquellen und der Wasseralmquelle am 19. Juni 1963 Sporenriftversuche (Speläologisches Institut) sowie Farbtracerversuche am 19. August 1963 (Hygienisch-bakteriologische Untersuchungsanstalt) durchgeführt.

Insgesamt zeigten diese Markierungsversuche folgende Fließrichtungen:

- Vom Ameisbühel und von der Nachmittagshalt nach Nordosten zu den Wasseralmquellen bei Hinternaßwald
- Aus dem Bereiche nördlich Rinnhoferhütten zu den Siebenquellen und zur Kalten Quelle
- Vom Durchfall im Naßköhr in den obersten Inneren Tirolgraben

Bereits nach der Erschließung des Schneesalpenstollens wurden die Wasseraustritte im Stollen erfaßt und auf Gesamthärte, Karbonathärte, Kalziumhärte, Magnesiumhärte, Tempe-

ratur und Schüttung untersucht. Über die Einzelheiten des geologischen Baues bzw. die hydrogeologischen und karsthydrologischen Untersuchungen im Schneealpenstollen kann auf die Arbeit von Gattinger (1973) und die karsthydrologischen Untersuchungen im Schneealpenstollen von Bauer (1969) verwiesen werden. Das geologische Profil entlang der Stollentrasse und die karsthydrologischen Untersuchungen der einzelnen Wasseraustritte sind aus der Abbildung 3 zu entnehmen.

Zum Nachweis allfälliger direkter Verbindungen zwischen einer Hauptverbindungsstelle am Plateau und einzelner Stollenwasseraustritte wurde am 17. Mai 1968 ein weiterer Markierungsversuch (Speläologisches Institut) durchgeführt. Die Einspeisung (10 kg Uranin) erfolgte in die gleiche Schwinde (nördlich der Rinnhoferhütten) wie die Sporenlift- und Farbtracerversuche in den Jahren 1962 und 1963. Der Farbstoff konnte nach einer verhältnismäßig langen Zeit von 2 Tagen nur an den Siebenquellen (Karlgraben und Blindstollen) nachgewiesen werden. An den Wasseraustritten im Stollen konnte im Zeitraum von 17. Mai 1968 bis Februar 1969 kein Uraninaustritt festgestellt werden. Insgesamt gelangte $\frac{1}{4}$ der eingespeisten Uraninmenge in den Siebenquellen zum Austritt. Es wurden also mehr als 7 kg Uranin im Berg zurückgehalten. Demnach ist angenommen worden, daß der Farbstoff zum Teil in tiefere Zonen des Karstwasserkörpers eingeflossen ist.

Zur weiteren Beobachtung des Abflußmechanismus wurden die Untersuchungen mit der Aktivkohlemethode fortgesetzt. Sowohl bei den Siebenquellen und bei der Wasseralmquelle als auch bei den Wasseraustritten im Stollen wurden Aktivkohle-Säckchen eingehängt. Die Aktivkohlen im Stollen wurden jedes zweite oder dritte Jahr bei der Entleerung des Stollens ausgewechselt und auf den Farbtracer Uranin untersucht. Dabei wurden an Ort und Stelle Wassertemperatur und Schüttung gemessen und zur Bestimmung des Wasserchemismus Wasserproben gezogen.

Wie aus Abbildung 4 entnommen werden kann, konnte der 1968 eingebrachte Farbtracer (Uranin) in Wasseraustritten im Schneealpenstollen noch 1977 nachgewiesen werden.

Darüber hinaus wurden ab dem Jahre 1972 zur Bestimmung der Isotopen ^3H , ^2H und ^{18}O Wasserproben entnommen. Während die Siebenquellen und die Wasseralmquelle monatlich beprobt wurden, wurden die Wasseraustritte im Stollen bei der Entleerung (jedes zweite oder dritte Jahr) beprobt.

Im Rahmen einer interdisziplinären Arbeit zwischen der ehemaligen Bundesanstalt für Wasserhaushalt von Karstgebieten (heute zum Umweltbundesamt gehörig) und Bundesforschungs- und Prüfzentrum Arsenal (früher BVFA-Arsenal) Wien sowie dem Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (vormals GFS) München wurde ein Teil der Wasserproben zur Bestimmung von ^3H ins Arsenal Wien und zur Bestimmung von ^2H und ^{18}O nach München geschickt. Die nicht analysierten Anteile des Wassers wurden im Keller des Umweltbundesamtes gelagert.

Die Ergebnisse dieser Meßreihen wurde von W. Stichler im Oktober 1993 anlässlich des Bauer-Symposiums am Krippenstein/OÖ präsentiert.

Bauer versuchte mit Hilfe von ^3H ein Modell der mittleren Verweildauer im Bereich des Schneealpen-Stollens zu erstellen. Dazu fand sich im Archiv des Umweltbundesamtes eine graphische Darstellung (Abb. 5), die man in folgender Weise kommentieren kann:

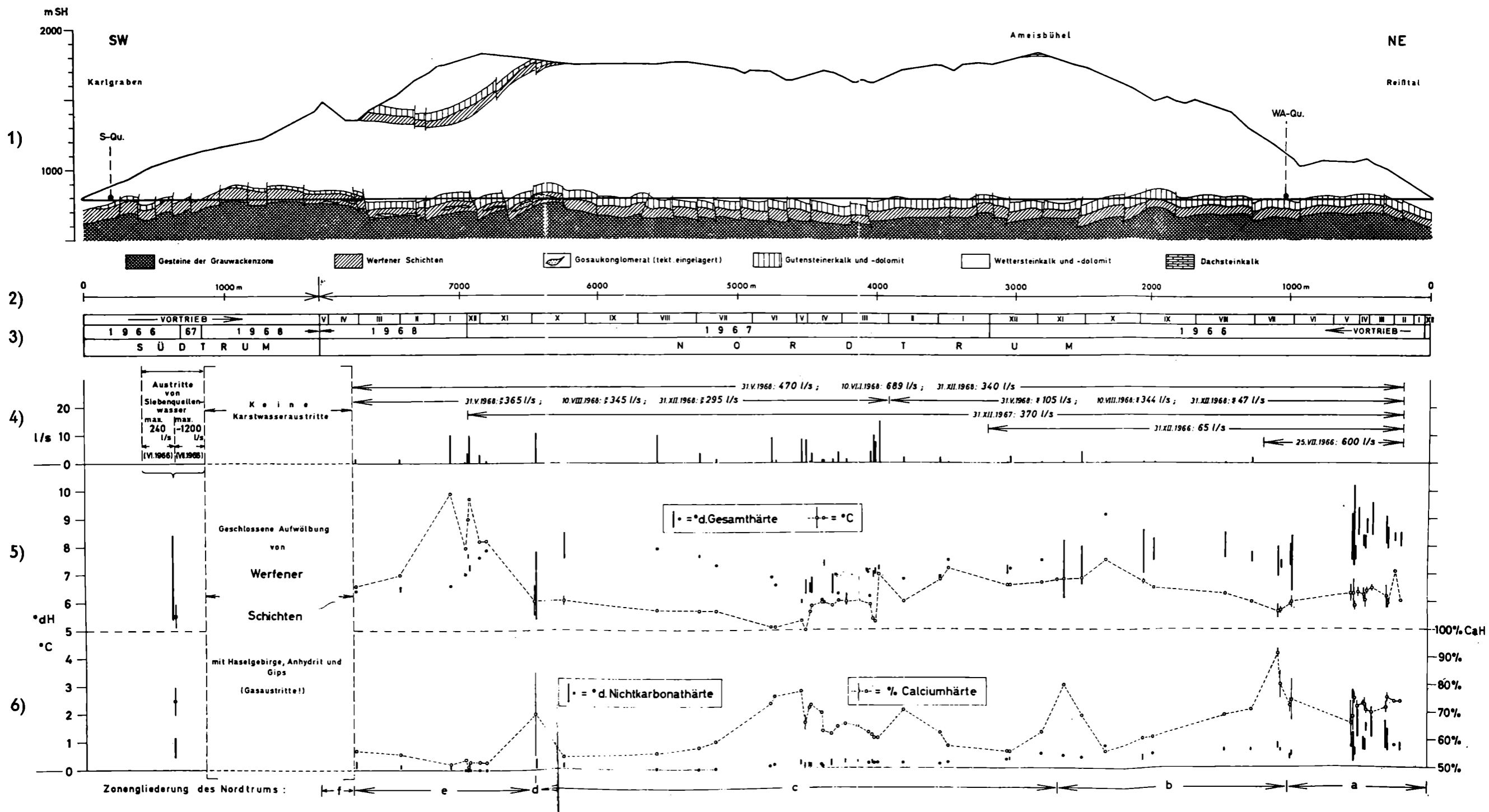


Abb. 3: Schneealpenstollen (aus F. Bauer, 1969)

Im einzelnen sind von oben nach unten angeführt:

1. Geologisches Profil entlang der Stollenstrasse (nach T. Gättinger, Geologische Bundesanstalt Wien), mit Einzeichnungen des Stollens und der Projektionspunkte der Siebenquellen (S-Qu.) und der Wasseralmquelle (WA-Qu.)
2. Stollenmeterskala für Süd- und Nordtrum
3. Vortriebszeiten im Süd- und Nordtrum (Nordtrum 8101 m, Südtrum 1580 m, Gesamtlänge 9681 m)
4. Schüttungen: Für einzelne getrennt meßbare Stollenabschnitte wurden einige besondere Gesamtabflußwerte angeführt. Die Durchschnittsschüttungen (1967/68) der wesentlichsten Einzel-Wasseraustritte des Nordtrum wurden in Säulenform dargestellt; es handelt sich hierbei zweifellos um Mindestwerte, da bedeutende Wassermengen direkt in den Wassergraben austreten und meßtechnisch nicht erfaßbar waren. (So beträgt die am Stollenmund gemessene Abflußmenge bis über das dreifache der Einzelmessungen!)

5. Gesamthärte und Nichtkarbonathärte (in deutschen Härtegraden), Wassertemperatur (°C) und Anteil der Calciumhärte an der Gesamthärte (in %) der wesentlichsten Wasseraustritte. Konstante Werte sind durch Punkte bzw. Kreise dargestellt; für schwankende Werte geben senkrechte Striche den Schwankungsbereich an.

6. Zonengliederung des Nordtrums
 - a. Stollenmeter 0 - 1000
 - b. Stollenmeter 1000 - 2700
 - c. Stollenmeter 2700 - 6445
 - d. Stollenmeter 6445
 - e. Stollenmeter 6445 - 7756
 - f. Stollenmeter 6445 - 8101

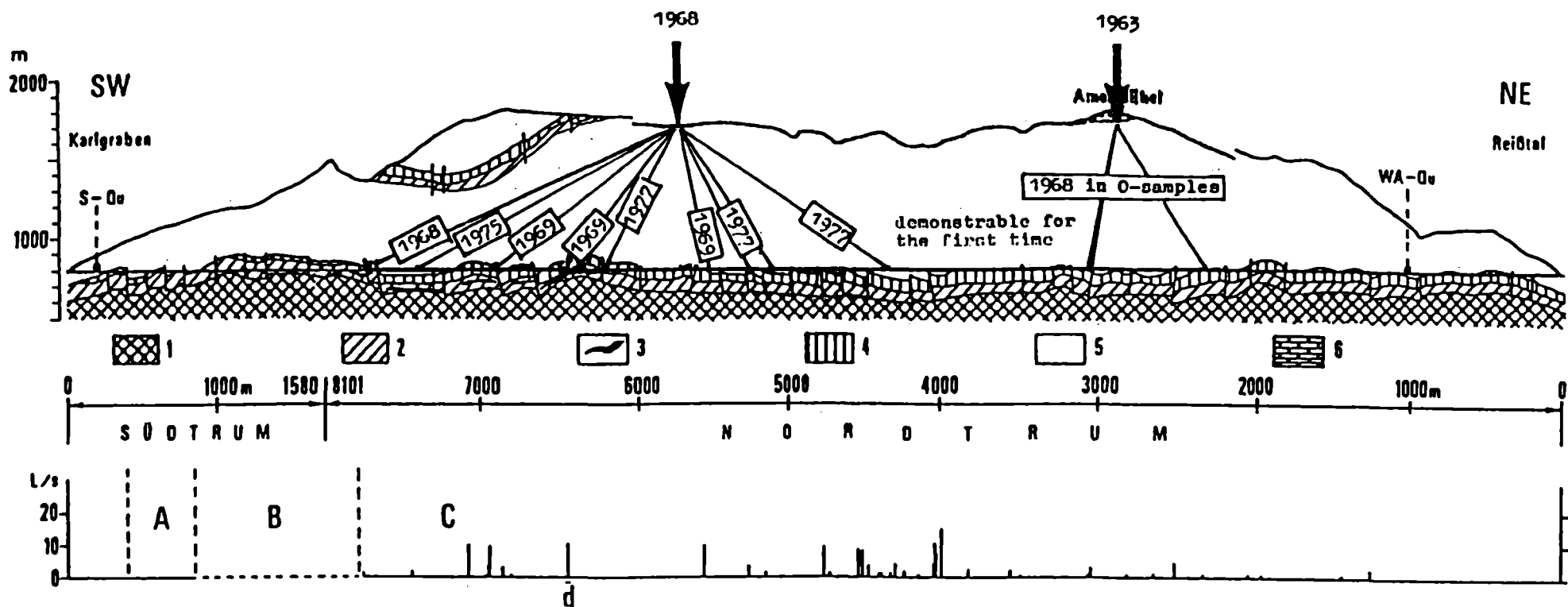


Abb. 4: Schematische Darstellung der Tracerlaufzeiten

- Profil entlang des Schneetalstollens
- 1: Grauwackenzone (Breccien und Konglomerate)
 - 2: Werfener Schichten (Tonschiefer und Sandsteine);
 - 3: Einschaltung von Gosaukonglomerat;
 - 4: Gutensteinerkalk und -dolomit;
 - 5: Wettersteinkalk und -dolomit;
 - 6: Dachsteinkalk;
- S-Qu: Siebenquellen;
 WA-Qu: Wasseralmquelle;
- A: Siebenquellen Wasserabflußzone;
 B: Zone ohne Wasseraustritte;
 C: Hauptwasseraustritte im Nordtrum des Stollens;

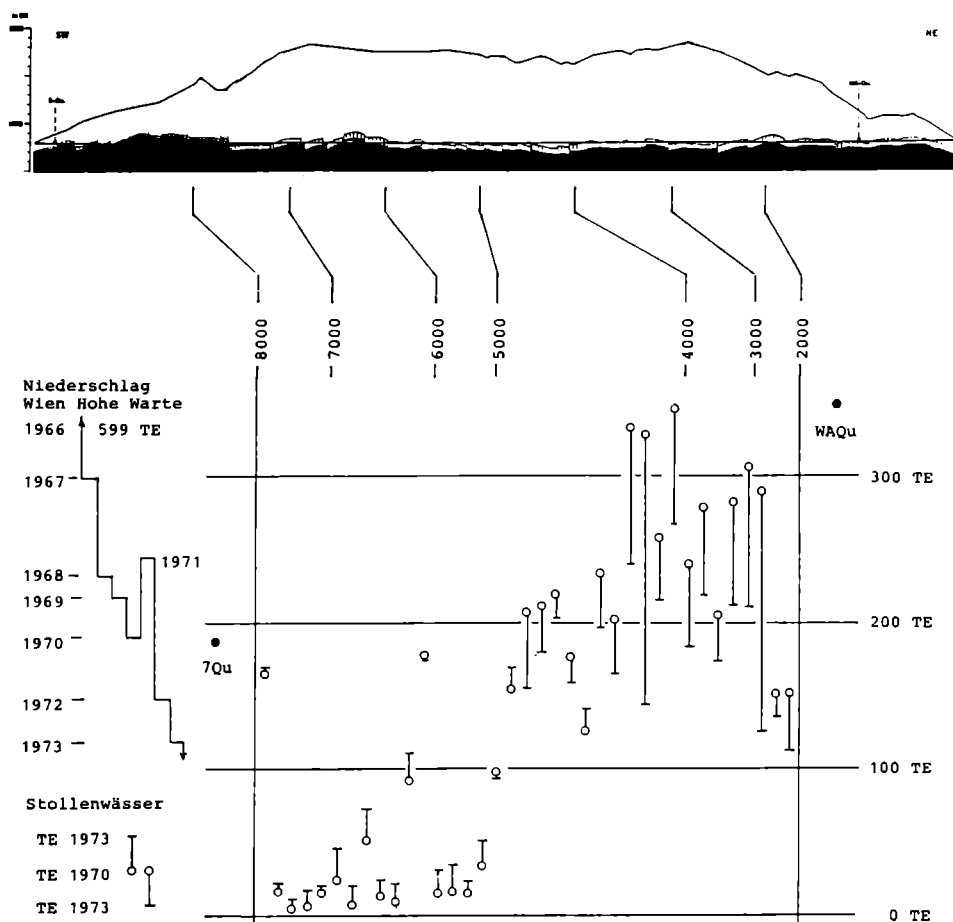


Abb. 5: Tritiummessungen in Niederschlagswässern und Wasseraustritten im Schneesalpenstollen: Der unterschiedliche ^3H Gehalt der in den Stollen austretenden Wasser weist auf eine breite Altersverteilung im Karststock hin (unveröffentl., F. Bauer)

Im Bereich von Stollenmeter 2000 bis etwa 4700 wurden 1970 u. 1973 Wässer mit hohem Tritiumgehalt angetroffen. So wurde bei Station 4012m im Jahr 1970 ein Wert von 347 TE gemessen; bei der Station 4012m wurden 1973 noch 267 TE bestimmt. Dieser ist offenbar auf radiogenes Tritium aus den oberirdischen Atombombenversuchen (Tritiumgehalte im Niederschlag Wien Hohe Warte 1966 > 599 TE) zurückzuführen. Die Wässer in diesem Teil des Karstwasserkörpers werden also offenbar in relativ kurzer Zeit durch Niederschlagswasser ergänzt.

Im Gegensatz dazu konnten in den Wässern des Stollenbereiches (Stollenmeter 5000 bis Stollenmeter 8000) nur vergleichsweise niedrige Tritiumgehalte (Stm.7232 - 3 TE 1970, Stm. 7232m - 9 TE 1973) festgestellt werden. Diese weisen auf hohe Lauf- und Verweilzeiten in diesem Bereich des Karstaquifers hin.

Die Ergebnisse einer Meßreihe von Isotopen (1972-1990) wurde zur Modellrechnung der Abflußdynamik des Schneesalpen-Gebietes für das Symposium „Isotopes Hydrology, IAEA 1990“ verwendet und auch als Poster im „6th Symposium on Water Tracing, 1992“ (HEINZ-ARVAND, 1992) in Karlsruhe und im Symposium Arsenal 1994 durch Heinz-Arvand (UBA) und Rank (Arsenal) präsentiert.

3. GEOLOGISCHER AUFBAU UND TEKTONIK

Innerhalb des Schneesalpengebietes sind vier tektonische Baueinheiten zu unterscheiden (vgl. Beilage 1 - Geomorphologische Karte und Abbildung 6 - Tektonische Übersichtskarte).

Anteile des Mittelostalpins sowie Gesteine der Grauwackenzone bilden die Basis des Schneesalpenmassives und sind innerhalb der flach abfallenden Südflanke von Neuberg bis Altenberg aufgeschlossen.

Diese Gesteine werden von den kalkalpinen Baueinheiten des Schneesalpenmassives, der Mürzalpendecke und der Schneebergdecke überlagert.

Die tektonisch tiefere Mürzalpendecke umfaßt mit Haselgebirge und Werfener Schichten an der Basis bis zu den Waxenegg-Hallstätter Kalken als stratigraphisch höchstes Schichtglied vorwiegend Gesteine des oberen Perm und der alpinen Trias (248 - 214 Mill. Jahre). Sie bildet die Hauptmasse des Schneesalpenmassives und ist in den Abbrüchen ins Mürz- und Altenbergertal bestens aufgeschlossen. Die tektonisch hängende Schneebergdecke lagert der Mürzalpendecke, wiederum mit tektonisch scharf beanspruchten Werfener Schiefen an der Basis, in mehreren erosiv voneinander getrennten Deckschollen auf (Rauhenstein, Lachalpe, Roßkogel) (TOLLMANN, 1976a, 1976b) und zerfällt in zwei weitere Teildecken: An der Basis trifft man auf die Proles-Schuppe. Diese bildet eine verkehrt lagernde Serie aus obertriadischen (Sevat) Zlambach-Mergeln, Hallstätter Graukalken, und Halobien-schiefern sowie Hallstätter Dolomiten im Liegenden die noch bis in die oberste Mitteltrias (Langobard) hinabreichen (LEIN, 1981). Im Arbeitsgebiet ist die Proles-Decke südlich Frein innerhalb der Mürzschlucht gut aufgeschlossen und streicht nach Nordosten unter die faziell andersartigen Gesteine des Roßkogels hinein. Diese sind gemeinsam mit dem Rauhenstein und der Lachalpe bereits der zweiten, tektonisch hangenden Hallstätter Teildecke der Schneebergdecke zuzuordnen. Im Gegensatz zur Proles-Decke stellt sie eine aufrechte Schichtfolge vorwiegend mitteltriadischer Kalke dar (LEIN, 1981; STRELE 1992).

Die Hallstätter Deckschollen weisen einen durch intensive Tektonik bedingten, komplizierten Internbau auf und können überwiegend nicht mehr als durchgehende, normale Schichtfolgen gedeutet werden. So sind die Deckschollen in dünne Gesteinspakete zerlegt, die einander unter teilweiser Steilstellung und Schichtverdoppelung nordvergent überschoben sind (Duplex-Bildung). Diese tektonische Bauweise ist besonders innerhalb der Rauhenstein-Deckscholle zu erkennen (Abb. 7 - Profil 3), die entlang ihres Nordrandes in einander überschobene Teilschuppen zerfällt. Für die verbleibenden Hallstätter Deckschollen der Lachalpe und des Roßkogels ist eine idente Überschiebungsrichtung wahrscheinlich. Inwieweit auch die Proles-Schuppe diesem Beanspruchungsplan zugeordnet werden kann, ist gemeinsam mit ihrer Stellung zur Schneebergdecke noch fraglich und Gegenstand weiterer Untersuchungen. In diesem Zusammenhang könnte das Schneesalpenplateau östlich des Windberges teilweise auch als ein durch die Erosion freigelegter Teil der Überschiebungsbahn der Deckschollen angesehen werden.

Abgesehen von ihrem internen Aufbau ist die Position der Hallstätter Deckschollen zusätzlich eng mit der Tektonik der unterlagernden Mürzalpendecke verknüpft. Innerhalb dieser bildet hauptsächlich der Wetterstein-Kalk/Dolomit gemeinsam mit den hangenden Waxenegg-Kalken ein vom Altenberger Tal in Richtung NNW zuerst sanft dann zunehmend steiler gegen das Tal der Kalten Mürz abtauchendes Halbgewölbe. Entsprechend ihrer Position lagern die Hallstätter Deckschollen des Rauhensteins und der Lachalpe noch flach über ihrer Unterlage, wohingegen bereits die Gesteine der Roßkogel Deckscholle, dem Bau der Mürzalpendecke angepaßt, zuerst flach dann mittelsteil bis steil gegen das Tal der Kalten Mürz einfallen.

Im Gegensatz zu dem einfachen Gewölbebau des hangenden Wetterstein-Kalkes/Dolomites und des Waxenegg-Kalkes der Mürzalpendeckę zeigen die liegenden Serien dieser tektonischen Einheit eine weitaus komplexere Verformung. Offenbar führten die unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften der am Deckenbau beteiligten Gesteine zur Entwicklung von Stockwerkstektonik. Dabei bildete hauptsächlich der überaus mächtige Wetterstein-Dolomit/Kalk gemeinsam mit dem überlagernden Waxenegg-Kalk eine steife Platte die der Deformation der unterlagernden Gesteine während tektonischer Beanspruchung nur bedingt folgen konnte und daher von diesen abgeschert wurde. Dieser Umstand wird besonders an der westlichen Talflanke des Altenberger Tales deutlich. Hier bilden die basalen intensiv verfalteten Werfener Schiefer eine gegen Nordosten streichende Antiklinale (Aufwölbung) deren Schenkel unter die Wetterstein-Kalk/Dolomit Massen der Schneealpe abtaucht. Führt die Plastizität der Werfener Schiefer während der Anlage dieser Antiklinale an einer NW-SE gerichteten Einspannung zu ihrer tektonischen Anschuppung im Kern der Struktur, waren die Gesteine an der Grenzfläche zum rigiden Wetterstein-Kalk/Dolomit einer starken Beanspruchung ausgesetzt und wurden entweder tektonisch reduziert/abgehobelt oder anormal verdickt. Ein gutes Beispiel dafür ist in den in Späne aufgelösten Steinalm-Kalken unterhalb des Lohmsteins zu sehen, die entlang einer offenbar parallel zur Achse der Antiklinale streichenden Störungsfläche bereits von den überlagernden Reiflinger Kalken unter Faltung und Mächtigkeitszunahme gegen SE rücküberschoben werden (Abb. 7 - Profil 4).

Im Süden und Norden wird das Schneealpenmassiv von bedeutenden Störungszonen begrenzt.

Als erste, für das Verständnis des Abflußregimes der Schneealpe besonders wichtige Störung ist hier die Dobrein-Störung zu nennen. Diese ist bereits westlich des Arbeitsgebietes (Niederalp) als große annähernd W-E verlaufende Blattverschiebung zu erkennen und zieht in einem Bündel zahlreicher subparalleler Flächen in das Tal des Dobreinbaches über Mürzsteg bis in die Südflanke der Lachalpe und Rauhenstein-Deckscholle. In die Dobrein-Störung finden sich unterschiedliche, teilweise stark tektonisierte Gesteine in Form dünner Lamellen eingeschichtet. Steilgestellte, rotierte gegen Norden gerichtete Aufschiebungen in den Gosausandkalken gemeinsam mit dem Auftreten von aus dem Untergrund hochgeschleppten Grauwackenschiefern an der Bundesstraße nahe Krampen können als Teil einer „Flower Structure“ interpretiert werden.

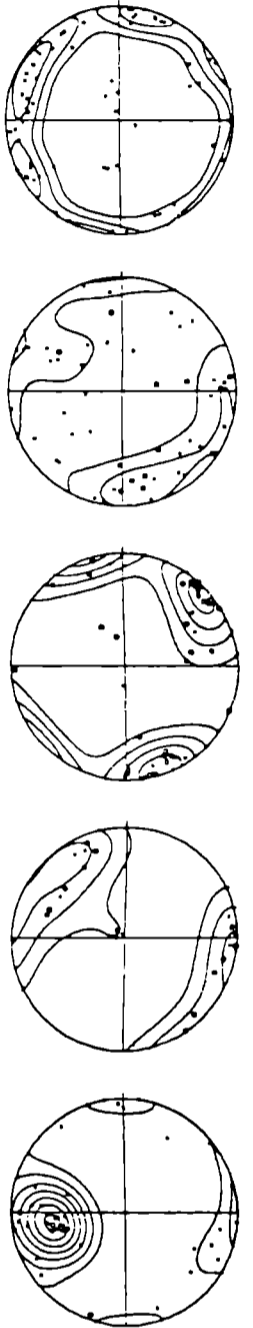
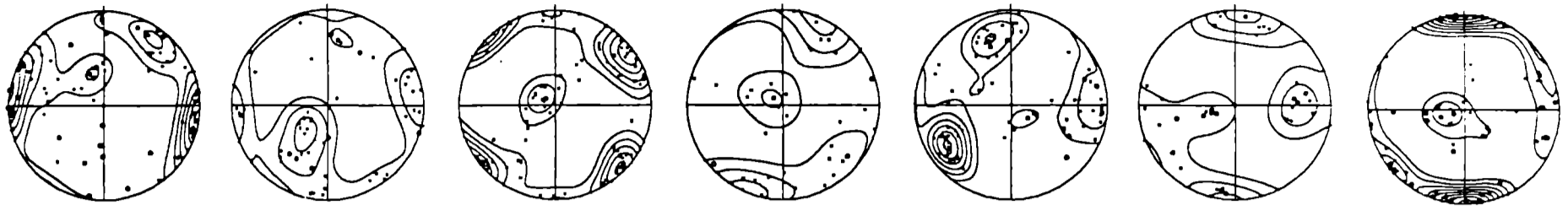
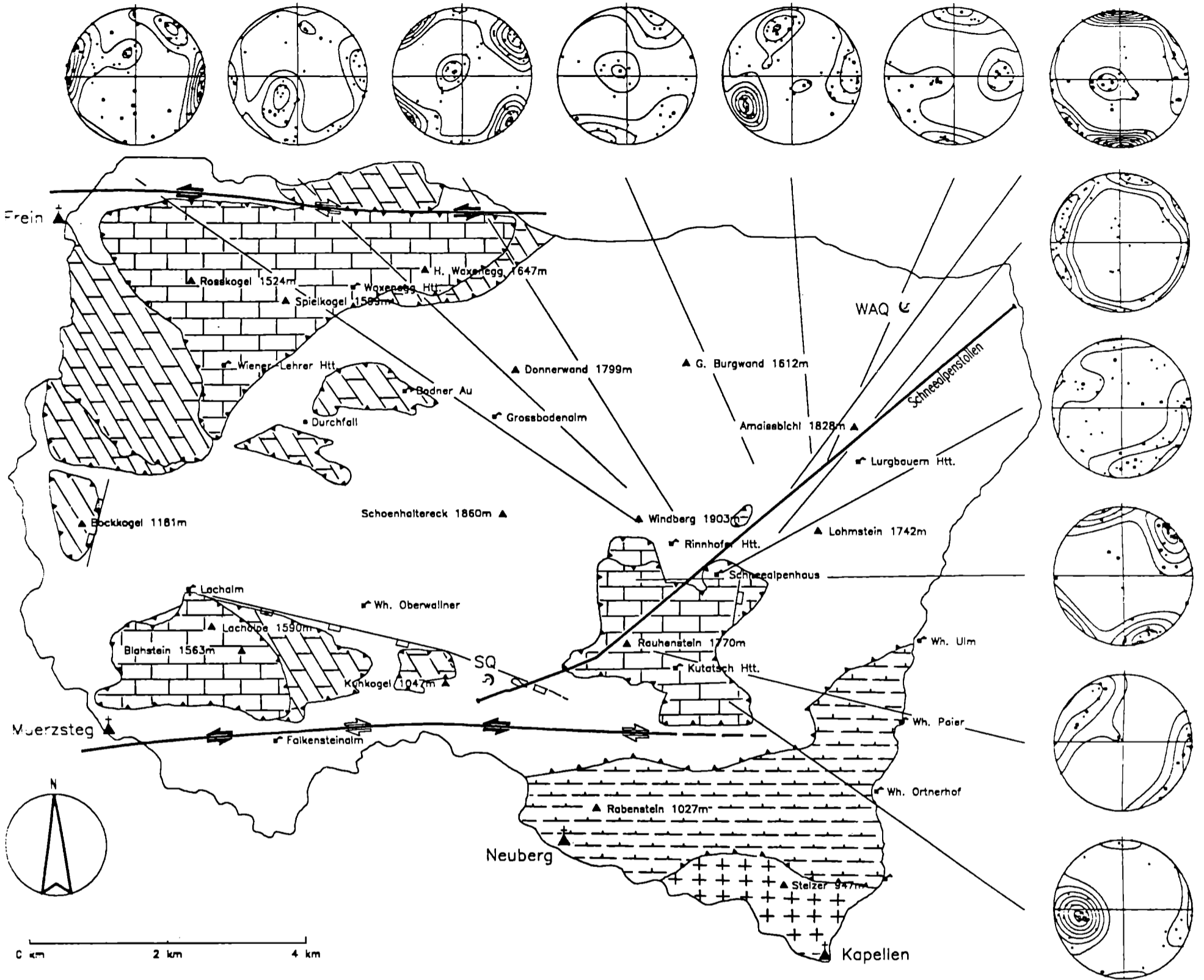
Insgesamt zeigen die Strukturen an der Dobrein-Störung jedoch ein komplexes, polyphasiges Bewegungsbild. Aus diesem Muster läßt sich vorerst nur eine sinistrale/linksseitige Bewegung der Störung vermuten. Ihre Kinematik und mögliche Fortsetzung in die Südflanke der Rax wurde im Sommer 1995 Gegenstand weiterer Untersuchungen.

Eine weitere, nicht so bedeutende Blattverschiebung streicht bei Frein in das Tal der Kalten Mürz und scheint es ab Steinalpel über die Goldgrubhöhe in Richtung Lettingkogel wieder zu verlassen. Wie die entlang des Kaiserreitsteiges anzutreffenden großen, wandbildenden Harnischflächen zeigen, sind auch Teile der Roßkogeldeckscholle an tiefreichenden, parallel der Hauptstörung W-E streichenden Flächen zerlegt. Wie bei der Dobrein-Störung liegen noch keine genauen Angaben zur Kinematik dieser Störung vor, jedoch ist auch hier an zahlreichen Harnischen ein sinistraler Bewegungssinn zu erkennen.

Auch die Mürzschlucht und der Talverlauf der Kalten Mürz von Frein bis Mürzsteg am Westrand des Schneealpenmassives scheint entlang von N-S streichenden Abschiebungen tektonisch angelegt zu sein. Diese senken das Schneealpenmassiv gegenüber dem Bereich westlich des Mürztales nach Osten ab und bringen den Wetterstein-Dolomit/Kalk mit den auflagernden Hallstätter Deckschollen in tektonisch tiefere Position. Eine weitere bedeutende Störung mit abschiebendem Charakter läuft von der Lachalm in Richtung der Siebenquellen und vergittert dort mit der Dobrein-Störung (Abb. 6 - Tektonische Übersichtskarte).

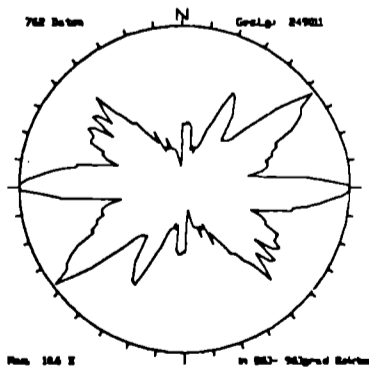
TEKTONISCHE UEBERSICHTSKARTE DER SCHNEEALPE

G. BRYDA 1995

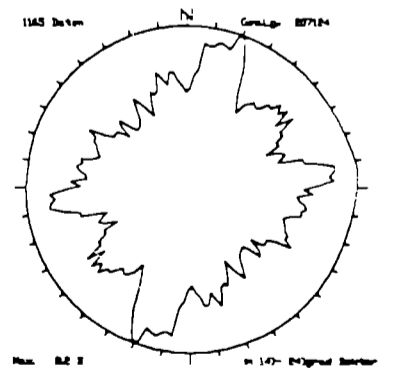


- HALLST. DECKSCHOLLEN
- PROLES DECKE
- MUERZALPEN DECKE U. TIROLIKUM
- GRAUWACKENZONE
- MITTELOSTALPIN
- Abschiebung
- Deckengrenze
- Rechtsseitenversch.
- Linksseitenversch.

LINEARITE AUS DEM LUFTBILD
 Daten sind
 moderne
 Laengen
 Intervall: 10grad
 Intervall: 1grad
 Intervall: 1grad
 Darstellung
 Datum
 LINEARITE



GEWASSERNETZ AUS DEM LUFTBILD
 Daten sind
 moderne
 Laengen
 Intervall: 10grad
 Intervall: 1grad
 Intervall: 1grad
 Darstellung
 Datum
 GEWASSER



Lage des Arbeitsgebietes in Oesterreich

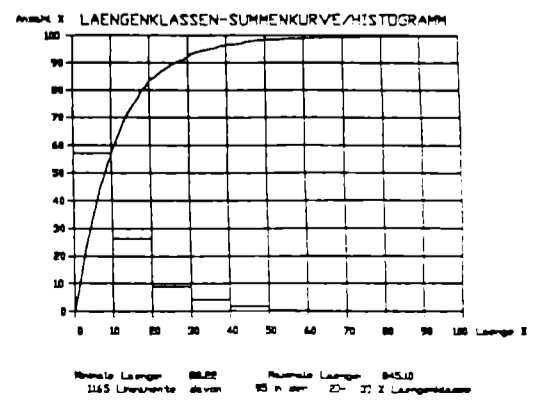
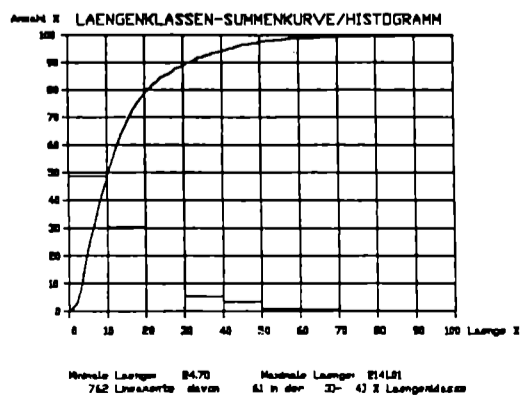
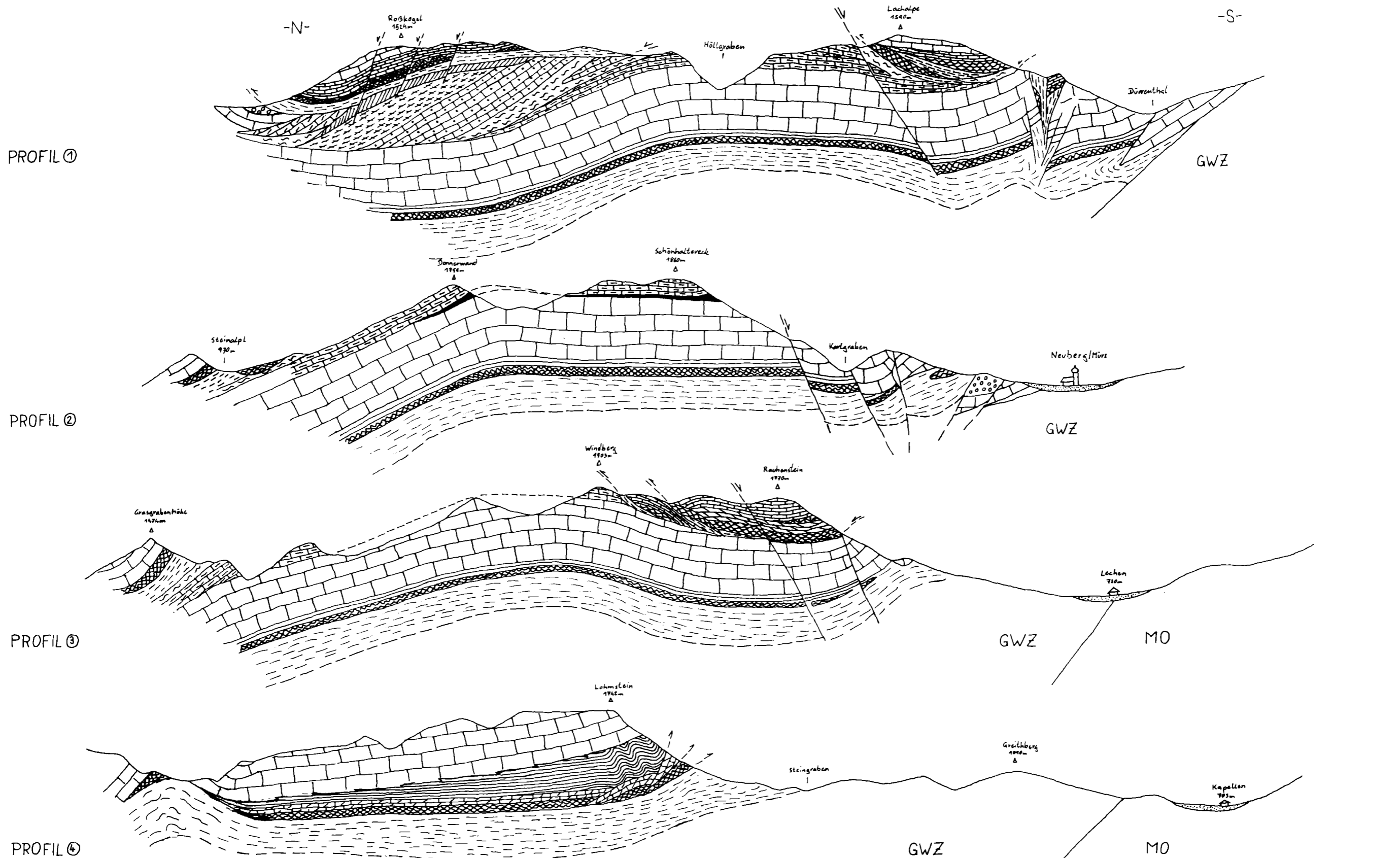


Abb. 6: Tektonische Übersichtskarte

Abb. :7 Geologische Profilschnitte durch das Schneevalpengebiet



N-S Profile durch das Schneevalpengebiet (SCHEMATISCH)

© - Gerhard Bryda 1995

Mürzalpendecke

- Gosau i.a.
- Wetterstein K. u.D.
- Gutensteiner K.
- Waveneß K. u. Hallstätter K.
- Reitlinger K.
- Wertener S.
- Raibler S.
- Steinalm K.

Prolesdecke - Schuppe

- ZLambach S.
- H. Dolomit
- H. Graukalk
- Halobien S.

Rosk. & Rauhenst. & Lachalpen Deckscholle

- Wetterstein K.
- Steinalm K. ?
- Hallstätter K.
- Gutensteiner K.
- Reitlinger K.
- Wertener S.

- Quartär
- GWZ Grauwackenzone
- MO Mittelostalpin n. A. Tollmann

Neben den begrenzenden großen Seitenverschiebungen und Abschiebungen ist das Schneealpenmassiv aber auch durch zahlreiche mittlere und kleinere Störungen sowie engständige Klüfte zerlegt. Ein Teil dieser Trennflächen läßt sich aufgrund morphologischer Details auch im Luftbild gut verfolgen (Beilage 1). So streichen Flächenscharen südöstlich des Schneealpenhauses und im Bereich der Naßwand subparallel zur Achse der im Altenberger Tal erschlossenen Antiklinale und scheinen mit dieser genetisch gekoppelt. Der an dieser Stelle mechanisch günstige Verschnitt der Trennflächen mit dem Berghang führt zur Anlage zahlreicher tätiger Bergzerreibungen. Am Schneealpenplateau und Schönhaltereck belegen entlang und an Kreuzungspunkten von Störungen angelegte Dolinenreihen und asymmetrische Senkungsfelder in den verkarstungsfähigen Kalken erhöhte Wasserwegigkeiten an diesen Strukturen.

Eine richtungsstatistische Auswertung (Abb. 6) der nach Längen gewichteten Lineamente des gesamten Schneealpengebietes sowie von Teilen der westlich und östlich anschließenden Nachbargebiete zeigt neben W-E streichenden Lineamenten (parallel der Dobrein-Störung) ein dominierend NE-SW und annähernd NW-SE vergitterndes Lineamentmuster. Im Vergleich mit dem ebenfalls richtungsstatistisch ausgewerteten Gewässernetz zeigen sich neben den W-E verlaufenden auch NE-SW verlaufende Gerinnestrecken. Eine Regelung in NW-SE Richtung kann jedoch nicht nachgewiesen werden.

Vergleicht man die aus der Lineamentanalyse gewonnenen Richtungen mit den Richtungen der Trennflächensysteme auf der Schneealpe (konturierte Poldiagramme in der Tektonischen Übersichtskarte - Abbildung 6), so findet man deckungsgleich wiederum ein Grundset von NE-SW u. NW-SE vergitternden Flächen-Richtungen. Abweichungen von diesem Muster ergeben sich nur im Nahbereich größerer Störungen.

Die mehr oder weniger um die Vertikale verteilten Flächenpole sind den in diesem Bereich flachen Schichtneigungen des Wettersteindolomites und Waxenegg Kalkes zuzuordnen.

4. HYDROGEOLOGISCHE CHARAKTERISIERUNG DER GESTEINE

In der Folge sollen besonders die hydrogeologischen Eigenschaften der am Aufbau des Schneesalpenmassives beteiligten Gesteine entsprechend ihrer tektonischen und stratigraphischen Stellung kurz umrissen werden. Einen Überblick über den Deckenbau und die Schichtfolge vermittelt nachstehende Abbildung (Abb. 8).

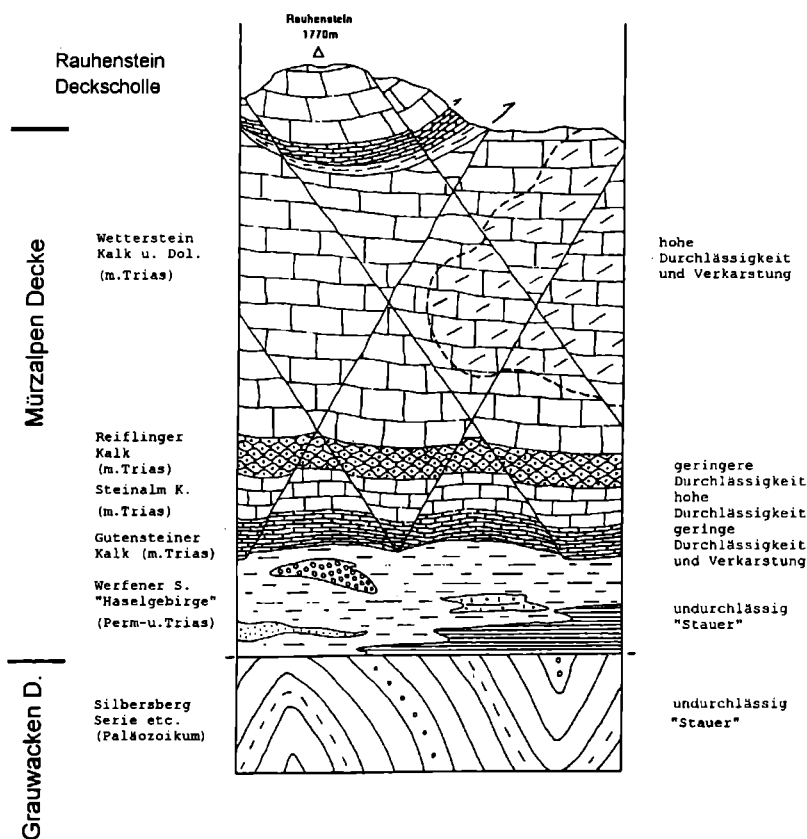


Abb. 8: Schematisierte Schichtfolge des Schneesalpengebietes

Für eine eingehendere Beschreibung der Stratigraphie und Fazies der Mürzalpendecke und der auflagernden Deckschollen wird auf die entsprechende Fachliteratur (LEIN, 1981; TOLLMANN; 1986; STRELE, 1992) verwiesen.

4.1 MITTELOSTALPIN UND GRAUWACKENZONE

Wie bereits ausgeführt, bilden die Gesteine des Mittelostalpins und der Grauwackenzone die tektonische Unterlage der höheren kalkalpinen Decken.

Das Mittelostalpin ist innerhalb des Arbeitsgebietes bei Kapellen nur mehr geringmächtig mit seinen hangendsten Einheiten vertreten. Für die Beurteilung der hydrogeologischen Situation des Schneealpengebietes besitzt es keine Bedeutung. Die Gesteine der Grauwackenzone weisen durch ihre Heterogenität sehr unterschiedliche hydraulische Eigenschaften auf, die von praktisch undurchlässig (Phyllite und Schiefer) bis zu verkarstungsfähig (Sauburger Kalk) reichen. Die gering bis besser durchlässigen Gesteine bilden im Arbeitsgebiet jedoch nur geringmächtige und oft nicht aushaltende Späne, die in den weitestgehend undurchlässigen Phylliten stecken. Es sind daher nur kleine Speichervolumina vorhanden, aus denen Quellen mit nur geringer, auf Niederschlagsereignisse/Schneesmelze rasch reagierender Schüttung gespeist werden.

4.2 DIE GESTEINE DER MÜRZALPENDECKE

4.2.1 Haselgebirge und Werfener Schichten

Haselgebirge konnte im Aufnahmegebiet nirgends an der Oberfläche anstehend angetroffen werden; es ist, wie der Bau des Schneealpenstollens gezeigt hat, jedoch mit den Werfener Schichten innig verschuppt an der Basis der Mürzalpendecke vorhanden.

Ein im Luftbild erkennbarer großer Erdfall NNE des Erzberges bei Altenberg (Beilage 1) ist möglicherweise über Haselgebirge/Gips entwickelt. Durch quartäre Überdeckung verhüllt, konnten diese bis jetzt im Gelände noch nicht belegt werden.

Die hydraulische Leitfähigkeit des Haselgebirges/Gipses ist besonders von seiner Position im Gebirgsverband abhängig. Bei geringem oder fehlendem Überlagerungsdruck kann sich durch die hohe Löslichkeit des Gesteines Gipskarst entwickeln.

Ist eine dementsprechend mächtige Überdeckung vorhanden, schließen sich Hohlräume-Spalten innerhalb des Haselgebirges/Gipses durch die hohe Gebirgsplastizität sehr rasch und verhindern eine Wasserwegsamkeit. An der Kontaktzone zum durchlässigen Nebengestein verbleibt ein Lösungsrest aus meist reichlich vorhandenem tonigen Material, das die weitere Auflösung des Gesteines stark verlangsamt.

Die Werfener Schichten sind aufgrund ihrer Erstreckung und Mächtigkeit der bedeutendste Wasserstauer/Aquifuge des Schneealpenmassives. Sie dichten die überlagernden Decken (Mürzalpendecke und Hallstätter Deckschollen) gegenüber dem Untergrund (Grauwackenzone und Mittelostalpin) weitestgehend ab.

Im Arbeitsgebiet sind diese Schichten besonders innerhalb der sanften Hänge im oberen Altenberger Tal in einer Mächtigkeit von mehr als 400 m aufgeschlossen. Ihr Umfang ist jedoch aufgrund der Stockwerkstektonik starken Schwankungen unterworfen. Die Sedimente weisen teilweise hohe Beanspruchung auf und zeigen eine beginnende Metamorphose (Anchimetamorphose).

Der überwiegende Teil der Werfener Schichten wird von graubraunen und graugrünen bis violetten, sterilen, mit Hellglimmer bestreuten Tonschiefern bis Siltschiefern eingenommen, die auch für deren wasserstauende Wirkung verantwortlich sind. Im geringeren Umfang enthalten die Tonschiefer, teilweise mit diesen wechsellagernd, jedoch auch graugrün bis braun gefärbte, Hellglimmer führende, quarzitisches Sandsteine bis Quarzite eingeschaltet.

Im Hangendabschnitt der Werfener Schiefer treten graue bis dunkelgraue und schwarze, dezimeter- bis mittelbankige, teilweise welligschichtige, spätige Kalke auf. Auch diese wechsellagern mit graubraunen Tonschiefern.

4.2.2 Gutensteiner Dolomit und Kalk

In Folge der tektonischen Beanspruchung (Stockwerkstektonik durch unterschiedliches Verformungsverhalten der Gesteine) liegt auch der Gutensteiner Dolomit und Kalk nicht mehr im ursprünglichen Verband vor und ist in Späne aufgelöst. Entlang der westlichen Talflanke des Altenberger Tales im Bereich der Naßwand erreicht er jedoch eine Gesamtmächtigkeit von 60-80 m.

Der Gutensteiner Dolomit ist als ca. dezimetergebänktes, relativ ebenflächiges, im Anbruch dunkelgraues bis schwarzes Gestein anzusprechen. Entlang der Bankungsfugen sind immer wieder graubraune tonige Zwischenlagen festzustellen.

Besitzt der Gutensteiner Dolomit durch seinen hohen Dolomitierungsgrad bereits eine eingeschränkte Löslichkeit, so wirken die tonigen Zwischenlagen zusätzlich zirkulationsbehindernd und tragen zur schlechten hydraulischen Leitfähigkeit des Gesteines bei.

Der Gutensteiner Kalk hingegen ist als dünn bis in den dm-Bereich gebänktes, dunkelgraues bis schwarzes, bituminöses und ebenflächiges Gestein zu charakterisieren.

Im Gelände konnten innerhalb der Gutensteiner Kalke der Mürzalpendecke keine wesentlichen Verkarstungserscheinungen beobachtet werden. Möglicherweise besitzt das Gestein durch seinen Gehalt an organischem Material eine verminderte Löslichkeit.

4.2.3 Steinalm-Dolomit und -Kalk

Der Steinalm-Dolomit/Kalk der Mürzalpendecke ist als hell- bis mittelgraues, größer dm-gebänktes bis dickbankiges, bisweilen massig wirkendes Gestein zu bezeichnen.

Im Gelände können unterschiedliche Dolomitierungsgrade beobachtet werden, die eine klare Abtrennung von Steinalm-Dolomit und Kalk erschweren. Primär scheint jedoch besonders das Liegende der Schichtfolge von teilweise intensiver Dolomitierung betroffen zu sein. Im Steinalm-Kalk an der westlichen Talflanke des Altenberger Tales scheint die Dolomitierung außerdem von SW nach NE zuzunehmen und innerhalb der Schichtfolge emporzusteigen. Der Umfang der Serie ist tektonisch bedingt starken Schwankungen unterworfen, erreicht jedoch auch an dieser Stelle nicht mehr als 100 m.

Die Verkarstungsfähigkeit des Steinalm-Dolomites und -Kalkes ist vom jeweiligen Dolomitierungsgrad abhängig. Im Gelände konnten jedoch keine wesentlichen geomorphologischen Karsterscheinungen innerhalb dieses Gesteins nachgewiesen werden. Innerhalb des Schneealpenmassives sind die Steinalm-Kalke allerdings als Horizont höherer Gebirgsdurchlässigkeit im Liegenden der dichteren Reiflinger Kalke und in Überlagerung der stauenden Werfener Schichten von Bedeutung.

4.2.4 Reifflinger Kalk

Jener ist an der Westflanke des Altenberger Tales in den Abbrüchen unterhalb des Lohmsteins in Form einer maximal 200 m mächtigen Serie aufgeschlossen. Basal sind typische dunkelgraue, dm bis mittelbankige, knollig bis welligschichtige, Hornstein führende Kalke entwickelt. Neben den zahlreich entlang der Schichtflächen anzutreffenden Hornsteinschnüren, Knollen u. Lagen, zeigt das Gestein zusätzlich eine allgemeine diffuse Verkieselung. Immer wieder sind auch bereits in dieser Position feine, teilweise gradierte Lagen aus Biogenschutt und Lithoklasten im Sediment festzustellen. Die Häufigkeit und Mächtigkeit dieser Schuttlagen nimmt gegen das Hangende des Reifflingerkalkes zu. Im oberen Drittel der Schichtfolge dominieren reine, teilweise über mehrere Zentimeter durchmessende Komponenten führende, dicker bankige und hell gefärbte Schuttkalke, die eine Verzahnung mit dem überlagernden Wetterstein-Kalk und -Dolomit nahelegen und eine Abtrennung der beiden Gesteine in diesem Bereich sehr erschweren. Wie aus der geologischen Karte ersichtlich, ist außerdem entlang der Talflanke des Altenberger Tales gegen Nordosten eine Verringerung der Mächtigkeit des Reifflinger Kalkes bis auf Werte um 50 m festzustellen.

Aufgrund der Verkieselung besonders der basalen Anteile des Reifflinger Kalkes ist mit einer verringerten Löslichkeit der Kalke und damit einer nur sehr schlechten Verkarstungsfähigkeit des Gesteines zu rechnen. An den dünnerbankigen, häufiger Hornstein führenden Schichten des Reifflinger Kalkes ist im Gelände kaum eine Lösung erkennbar. Die Bankfugen der helleren, reineren Schuttkalktypen sind, allerdings durch Lösung erweitert, verkarstungsfähig.

Innerhalb der basalen Reifflinger Kalke erscheint eine Wasserwegsamkeit also nur eingeschränkt entlang der Schichtflächen und entlang von Klüften und Störungen möglich.

Der stratigraphisch höhere Anteil scheint in seinen hydraulischen Eigenschaften dem Wetterstein-Kalk ähnlich.

4.2.5 Wetterstein-Kalk und -Dolomit

Diese sind mit einer maximalen Mächtigkeit von 800 m das am umfangreichsten entwickelte Schichtglied der Mürzalpendecke und daher für die Hydrodynamik des Schneesalpenmassives von entscheidender Bedeutung.

Der überwiegende Anteil der Schichtfolge wird durch den Wetterstein-Dolomit aufgebaut. Dieser ist als hellgraues, kleinstückig zerlegtes, oberflächlich meist aufgelöstes und grusig zerfallendes Gestein anzusprechen. In der Mehrzahl der Fälle zeigt sich der Dolomit einförmig und ungeschichtet, manchmal läßt sich jedoch an abwechselnd dunkel und hellgrau gefärbten, ca. dm bis maximal halbmetermächtigen Lagen eine primäre Schichtung erahnen.

Im Talschluß des Kleinbodengrabens sind im undeutlich gebankten Wetterstein-Dolomit noch primäre Komponenten, hauptsächlich Gerüstbildnerfragmente und Dasycladaceenreste, zu erkennen, die das Gestein als Biorudit-Bafflestone kennzeichnen. Die in zahlreichen Hohlräumen vorhandenen, mehrere Generationen umfassenden Zemente sind teilweise gelöst und verleihen dem Wetterstein-Dolomit an dieser Stelle eine nicht zu vernachlässigende Gesteinsporosität. Wie aus diesen Ausführungen zu entnehmen ist, muß der Wetterstein-Dolomit also als Gestein mit hoher Trennflächendichte und zusätzlich gelegentlich vorhandener, variabler Gesteinsporosität angesehen werden. Diese Eigenschaften kennzeichnen ihn als vergleichsweise gutes Wasserspeichergestein mit niedrigen Abstandsgeschwindigkeiten und hohem Rückhaltevermögen. Von allen Gesteinen im Arbeitsgebiet kommt er in seinem hydraulischen Verhalten einem Porengrundwasserleiter am nächsten. Die Verkarstungsfähigkeit des Wetterstein-Dolomites ist wiederum von dessen schwankendem Dolomi-

tisierungsgrad abhängig, generell aber als schlecht zu beurteilen. Nur an größeren Störungen und dementsprechend aufgelockerten Bereichen sind Karstphänomene entwickelt.

Zahllose Erosionsrinnen innerhalb des kleinstückig zerfallenden Dolomites belegen hingegen den hohen Anteil des Oberflächenabflusses der Niederschläge und lassen eine geringere Infiltrationsrate vermuten. Wird der Wetterstein-Dolomit von besser durchlässigen und löslichen Gesteinen überlagert, so wird die Schichtgrenze oft von Wasseraustritten/Karstlöchern markiert, die besonders während Perioden höheren Wasserangebotes aktiv werden. Über dem Dolomit bildet sich zu dieser Zeit also ein schwebendes Karst-Grundwasserstockwerk aus.

Vom Wetterstein-Dolomit zum Wetterstein-Kalk bestehen alle Übergänge. Die beiden Gesteine lassen sich daher oft nicht exakt voneinander trennen. Der Wetterstein-Kalk ist durchwegs ein massig wirkendes, hellgraues Gestein ohne wesentliche Gesteinsporosität, jedoch sehr guter Verkarstungsfähigkeit. Im Schneeealpengebiet scheint der Wetterstein-Kalk besonders im Liegenden der Wetterstein-Kalk/Dolomitmasse in wechselnder Mächtigkeit aufzutreten. Obertags ist er im Krampengraben nördlich der Siebenquellen sowie in größerem Umfang im oberen Lohmgraben und der Umgebung der Wasseralmquelle aufgeschlossen.

4.2.6 Raibler Schichten

Die Raibler Schichten der Mürzalpendecke bilden ein maximal 20-30 m mächtiges Band aus dunklen Kalken, Schiefen und gelblich anwitternden Rauhwacken im Kontakt vom unterlagernden Wetterstein-Dolomit zum hangenden Waxenegg-Kalk. In vielen Fällen sind sie jedoch bereits primär erosiv oder tektonisch reduziert. Aufgrund ihres häufigen Auskeilens und der geringen Mächtigkeit können die Raibler Schichten trotz des enthaltenen tonigen Materials kaum als wesentlicher Stauer angesehen werden. Die Entwicklung der in den Felsabbrüchen entlang dieses Horizontes häufig zu beobachtenden Karstlöcher dürfte eher mit der stauenden Wirkung des unterlagernden Wetterstein-Dolomites in Zusammenhang stehen.

4.2.7 Waxenegg-Kalk

Die unter diesem Begriff vereinfachend zusammengefaßten, mittelbankigen, vorwiegend dickbankig bis massig erscheinenden, hellgrauen bis rötlichgrauen Kalke überlagern die Raibler Schichten und den Wettersteinkalk in maximal 170 m Mächtigkeit (Kleines Waxenegg, Donnerkogel nordöstlich des Naßköhrs). Meist ist ihr Schichtumfang jedoch erosiv oder tektonisch bedingt stark reduziert.

Aufgrund des faziell bedingt hohen Reinheitsgrades der Kalke und der damit verbundenen guten Löslichkeit besitzen sie potentiell hohe Verkarstungsfähigkeit. Diese greift besonders an den Störungen und Klüften an und zeichnet deren Verlauf an der Oberfläche durch Dolinenreihen und der Längsachsenorientierung von Senkungsfeldern folgend nach. Zahlreiche Beispiele dafür sind in den Waxenegg-Kalken des Schönhaltereck's zu beobachten.

Zusätzlich zu den Störungen und Klüften sind auch die Bankungsfugen des Waxenegg-Kalkes durch die Verkarstung erweitert und führen gemeinsam mit diesen zu einer richtungsabhängigen, hohen Gebirgsdurchlässigkeit.

4.3 DIE SCHNEEBERGDECKE

Wie bereits erwähnt, zerfällt die Schneebergdecke im Arbeitsgebiet in die tiefere, invers liegende Proles-Schuppe-Decke und die Hallstätter Deckschollen des Roßkogels der Lachalpe und des Rauhensteins im Hangenden. Die stratigraphische Reichweite der Proles-Schuppe erstreckt sich vom höheren Ladin bis in die Obertrias (Sevat). Im Gegensatz dazu sind innerhalb der Hallstätter Deckschollen, beginnend mit den tieftriadischen Werfener Schichten über dem Gutensteiner Kalk vor allem mitteltriadische Gesteine vorhanden. Die Schichtfolge findet noch im Karn (Jul) ihren Abschluß.

4.3.1 Proles-Schuppe

4.3.1.1 Hallstätter Dolomit

Diese bilden das tektonisch hangendste, stratigraphisch tiefste Schichtglied der Proles Schuppe und erreichen gemeinsam eine maximale Mächtigkeit von 100 m. Der größte Anteil wird hierbei von massig wirkenden, dunkel bis mittelgrauen Dolomiten eingenommen. Nur im stratigraphisch Hangenden sind geringmächtige, dm gebankte und welligschichtige dunkelgraue Hornsteinknollenkalke entwickelt.

Durch ihre dolomitische bzw. kieselige Ausbildung besitzen die unterkarnischen Dolomite und Kalke nur eine verringerte Löslichkeit und damit Verkarstungsfähigkeit. Besonders der Dolomit besitzt durch seinen hohen Zerlegungsgrad ein geringes Wasserspeicher- bzw. Rückhaltevermögen und kann so zum Trockenwetterabfluß beitragen.

4.3.1.2 Halobienschichten

Unter dieser Bezeichnung soll ein Verband aus den eigentlichen Halobienschiefern und schwarzen, ebenflächigen, dünn bis dm-gebankten, teilweise gradierten, Tonschieferzwischenlagen führenden Kalken zusammengefaßt werden.

Die Mächtigkeit der Halobienschichten unterliegt wiederum tektonisch bedingt starken Schwankungen. So erreichen sie in der Mürzschlucht südlich Frein mindestens 100 m Schichtumfang, sind im Plotschgraben aber bereits auf eine Mächtigkeit von max. 40 m reduziert.

Trotz ihres stark schwankenden Umfanges bilden die Halobienschiefer insgesamt einen wesentlichen Wasserstauer/Aquifuge, der die Proles-Schuppe im tektonisch Liegenden über eine wesentliche Fläche gegenüber Wässern aus der hangenden Roßkogel-Deckscholle abdichtet.

4.3.1.3 Oberkarnische Hallstätter Graukalke

Diese sind im Bereich der Mürzschlucht in ca. 250 m Mächtigkeit im tektonisch Liegenden der Halobienschiefer aufgeschlossen. Der basale, stratigraphisch hangende Anteil der Schichtfolge ist in Form dickbankiger, bisweilen massig wirkender, ebenflächiger, mittelgrauer Kalke ausgebildet. Im Mittelabschnitt der Schichtfolge ist eine Abnahme der Bankmächtigkeiten bei gleichzeitigem Auftreten von Hornsteinknollen festzustellen.

Der Hangendabschnitt ist in Form heller, mittelbankiger, bisweilen massig wirkender, ebenflächiger Kalke ausgebildet. Insgesamt erscheint die Serie bei vernachlässigbarer Ge-

steinsporosität gut verkarstungsfähig. Bankungsfugen und Klüfte sind durch Lösungsprozesse erweitert. Entlang von Störungen sind zahlreiche Karstschläuche erkennbar. Die Karstquelle des Toten Weibes in der Mürzschlucht kommt in den Oberkarnischen Hallstätter Graukalken zum Austritt.

4.3.1.4 Zlambach-Schichten

Die Zlambach-Schichten bilden das stratigraphisch hangendste, tektonisch liegende Schichtglied der Proles-Schuppe. Sie umfassen dunkelgraue bis schwarze Mergelkalke und Schiefer, die tektonisch intensiv verschuppt und dadurch in sehr unterschiedlichen Mächtigkeiten (>100m im Liegenden der Lachalpendeckscholle, wenige Zehnermeter am Draxlerkogel/Naßköhr) vorliegen.

Durch ihren hohen Gehalt an tonigem Material und ihre teilweise bedeutende Mächtigkeit bilden die Zlambach-Schichten einen ausgezeichneten Stauer. Zahlreiche, an ihrem Kontakt zu besser durchlässigen Gesteinen austretende Quellen und Feuchtezonen belegen diesen Umstand. Quellaustritte innerhalb der Zlambach-Schichten, so zum Beispiel am Kuhkogel und an der Lachalpenostflanke, wiesen im Juli/August 94 nach längerer Trockenheit nur eine vernachlässigbare Schüttung von wenigen ml/s und vergleichsweise hohe Wassertemperaturen und Leitfähigkeiten auf (Quelle am Kuhkogel in 920m Höhe am 27.07.94 bei 27,5 °C Lufttemperatur : Schüttung vernachlässigbar, Wassertemperatur 9,8 °C, Leitfähigkeit 390 µS; Quelle an der Straße auf das Naßköhr in 1.070m Höhe am 15.08.94 bei 22 °C Lufttemperatur: Schüttung ca. 30ml/s, Wassertemperatur 8,6 °C, Leitfähigkeit 533 µS).

4.4 ROSSKOGEL - RAUHENSTEIN - LACHALPEN-DECKSCHOLLE

4.4.1 Werfener Schichten

Diese sind sowohl lithologisch als auch in ihren hydraulischen Eigenschaften mit den Werfener Schichten der Mürzalpendecke vergleichbar und bilden eine Wasser stauende Lage an der Deckschollenbasis. Aufgrund ihrer tektonisch bedingt stark schwankenden, teilweise geringen Mächtigkeit ist jedoch entlang von größeren Störungen mit Wasserwegigkeiten zu rechnen.

4.4.2 Gutensteiner Dolomit und Kalk

Diese sind sowohl in ihrer faziellen Ausprägung, Mächtigkeit und Tektonisierung als auch in ihren hydraulischen Eigenschaften dem Gutensteiner Dolomit und Kalk der Mürzalpendecke äquivalent.

4.4.3 Steinalm-Dolomit

Der Steinalm-Dolomit der Deckscholle präsentiert sich als einförmig hellgrau gefärbtes, massig wirkendes Gestein mit einer maximalen Mächtigkeit von 60 m. In seinen hydraulischen Eigenschaften scheint er dem Steinalm-Dolomit der Mürzalpendecke grob vergleichbar, dürfte jedoch in Folge eines durchschnittlich höheren Karbonatgehaltes eine bessere Löslichkeit aufweisen. Bei zudem geringerem Zerlegungsgrad des Gesteines ergibt sich somit ein gegenüber dem Steinalm-Dolomit der Mürzalpendecke etwas vermindertes Speicher- und Rückhaltevermögen.

4.4.4 Hornstein führende Hallstätter Kalke

Diese können als dünn bis dm-gebankte, dunkelgraue, welligschichtige und stark Hornstein führende Kalke angesprochen werden. Teilweise sind auch Flaserkalke entwickelt, die sich durch tonige Zwischenlagen und einen besonders hohen Verkieselungsgrad auszeichnen.

Die Mächtigkeit der Hornstein führenden Kalke ist jedoch wiederum tektonisch bedingt starken Schwankungen unterworfen, erreicht jedoch im Farfel südlich des Rauhensteins einen Maximalwert von ca. 80 m.

Aufgrund der starken Verkieselung ist nur eine geringe Löslichkeit der Kalke zu erwarten. Durch die tonigen Zwischenlagen wird eine Wasserbewegung zusätzlich weitestgehend verhindert. Im Gelände konnte dadurch auch keine wesentliche Verkarstung festgestellt werden.

Wasserwegigkeiten existieren nur entlang von Klüften oder Störungen und sind gemeinsam mit dem Speichervermögen stark vom jeweiligen tektonischen Zerlegungsgrad abhängig. In den meisten Fällen wird sich daher über den Hornstein führenden Hallstätter Kalken bei entsprechendem Wasserangebot ein schwebendes Karst-Grundwasserstockwerk ausbilden.

4.4.5 Roter und bunter Hallstätter Kalk

Jener ist im Aufschluß als mittel- bis dickbankiges, massig wirkendes, rot bis grau-rot fleckiges Gestein mit häufig auftretenden Stromatactisgefügen anzusprechen. Die Mächtigkeit der Kalke dürfte in Summe nicht mehr als hundert Meter betragen. Ihre Verkarstungsfähigkeit ist bei vernachlässigbarer Matrixporosität als hoch einzuschätzen und mit dem hangenden Wettersteindolomit vergleichbar. Im Bereich des Rauhensteins und des Roßkogels ist in ihnen ein reicher Karstformenschatz entwickelt, der ihre gute Löslichkeit dokumentiert.

4.4.6: Wetterstein-Kalk

Der Wetterstein-Kalk der Hallstätter Deckschollen entwickelt sich unter schleifendem Farbumschlag aus den liegenden Roten und Bunten Hallstätter Kalken und ist aus diesem Grund oft nur schwer von diesen eindeutig abzutrennen. Makroskopisch handelt es sich um einen dickbankig bis massig wirkenden, hellgrauen Kalk, der sich durch eine dichte Matrix und eine hohe Verkarstungsfähigkeit auszeichnet. Im Gelände wird die hohe Löslichkeit des Gesteines durch zahlreiche an Störungen angelegte Dolinenzüge und Senkungsfelder (besonders im Bereich des Spielkogels) belegt. Alle Trennflächen zeigen starke Verkarstung. Die Oberfläche ist von zahlreichen Karren zerfurcht.

5. CHARAKTERISIERUNG DER GEWÄSSERTYPEN UND ABGRENZUNG IHRER EINZUGSGEBIETE

5.1 DIE WASSERALMQUELLE

Das Quellhaus der Wasseralmquelle befindet sich an der Nordflanke des Schneealpenmassives im Tal des Wasseralmbaches unweit Hinternaßwald in einer Seehöhe von 802 m.

Ursprünglich bestanden drei untereinander gelegene Wasseraustritte, von denen, Berichten zufolge, der am höchsten gelegene nur zur Schneeschmelze Wasser führte, wohingegen der mittlere und untere Austritt ganzjährig Wasser lieferten.

Im Zuge des Ausbaues der I. Wiener Hochquellenleitung von 1894 bis 1897 wurde der mittlere, am stärksten schüttende Austritt der Wasseralmquelle schließlich durch ein Netz von insgesamt 250 m langen Stollen gefaßt und eingeleitet. Die Mindestergiebigkeit der Quelle konnte Ende 1894 mit 11.600 m³ pro Tag angegeben werden (DRENNIG, 1973).

Die Quellaustritte der Wasseralmquelle befinden sich nur wenig über den den Wetterstein-Kalk/Dolomit unterlagernden, stauenden Werfener Schichten, sind jedoch zusätzlich an NW-SE und NE-SW vergitternden Störungen angelegt, die als Sammelkanäle für das Bergwasser wirken, gleichzeitig jedoch auch den raschen Übertritt von Oberflächenwasser und damit Verschmutzungen in die Quelle ermöglichen.

Als Einzugsgebiet der Wasseralmquelle läßt sich der innerhalb des Wettersteinkalkes/Dolomites gelegene Ostflügel des Schneealpengebietes durch die tief in den Gebirgsstock einschneidenden Täler des Baumtales im Norden und des Lohmbachtals im Süden vom Westteil des Bergstockes abgrenzen. Die Gesteine der Mürzalpendecke, voran der Wetterstein-Kalk und -Dolomit bilden an dieser Stelle eine in sich zerbrochene, annähernd gegen Nordwesten abtauchende Platte, die überall von stauenden Werfener Schichten unterlagert wird (Abb. 7 - Profil 4). Durch den geometrischen Verschnitt der bedeutenden Störungen mit dem Einfallen der Reiflinger Kalke und den besser verkarsteten Wettersteinkalken an der Basis der Wetterstein-Dolomit/Kalk-Platte ergibt sich ein vermuteter Hauptgradient des Karstwasserkörpers gegen den Quellaustritt (Beilage 1).

Gegen Nordwesten steht der Karstwasserkörper der Wasseralmquelle mit hoher Wahrscheinlichkeit mit dem Reservoir der Kalten Mürz in Zusammenhang und ermöglicht einen längerfristigen Wasseraustausch. Nach längerer Trockenheit könnte sich der Absenkungsbereich der Wasseralmquelle gegen Westen in den Karstwasserkörper der Kalten Mürz ausdehnen und zu einem Schüttungsrückgang und Verlagerung des Austrittes dieses Gewässers führen.

Gegenüber dem Karstwasserkörper der Siebenquellen und der Mittelsektion des Schneealpenstollens scheint das Reservoir der Wasseralmquelle durch eine Rinne erhöhter Durchlässigkeit entlang von S-SSW nach N-NNE im Bereich Lohmbachtal bis oberes Baumtal verlaufenden Störungen mittelfristig abgetrennt. Beide Wasserkörper entwässern vermutlich in diese Rinne zur Kalten Mürz und können sich so nicht direkt mischen. Diese Annahme müßte jedoch durch einen Farbversuch im Bereich des Nolltales bei gleichzeitiger Überwachung der Wasseralmquelle, der Kalten Mürz (ev. auch Kalte Quelle und Kleinbodenbach), der Siebenquellen und des Lohmbaches überprüfbar sein.

5.2 DIE SIEBENQUELLEN

Sie befinden sich im äußeren Karlgraben am Südwestfuß der Schneesalpe nahe Neuberg an der Mürz in einer Höhe von ca. 800 m. Diese Quellgruppe ist als zweiter wichtiger Austritt mit hoher Schüttung anzusehen. Die Karstquelle wurde bereits vorausschauend im Jahr 1899 von der Stadt Wien angekauft und schließlich 1968 durch den über 9 km langen Schneesalpenstollen in das Netz der I. Wiener Hochquellenwasserleitung eingebunden (BAUER, 1969; GATTINGER, 1973).

Der Austritt der Siebenquellen befindet sich sowohl am Kreuzungspunkt des tief in das Schneesalpenmassiv eingeschnittenen Karlgrabens mit der bedeutenden Dobrein-Störung, die hier in mehreren Ästen subparallel von Westen über das Mürztal nach Osten in die Südflanke des Rauhensteins hineinstreicht, als auch an der durch den Lachalpengraben markierten, gegen die Quellen hereinziehenden großen Abschiebung.

Die in die Lachalpen- und Dobrein-Störung eingeschichteten Späne aus Waxenegg und Hallstätter Kalken zeigen intensive Verkarstung und belegen hohe Wasserwegigkeiten entlang der Störungsäste. Gleichzeitig wirken ebenso die entlang der Dobrein-Störung emporgepreßten Werfener Schichten als steilstehende, wasserundurchlässige Mauer (Bereich Rudolf Steig - Schlapfen) und dichten das Gebiet nördlich der Störung gegenüber dem Vorflutniveau der Mürz im Süden ab. Die WE verlaufende Dobrein-Störungszone wirkt also wie eine Sammelschiene für die aus dem Schneesalpengebiet an weiteren NE-SW und NW-SE verlaufenden Trennflächen zutretenden Karstwässer.

Dieser Umstand wurde besonders während des Baues des Schneesalpenstollens deutlich. Damals wurde nach ca. 400 Stollenmetern im standfesten Wetterstein-Dolomit eine intensiv zerlegte, Karsthohlräume enthaltende und Wasser des Siebenquellensystems führende Zone angetroffen, die genau im Streichen der Dobrein-Störung liegt (Beilage 1) und bis Station 847m durchfahren werden mußte. Die schwierigen Bergwasserverhältnisse konnten nur durch einen Entlastungsstollen gemeistert werden. Zeitweise fiel der natürliche Austritt der Siebenquellen vollständig trocken und das gesamte Quellwasser trat aus dem Stollen aus.

Die Siebenquellen sind also als tektonisch angelegte Überfallquelle zu bezeichnen, deren Wasser dem Quellaustritt aus dem Schneesalpenmassiv entlang der Dobrein-Störung zufließt und im tief eingeschnittenen Krampengraben durch die Verengung des Karstwasserkörpers gegen die liegenden Werfener Schichten zum Austreten gezwungen wird.

Ein Teil des Siebenquellen-Wassers fließt möglicherweise der Störung weiter folgend durch den Kuhkogel in Richtung des Tirolbaches und kommt dort an der linken Talseite gegenüber dem Schwarzbrunnen zum Austritt. Auf diese Problematik wird an späterer Stelle beim Schwarzbrunnen nochmals gesondert eingegangen.

Insgesamt erscheint das Einzugsgebiet der Siebenquellen aufgrund der tektonischen Situation als das am kompliziertesten zusammengesetzte des Schneesalpenmassives und enthält zusätzlich das Einzugsgebiet des Karlbrunnens als Teilmenge eingeschaltet.

Das vom geologischen Blickwinkel maximal mögliche Einzugsgebiet umfaßt die gesamte Rauhenstein-Deckscholle sowie den unterlagernden Wetterstein-Dolomit der Schneesalpe vom Nolltal im Osten, wo das Einzugsgebiet der Siebenquellen an das der Wasseralmquelle grenzt und von diesem durch eine Rinne höherer Durchlässigkeit bis zum Schönhaltereck im Westen abgegrenzt wird. Die Abgrenzung zum Karstwasserkörper des Tirolbaches ist unsicher, scheint jedoch durch das Abbiegen der Mürzalpendecke entlang der Linie Großbodenalm, Mitterbergschneid, Kl. Burgwand gegeben zu sein.

Als Teileinzugsgebiete können weiter unterschieden werden:

a.: Das intensiv verkarstete Schneesalpenplateau als erosiv freipräparierte Schubfläche der Schneebergdecke mit großen Abstandsgeschwindigkeiten in Karstschläuchen und verzögerter Abgabe des innerhalb des Wetterstein-Dolomites gespeicherten Wassers.

b.: Der Bereich der Rauhenstein-Deckscholle um das Karleck mit mannigfaltigen Karstformen.

Hier ist die Rauhenstein-Deckscholle intern in überschobene Teilspäne zerlegt (Abb. 7 - Profil 3). Durch die Werfener Schichten an der Basis der Deckscholle kann sich bei höherem Wasserangebot ein schwebendes Karstwasserstockwerk ausbilden. In den unterlagernden Wettersteindolomit an Störungen durchtretendes Wasser wird durch gelöstes Sulfat markiert. Im Karlbinnen tritt ein Teil dieser Wässer an stauenden Werfener Schichten frühzeitig zu Tage.

c.: Das Schönhaltereck. Ein Teil der am Schönhaltereck fallenden Niederschläge dürfte bereits entlang der Schichtgrenze zwischen Waxenegg-Kalk und Wetterstein-Dolomit aus zahlreichen Karstlöchern wieder austreten und dem Lahngraben bzw. dem Karlgraben obertags zufließen. Ein schwer abzuschätzender Anteil wird den Karstwasserkörper in diesem Bereich alimentieren und möglicherweise entlang der Störungen oberhalb Lahngraben den Siebenquellen zufließen.

d.: Der Bereich entlang der obertägigen Ausbißlinie der Dobrein-Störung.

Da die Störung in zahlreichen subparallelen Ästen bis an die Erdoberfläche durchschlägt, intensiv verkarstet ist und eine dementsprechende Wasserwegigkeit aufweist, ohne von einer schützenden Deckschicht plombiert zu sein, ist an dieser Stelle mit einem sehr raschen Eindringen von ev. kontaminiertem Oberflächenwasser in das Siebenquellensystem zu rechnen.

Die Fließzeiten liegen womöglich noch unter den bisher erfaßten Laufzeiten.

5.3 DER SCHNEESALPENSTOLLEN - MITTELSEKTION

Die Mittelsektion des Schneesalpenstollens befindet sich bereits im Kern des Karstwasserkörpers der Schneealpe (entspricht der Zone C und E nach BAUER, 1969).

Der überwiegende Teil der in diesem Bereich während des Stollenbaues überwachten Wasseraustritte zeichnete sich durch ausgeglichene Schüttung, Temperatur und Wasserchemismus aus. Die hier sitzenden Karstwässer sollten vorwiegend aus dem dolomitischen Einzugsgebiet der Siebenquellen (Schneesalpenplateau) gespeist werden und in ihrem Kern die größten Verweilzeiten des gesamten Systems, bei vergleichsweise geringem Wasseraustausch und möglicherweise jahreszeitabhängiger Schichtung aufweisen. Nur an wenigen Stellen konnte jedoch eine deutliche, rasche Beeinflussung der Karstwässer durch zutreten-

des Oberflächenwasser nachgewiesen werden. Ein solcher Bereich befindet sich im Stollenabschnitt (Nordtrum 4.000 - 4.500 m) unterhalb des tief in das Schneeealpenmassiv eingeschnittenen oberen Lohmgrabens. Hier kann offenbar Oberflächenwasser entlang der in der Talanlage verlaufenden Störungen rasch bis in große Tiefen eindringen. Bei der Diskussion zur Abgrenzung der Einzugsgebiete der Siebenquellen und der Wasseralmquelle kann für diese Zone aufgrund ihrer hohen gerichteten Gebirgsdurchlässigkeit die Funktion einer Wasserscheide angenommen werden. Möglicherweise alimentiert auch dieser tief gelegene Teil des Karstwasserkörpers der Schneeealpe über diesen Weg den im Baumtal gelegenen Austritt der Kalten Mürz.

Bei Stollenmeter 6.445 im Nordtrum wurde innerhalb der ansonsten ausgeglichenen Zone ein weiterer größerer Wasseraustritt mit starker Reaktion auf Schneeschmelze und Niederschlagsereignisse angetroffen. Dieser ist möglicherweise an jene tiefreichende Störung gebunden, die vom Windberg gegen SSE streichend den Körper der Rauhensteindeckscholle zerlegt und vom Wetterstein-Dolomit trennt. In Frage käme jedoch auch eine der NE-SW streichenden Störungen die in diesem Bereich vergittern.

5.4 DER LOHMBACH

Der Ursprung des Lohmbaches befand sich im Juli 1994 wenige Meter oberhalb der im gleichnamigen Tal in 920 m Seehöhe gelegenen Wildbachverbauung. Nach einer längeren warmen und niederschlagsfreien Periode trat Wasser mit einer Temperatur von 6,7 °C und der Leitfähigkeit 248 µS bei vernachlässigbarer Schüttung aus dem Schutt im Bachbett aus. Bei Trockenheit fließt dem Lohmbach also nur eine geringe Wassermenge aus dem Karstwasserkörper der Schneeealpe zu. Wie aus Pegelraten entnommen werden kann, steigt jedoch die Wasserführung des Lohmbaches während der Schneeschmelze oder nach Niederschlagsereignissen rasch an und erreicht Werte um die 30 l/s. Dieses Verhalten wird durch die Geometrie seines Einzugsgebietes deutlich. Der Lohmbach zeichnet sich durch ein großes Gebiet mit vorwiegend Oberflächenabfluß aus. Dieser erfolgt sowohl von der stauenden Grauwackenzone und den Werfener Schiefen an der Basis als auch aus dem überlagernden Wettersteindolomit der Schneeealpe (Beilage 1). Ein Teil des Oberflächenabflusses läßt sich auch aus der südöstlichen Flanke des Schneeealpenmassives herleiten, die durch die primär an +/- NE streichenden Störungen angelegten Bergzerreibungen zerlegt ist.

5.5 DIE KALTE QUELLE

Der Quellaustritt befindet sich in einer Seehöhe von ca. 1.140 m auf der rechten Seite der Dirlerschluft im Hangschutt aus Wetterstein-Dolomit und Waxenegg-Kalk unterhalb der Großen Burgwand ca. 15-20 m über dem im Talgrund verlaufenden Bachbett.

Die Schüttung erreichte im August 1994 nach längerer Trockenheit und hoher Tageserwärmung bei einer Wassertemperatur von 4,9 °C und einer Leitfähigkeit von 237 µS nur vernachlässigbare Werte, kann aber auf Werte bis über 30 l/s ansteigen.

Im Zuge eines durchgeführten Farbversuches konnte das in eine Schwinde nahe der Rinnohofer Hütte am Schneeealpenplateau eingespeiste Uranin nicht nur innerhalb der Siebenquellen nach mehreren Tagen, sondern auch im Austritt der Kalten Quelle nachgewiesen werden. Offenbar bestehen also auch vom Karstwasserkörper der Siebenquellen entlang

von NNW streichenden Störungen zum Austrittspunkt der Kalten Quelle zumindest bei höherem Wasserangebot gute Wegigkeiten.

Nach längerer Trockenheit sollte die Kalte Quelle nur mehr aus einem lokalen Wasserkörper gespeist werden; die starken Niederschlags- und jahreszeitlich abhängigen Schüttungsschwankungen werden damit verständlich.

5.6 DIE KALTE MÜRZ

Die Kalte Mürz tritt im hinteren Baumtal aus der Talfüllung zutage. Ihr Ursprung läßt sich jedoch nicht exakt festlegen und dürfte sich bei höherer Schüttung taleinwärts verlagern.

Möglicherweise fungiert sie als „Basisabfluß“ der aus dem gesamten dolomitisch entwickelten Mittel- und Ostteil der Schneesalpe zutretenden Karstwässer. Diese werden offenbar durch die Mächtigkeitsabnahme des Wetterstein-Dolomites und die unterlagernden Werfener Schiefer im Baumtal zum Austreten gezwungen. Ein Zusammenhang des Karstwasserkörpers der Wasseralmquelle mit den in der Kalten Mürz austretenden Wässern ist also vorstellbar.

Wie aus dem Vergleich vorhandener Quellmeßdaten entnommen werden kann, streuen Schüttungsmenge (< 1 l/s bis ca. 50 l/s) und Wassertemperatur (6,9 °C - 10,1 °C) der Kalten Mürz über einen großen Bereich. Diese Schwankungen werden offenbar durch die innerhalb des dolomitischen Einzugsgebietes und bei großen Hangneigungen vorwiegend oberflächlich zuströmenden Niederschlagswässer verursacht.

In Ermangelung eines Schreibpegels ist jedoch über das Abflußverhalten der Kalten Mürz noch wenig bekannt.

5.7 DER KLEINBODENGRABENBACH

Auch die Schüttung des Kleinbodengraben-Baches sollte durch die Lage seines Einzugsgebietes im Wetterstein-Dolomit stark niederschlagsabhängig und großen Schwankungen unterworfen sein. Durch den tiefen Einschnitt des Kleinbodenbachtals in den dolomitischen Körper der Mürzalpendecke können dem Bach aber auch Wässer aus dem Karstwasserkörper der Siebenquellen und dem Schönhaltereck als auch aus dem Bereich Naßköhr und Donnerkogel zuströmen. Die Lage der Grundwasserscheide läßt sich hier nicht exakt festlegen.

5.8 KALTER BACH

Als Einzugsgebiet des Kalten Baches muß die gesamte Roßkogeldeckscholle angesehen werden.

Wie aus der geologischen Karte und den Profilschnitten 1 und 2 (Abb. 7) entnommen werden kann, liegt diese in Form einer nach Norden abtauchenden Platte über den Gesteinen der Mürzalpen-Decke und der Proles-Schuppe.

Ein Schollenteppich aus Zlambach-Schichten, Halobienschiefern der Proles-Schuppe sowie Werfener Schichten der Deckscholle dichten diese gegenüber ihrer Unterlage weitestgehend ab und bilden eine nach Norden fallende, Wasser stauende Mulde.

Die Gesteine der Deckscholle selbst erlauben eine weitere Gliederung der Roßkogeldeckscholle in Karstwasserkörper.

So zeigen die roten und bunten Hallstätter Kalke sowie der „Wetterstein-Kalk“ eine besonders intensive Verkarstung bei sonst geringer Gesteinsdurchlässigkeit. Die auf der Hochfläche im Bereich Roßkogel - Spielkogel in zahlreichen Dolinen versickernden Niederschläge erreichen also auf kürzestem Wege, bei großem Gradienten den Nordrand der Deckscholle und treten dort an der Grenze zu den stauenden Werfener Schiefen als Schichtquelle im Kalten Bach aus.

Von den im Bereich des Hohen Waxeneggs versickernden Niederschlägen tritt möglicherweise nur ein verhältnismäßig geringer Anteil im Kalten Bach zutage. Grund zu dieser Annahme geben einerseits die Verringerung der Mächtigkeit der Karstwasser führenden Kalke gegen Westen und andererseits das große Fließgefälle gegen Nordosten in Richtung des Tales der Kalten Mürz.

Die an dieser Stelle entlang der Schichtgrenze zwischen dem „Wetterstein-Kalk“ und den Werfener Schichten zahlreich auftretenden diffusen Wasseraustritte werden somit erklärbar.

Durch die in den Kalken vermutete hohe Wegigkeit entlang von Karstschläuchen, ist mit besonders raschem Anstieg der Quellschüttung des Kalten Baches nach Niederschlagsereignissen zu rechnen.

Die stratigraphisch tieferen Gesteine der Deckscholle (Steinalm-Dolomit, Gutensteiner Dolomit, Hornstein führender Hallstätter Kalk) zeigen hingegen keine wesentliche Verkarstung. Sie zeichnen sich durch höheres Wasserrückhalte- und Speichervermögen aus. Sie sollten den größten Anteil des Quellwassers während Trockenperioden liefern, das sich durch den Kontakt mit den Werfener Schiefen und die größeren Verweilzeiten in seinem Mineralisierungsgrad deutlich vom übrigen Karstwasser unterscheiden sollte.

Inwieweit Karstwasser aus dem Deckschollenbereich entlang von Störungen in die unterlagernde Proles-Schuppe und die Mürzalpendecke übertreten kann, ist fraglich. Infolge der zusätzlichen Abdichtung sowohl durch stauende Halobienschichten als auch durch die Zlambach-Schichten der Mürzalpendecke erscheinen die Wegigkeiten trotz starker tektonischer Zerlegung der Deckscholle und ihrer Unterlage allerdings stark eingeschränkt.

Die bei Frein östlich des Mürzufers gelegene Quelle tritt noch im Hangenden der stauenden Halobienschiefer aus und sollte bei ausgeglichener Schüttung höher mineralisiertes Wasser der Deckscholle fördern.

5.9 DIE QUELLE IM STEINALPLTAL

Auch für diesen Quellaustritt können grob zwei anliefernde Karstwasserkörper angenommen werden.

Karstschläuche innerhalb der hoch verkarstungsfähigen, generell nach NNE einfallenden Waxenegg-Kalke sollten Niederschläge rasch dem Quellaustritt zuführen. Geringmächtige und nicht aushaltende Raibler Schichten, sowie der unterlagernde Wetterstein-Dolomit behindern vertikale Wasserbewegung und führen zur Ausbildung eines schwebenden Karstwasserkörpers.

Gleichzeitig können aber auch innerhalb des Wettersteindolomites Bergwässer aus dem Bereich hinteres Naßköhr bis Gläserkogel zutreten. Die Lage der Wasserscheide läßt sich hier nicht festlegen.

5.10 DER TIROLBACH

Der Tirolbach entspringt unterhalb des „Ausganges“ im Tirol in einer Seehöhe von ca. 1.040 m aus Bergsturzmateriale. Sein Wasser zeigt bereits an dieser Stelle eine charakteristische, durch organisches Material bedingte, leicht bräunliche bis gelbliche Verfärbung. Auf der Wasseroberfläche bilden sich Schaumkronen, die von der Stömung zusammengetrieben werden und in geschützten Bereichen gelblich-weiße Ansammlungen bilden.

Aufgrund jener Merkmale läßt sich bereits das Moor am Naßköhr als ein Liefergebiet des Tirolbaches eindeutig festlegen. Dieses bildete sich über stauenden Zlambach-Schichten, die es gegenüber den liegenden, hoch verkarstungsfähigen Waxenegg-Kalken weitestgehend abdichten. Das zusitzende Moorwasser fließt sodann, wohl gemeinsam mit einem Anteil der im Bereich des Naßköhr's fallenden Niederschläge einer großen Schwinde, dem „Durchfall“, zu und wird von dieser aufgenommen.

Von dort bestehen offenbar hohe Wegigkeiten entlang eines SE streichenden Störungsbündels, das das in der Schwinde verschluckte Wasser auf kürzestem Weg dem Austritt des Tirolbaches zuführt.

Durch die gegenüber dem Wetterstein-Dolomit im Liegenden erhöhte Löslichkeit des hangenden Waxenegg-Kalkes, die durch die chemische Zusammensetzung der Moorwässer noch verstärkt wird, sind die Störungen wohl besonders in diesem Gestein zu großlumigen Karstschläuchen erweitert. Der wahre Austrittspunkt des Tirolbaches dürfte also unter dem Hangschutt an der Schichtgrenze vom Wetterstein-Dolomit zum Waxenegg-Kalk liegen, wird sich allerdings bei geringer Wasserführung in den unterlagernden Wetterstein-Dolomit verschieben.

5.11 WASSERFALL ZUM TOTEN WEIB

Die so bezeichnete Karstquelle befindet sich ca. 1,3 km südlich der Ortschaft Frein inmitten der Mürschlucht. Das Wasser strömt auf der linken, östlichen Seite der Schlucht aus einer ca. 30 m über dem Talgrund gelegenen Öffnung in der Felswand aus oberkarnischen Hallstätter Graukalken und fällt in einem Wasserfall direkt in das Flußbett der Mürs.

Der Austritt der Quelle ist also offensichtlich an einem mit hoher Wahrscheinlichkeit einer Störung folgenden Karstschlauch angelegt. Die Quellschüttung ist Berichten zufolge (Speläologisches Institut Wien, Bericht zum Sporentrittversuch Schneesalpe 1962) und nach eigenen Beobachtungen starken Schwankungen unterworfen. Das Schüttungsminimum reicht vom Trockenfallen im Hochsommer bis zu Schüttungen >30 l/s während der Schneeschmelze oder nach starken Niederschlägen. Da das aufgrund geologischer Überlegungen (Beilage 1) ausgeschiedene unmittelbare Einzugsgebiet der Quelle für diese Schüttungsmengen und deren zeitlichen Verlauf nicht ausreichend erscheint, muß mit einer Anlieferung von Karstwasser aus dem Einzugsgebiet des Tirolbaches (Naßköhr) gerechnet werden. Ein Beitrag dieser Karstwässer zum Gesamtabfluß des Toten Weibes könnte aber möglicherweise zu einem erhöhten Gehalt an charakteristischen organischen Substanzen, die aus dem Moor des Naßköhr abzuleiten wären, führen und würde deren Herkunft und Anlieferung an Störungen belegen.

Betrachtet man die Austrittssituation (Austritt aus störungsgebundenem Karstschlauch über dem Vorflutniveau) des Toten Weibes, so sind weitere an Störungen angelegte Wasseraustritte in diesem Bereich denkbar. Diese treten möglicherweise direkt im Bett der Kalten Mürz aus und wären daher entsprechend ihrer Größe nur mit genauen Abfluß- und Temperatur- sowie Leitfähigkeitsmessungen faßbar.

5.12 DER SCHWARZBRUNNEN

Unter dieser Bezeichnung werden hier mehrere Wasseraustritte zusammengefaßt, die sich in ihrer Temperatur und Schüttung unterscheiden.

Der eigentliche Schwarzbrunnen ist eine am Ausgang des „Inneren Krampengraben“ auf der westlichen Seite, unmittelbar an der Forststraße ins „Tirol“, direkt am Fuß der Felswand gelegene Quelfassung. Das aus ihm entnommene Wasser dient zur Versorgung eines Teils der Ortschaft Krampen. Zum Zeitpunkt der Messung am 29.07.94 16h traten aus ihr geschätzt 10 l/s Wasser mit einer Temperatur von $7,2$ °C und einer Leitfähigkeit von 323 µS aus. Wenige Meter (ca. 15 m) entlang der Forststraße ins Tirol befindet sich an der Böschung zum Tirolbach ein weiterer Wasseraustritt mit vergleichbaren Werten.

Im Gegensatz dazu traten am östlichen, gegenüberliegenden Ufer des Tirolbaches an mehreren Stellen Wässer mit einer Tempereatur von nur $6.7 - 6.8$ °C und einer Leitfähigkeit von $306-308$ µS aus. Teilweise schien Wasser direkt im Bett des Tirolbaches aufzuwallen bzw. trat diffus im Bachsediment aus; eine Abschätzung der Gesamtschüttung der Wasseraustritte ist daher schwierig, sie dürfte aber im Bereich von $5-10$ l/s gelegen haben. Die Temperatur des Tirolbaches betrug oberhalb der Wasseraustritte, am Nordende des „Inneren Krampengraves“ $13,4$ °C, die Leitfähigkeit 271 µS und war abstromig des Schwarzbrunnens auf $10,3$ °C, Leitfähigkeit 297 µS abgesunken (letzte Messung 16h 30).

Diese Situation läßt sich durch die unmittelbare Lage der Quellaustritte an einem Hauptast der West-Ost streichenden Dobrein-Störung und deren Verschnitt mit dem Tirolbachtal erklären.

So dürfte der Schwarzbrunnen gemeinsam mit dem ca. 15 m oberhalb gelegenen Austritt, vorwiegend wärmeres Wasser aus dem Bereich der Lachalpendeckscholle führen.

Die am linken Ufer des Tirolbaches liegenden tiefer temperierten Wasseraustritte stehen aufgrund der hohen Wegigkeiten entlang der Dobrein-Störung möglicherweise mit dem Karstwasserkörper der Siebenquellen in Verbindung. Zur Überprüfung dieser Annahmen wären jedoch weitere detaillierte Untersuchungen notwendig.

6. ABFLUSS

Im Schneesalpenbereich ist eine ganze Reihe von Meßstationen im Zusammenhang mit den Karstgrundwasseruntersuchungen errichtet worden. Die langjährigen Abfluß- sowie Schüttungsmessungen geben einen guten Einblick in die Abflußverhältnisse in diesem Gebiet. Es werden hier insbesondere die Daten des Siebenquellensystems und der Wasseralmquelle I ausgewertet. Die Abflußmengen wurden von Überlauf (Schreibpegel: Höhe in cm) und Einleitungsmenge (Wasserzähler: Menge in l/s) in der Wiener Hochquellenwasserleitung ermittelt. Die Umrechnung cm auf l/s erfolgte nach Rehbock-Meßwehr und wurde im November 1983 wiederum von F. Bauer überprüft.

In den folgenden Abbildungen 9,10,11,12,13 sind die Tageswerte des Jahresabflusses des Siebenquellensystems und der Wasseralmquelle I aufgetragen. Diese Darstellung erlaubt einen direkten Vergleich der Jahresganglinien der dargestellten Stationen. Trotz dazwischenliegendem Speicher zeigen die Meßresultate, daß die Quellschüttungen etwa gleichzeitig mit den Oberflächengewässern ansprechen. Der Speicher führt allerdings zu einem verzögerten Auslauf.

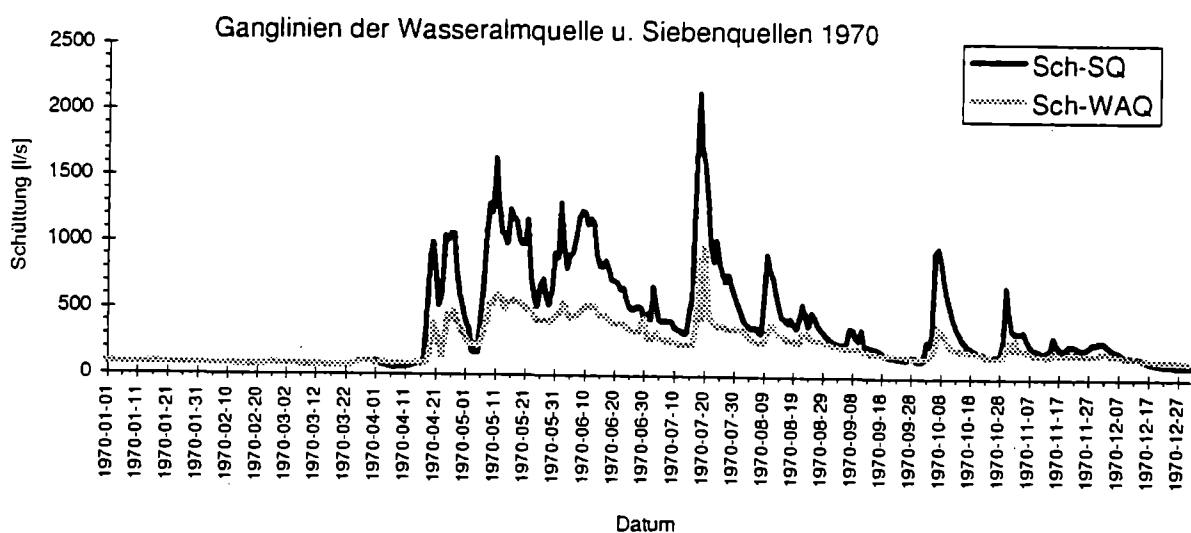


Abb. 9: Vergleich der Tageswerte des Jahresabflusses der Siebenquellen (SQ) und der Wasseralmquelle (WAQ), 1970

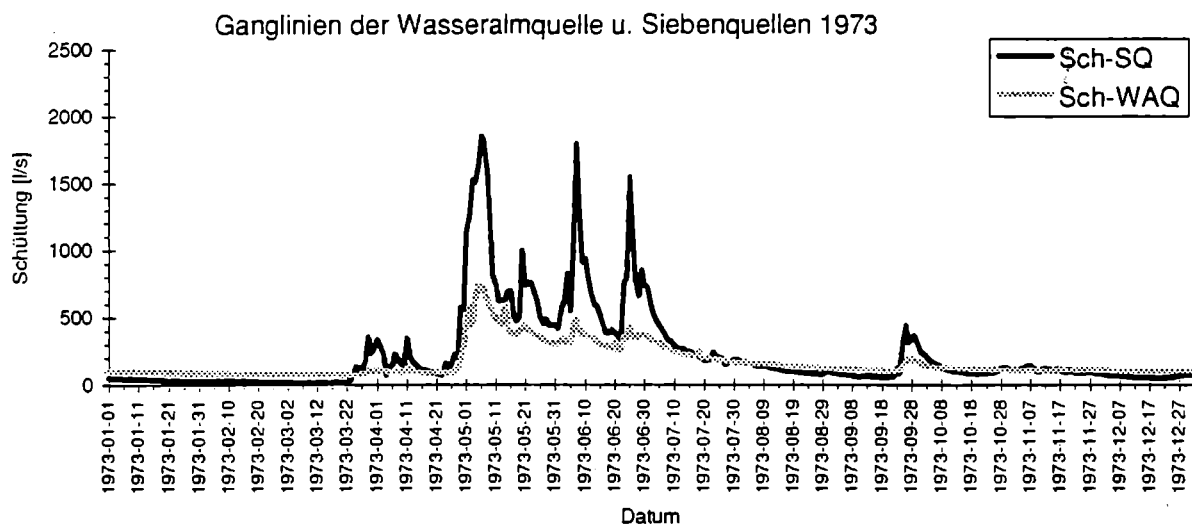


Abb. 10: Vergleich der Tageswerte des Jahresabflusses der Siebenquellen (SQ) und der Wasseralmquelle (WAQ), 1973

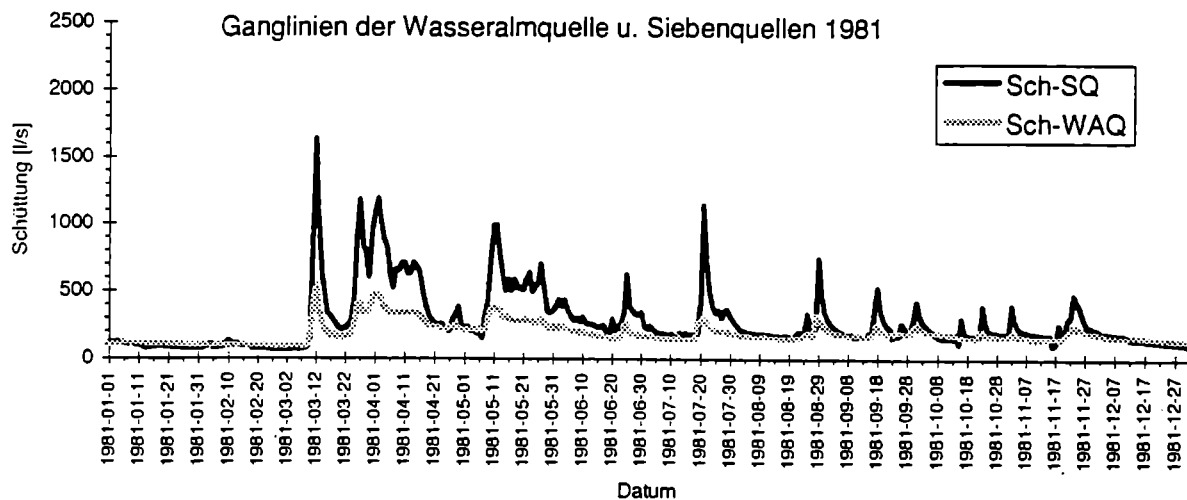


Abb. 11: Vergleich der Tageswerte des Jahresabflusses der Siebenquellen (SQ) und der Wasseralmquelle (WAQ), 1981

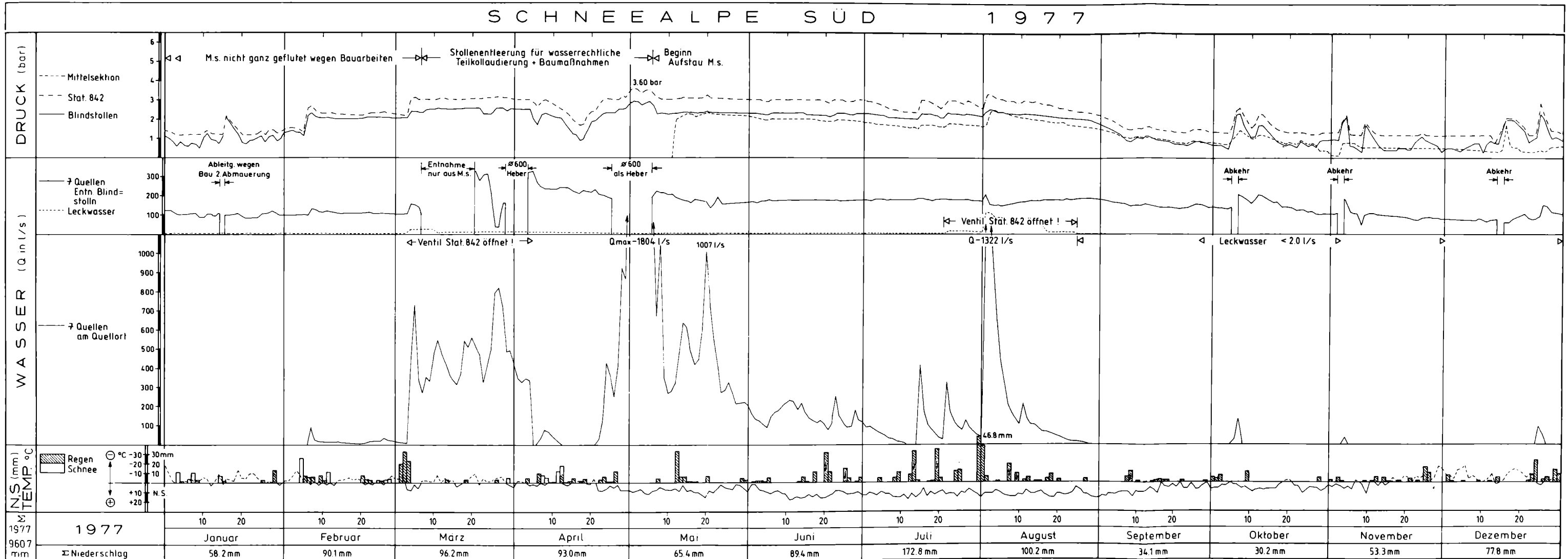


Abb. 12: Vergleich der Tageswerte des Jahresabflusses des Wasseralmquellesystems (Schneealpe Nord) und Reistalbach II mit der Niederschlaghöhe und Lufttemperatur (nach F. Bauer 1977).

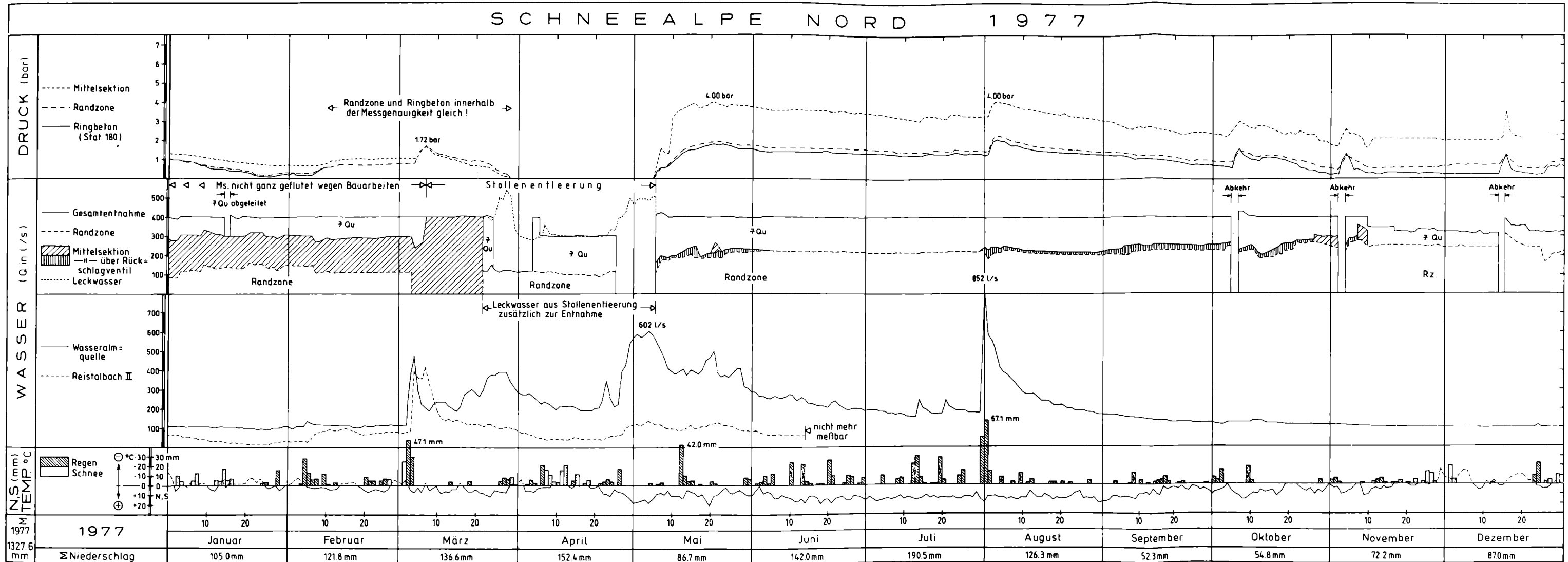


Abb. 13: Vergleich der Tageswerte des Jahresabflusses des Siebenquellensystems (Schneealpe Süd) mit der Niederschlagshöhe und Lufttemperatur (nach Bauer 1977).

Bei allen Stationen tritt deutlich das Maximum der Schneeschmelze im Frühjahr und Frühsommer hervor. Im Sommer und Herbst folgen weitere Maxima im Zusammenhang mit Niederschlagsperioden. Eine genaue Betrachtung des Verlaufes der Schneeschmelze gibt Hinweise auf die Höhenlage des Einzugsgebietes.

Die Schneeschmelze setzt im allgemeinen mit zunehmender Höhe später ein. Eine detaillierte Analyse der Abflußverhältnisse unter gleichen hydrologischen Bedingungen sollte deshalb Vergleiche der Einzugsgebietshöhen zulassen.

Siebenquellen und Wasseralmquelle

Tagesgänge der Pegelstände während der Schneeschmelze

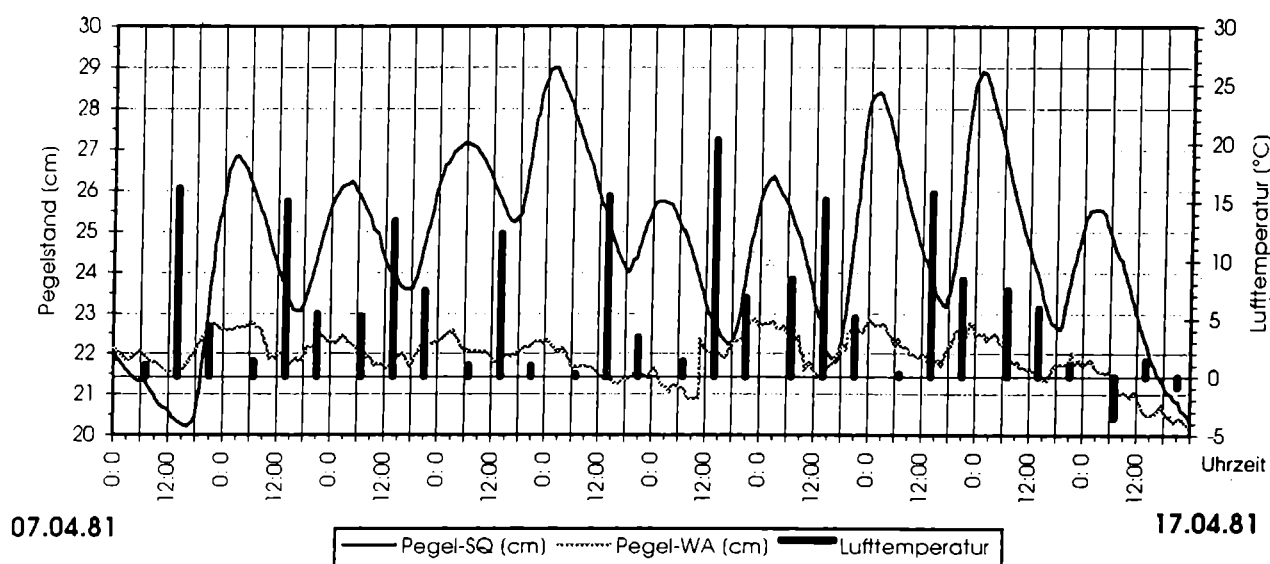


Abb. 14: Tagesgänge während der Schneeschmelze der Siebenquellen (SQ) und der Wasseralmquelle (WAQ): Ein Vergleich der Pegelstände zur Zeit der Schneeschmelze mit der Tagestemperatur läßt eine Verzögerung des Schüttungsmaximums gegenüber der maximalen Lufttemperatur von 13 - 14 Stunden erkennen

Der Schmelzwasserabfluß aus der Schneedecke ist von der Schneemenge und der Lufttemperatur abhängig. Ein Vergleich der Pegelstände zur Zeit der Schneeschmelze mit der Tagestemperatur läßt eine Verzögerung des Schüttungsmaximums gegenüber der maximalen Lufttemperatur von 13-14 Stunden bei den Siebenquellen erkennen (Abb. 14). Die Wasseralmquelle läßt diesen Effekt nicht so deutlich beobachten. Die beiden Quellen zeigen unterschiedliche Schüttungsverläufe.

In Abbildung 15 werden die Niederschlagsmengen der Stationen Weichselboden, Brunngraben, Karlgraben, Naßwald (Hochwasser August 1991) den Schüttungen der Siebenquellen und der Wasseralmquelle gegenübergestellt.

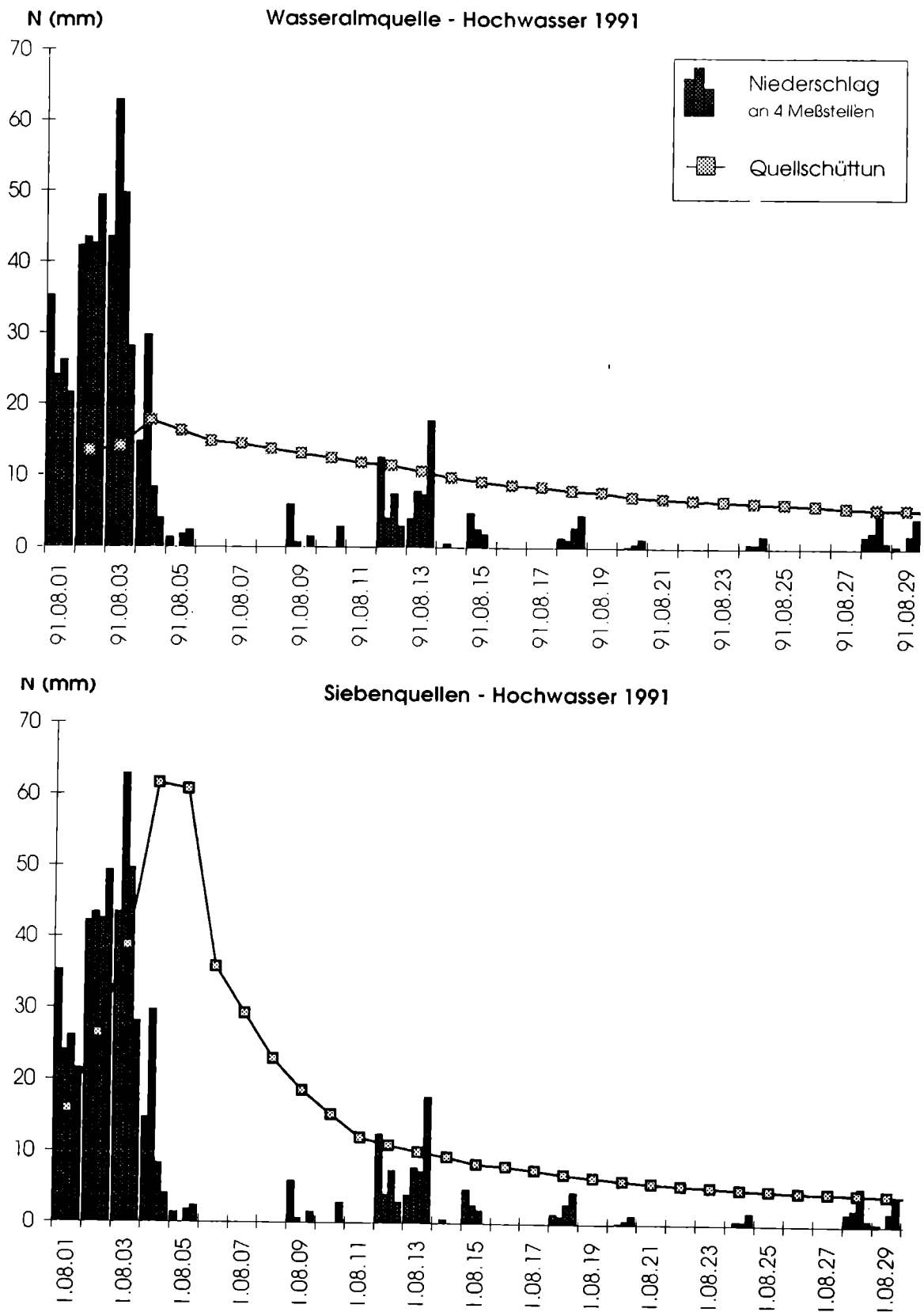


Abb. 15: Reaktion der Wasseralmquelle u. der Siebenquellen auf das Hochwasser 1991: Die Siebenquellen reagieren rascher und intensiver auf Niederschlag als die Wasseralmquelle

Während die Siebenquellen rascher und intensiver (weniger als 2 Stunden) auf Niederschlag reagieren, zeigt die Wasseralmquelle einen ruhigeren und ausgeglicheneren Verlauf.

6.1 SPEICHERVERHALTEN

Die Form der Trockenwetterfalllinie „TWL“ eines Gewässers hängt von den meteorologischen Bedingungen in Interaktion mit dem Speicherverhalten des Einzugsgebietes ab. Mathematisch läßt sich die TWL als einfache Exponentialfunktion der Form beschreiben:

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$$

Q_t = Gesamtabfluß nach der Zeit t nach dem Abfluß Q_0

α = empirische Konstante (Austrocknungskoeffizient nach MAILLET [1905])

t = Zeitintervall zwischen den Abflüssen Q_0 und Q_t

Entsprechend dem gängigen Verfahren (RICHTER & LILLICH, 1975) wurden bisher geeignete, länger fallende Abschnitte der Abflußganglinie händisch ausgewählt und zur TWL zusammengefügt. Da dieses Verfahren sehr zeitaufwendig ist und daher zur Behandlung großer Datenmengen ungeeignet erschien, wurde in der vorliegenden Arbeit ein von A. Biedermann (1993) speziell entwickeltes Computerprogramm zur Ermittlung der TWL aus Abflußdaten verwendet.

Zu diesem Zweck wurden aus den digitalisierten Schüttungsdaten sowohl der Siebenquellen als auch der Wasseralmquelle 1 jeweils exemplarisch die Abflußjahre 1971 und 1975 ausgewählt. Diese Jahre zeichnen sich durch extrem geringe (1971) und extrem hohe (1975) Abflußwerte aus und stellen somit hydrologische Extremsituationen dar.

Aus den Abflußdaten wurden sodann mit Hilfe des beschriebenen Computerprogrammes die Trockenwetterfalllinie ermittelt und mit Hilfe des Tabellenkalkulationsprogrammes MS-Excel in den folgenden Abbildungen 16 und 17 grafisch dargestellt.

Die Trockenwetterlinien der Siebenquellen (Abb. 16) lassen sich bereits optisch in zwei, unterschiedlich steile Kurvenabschnitte, einen steileren Anfangsteil und einen flach auslaufenden zweiten Abschnitt unterteilen. Der dominierende, erste steile Abfall der Dauerkurven belegt das hier geringe Rückhaltevermögen des Karstwasserkörpers. Das Wasser aus diesem Bereich der TWL's dürfte aus großen Karsthohlräumen/Schläuchen (Hallstätter und Wetterstein-Dolomit/Kalk) stammen, die hohe Abstandsgeschwindigkeiten zulassen und daher ihr Speichervolumen rasch abgeben.

Der jeweils zweite Kurvenabschnitt der TWL's kann aufgrund seines flachen Verlaufes hingegen einem großen Wasserkörper zugeordnet werden der nur langsam ausläuft und wird daher als Basisabfluß bezeichnet. Hier handelt es sich um ursprünglich in der kleinklüftigporösen Matrix des Wetterstein Dolomites gespeichertes Wasser.

Beide Trockenwetterlinien der Siebenquellen (1971 und 1975) zeigen nach ca. 35 Tagen einen annähernd identen Verlauf. Bis zu diesem Konvergenzpunkt scheint daher ein Großteil des in den großen Karsthohlräumen gespeicherten Wassers ausgelaufen zu sein. Der nachfolgende Teil der Trockenwetterlinien zeigt den Gang des Basisabflusses.

Im Vergleich mit den Siebenquellen zeigen die Trockenwetterlinien der Wasseralmquelle innerhalb der Vergleichsjahre 1971 und 1975 einen ausgeglicheneren und nur geringer von-

einander abweichenden Verlauf. Die Erklärung dafür ist im geologischen Aufbau des Einzugsgebietes zu finden, das vorwiegend aus Wetterstein-Dolomit aufgebaut wird.

Durch die bedeutend geringere Verkarstungsfähigkeit des Dolomites fließen Hochwasserspitzen entlang offener, gering speicherwirksamer Klüfte entlang derer hohe Wasserwegigkeiten existieren. Die TWL des Hochwasserjahres 1975 (Abb. 17) zeigt daher eine Spitzenschüttung, die noch rascher als die der Siebenquellen abklingt. Dieser Umstand belegt ein nur geringes Speichervolumen in den Klüften des Wetterstein-Dolomites der Wasseralmquelle. Die TWL's des Hochwasserjahres und des Niederwasserjahres der WAQ konvergieren daher auch bereits nach ca. 15 Tagen. Nach diesem Zeitpunkt dürften die Großklüfte im Einzugsgebiet größtenteils ausgelaufen sein.

Die folgenden dominierenden Abschnitte der TWL's spiegeln wiederum die langsam abklingende, ausgeglichene und lang andauernde Schüttung (überwiegender Teil der TWL) aus der kleinklüftig porösen, speicherwirksamen Matrix des Wetterstein-Dolomites wieder.

Trockenwetterlinien der Siebenquellen

Jahre 1971, 1975

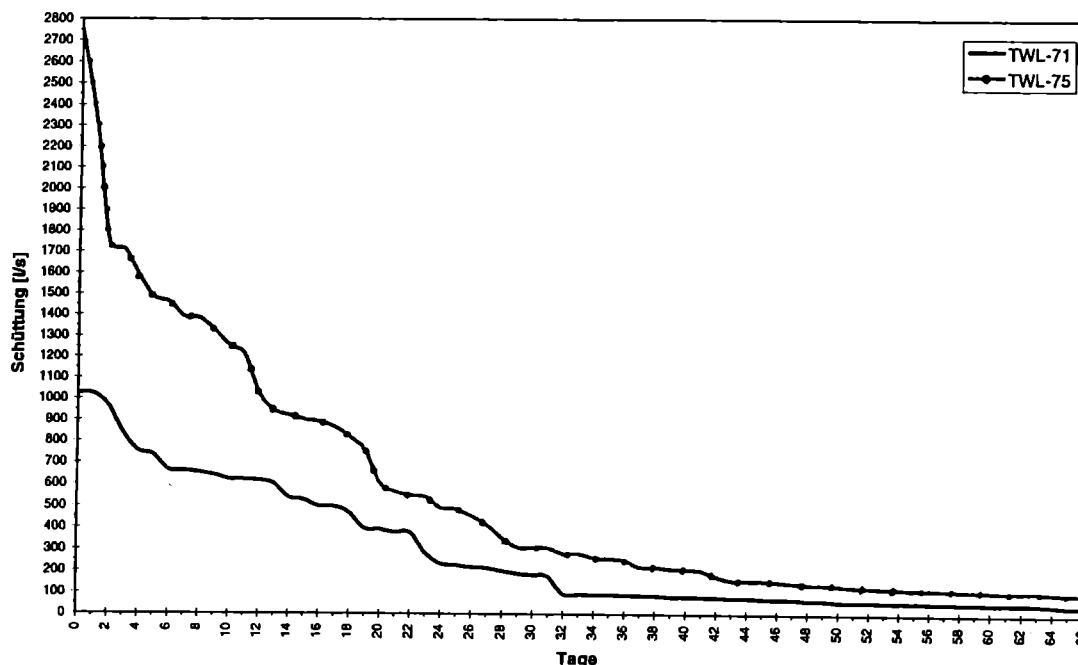


Abb. 16: Trockenwetterfalllinien der Siebenquellen 1971 und 1975: Die Trockenwetterfalllinien der Siebenquellen zeigen nach ca. 35 Tagen einen annähernd identen Verlauf. Bis zu diesem Konvergenzpunkt scheint ein Großteil des in den großen Karsthohlräumen gespeicherten Wassers ausgelaufen zu sein. Der nachfolgende Teil der Trockenwetterfalllinien zeigt den Gang des Basisabflusses.

Trockenwetterlinien der Wasseralmquelle

Jahre 1971, 1975

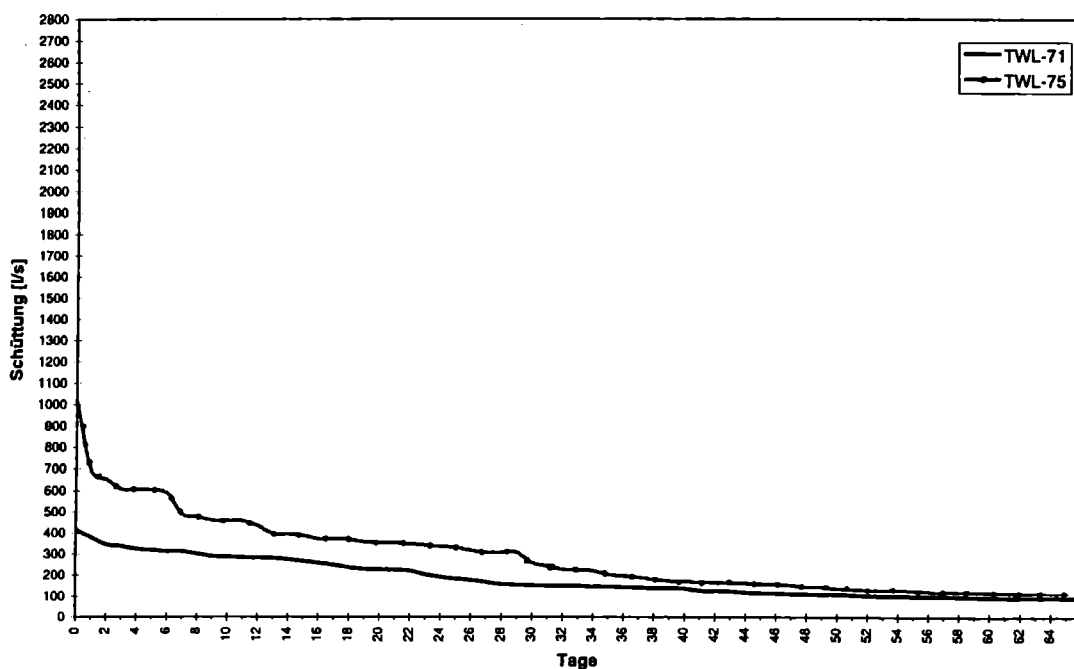


Abb. 17: Trockenwetterfalllinien der Wasseralmquelle 1971 und 1975. Im Vergleich zu den Siebenquellen zeigen die Trockenwetterfalllinien der Wasseralmquelle innerhalb der Vergleichsjahre 1971 und 1975 einen ausgeglicheneren und nur gering voneinander abweichenden Verlauf

6.2 BERECHNUNG DER ABFLUSSRÜCKBILDUNG DER EINZELNEN ABSCHNITTE DER TROCKENWETTERFALLLINIE (TWL) DES SIEBENQUELLENSYSTEMS UND DER WASSERALMQUELLE 1

Zur Abtrennung von Abflußanteilen der Siebenquellen und der Wasseralmquelle aus Trockenwetterfalllinien wurde das Computerprogramm ABFLUSS Version 1.0 auf die Trockenwetterdaten der Siebenquellen und der Wasseralmquelle 1971, 1975 (Abb. 16, 17) angewendet. In diesem Computerprogramm wurde eine weitere, bereits bekannte, ursprünglich graphische Methode (DRACOS, 1980 in MATHESS & UBELL, 1983) rechnerisch umgesetzt.

Hierbei wird davon ausgegangen, daß das Abflußverhalten eines Wasserkörpers/Einzugsgebietes durch eine einfache Exponentialfunktion der Form $Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$ beschrieben werden kann.

- Q_t = Gesamtabfluß nach der Zeit t nach dem Abfluß Q_0
- α = Rückhaltekoeffizient
- t = Zeitintervall zwischen den Abflüssen Q_0 u. Q_t

Wird eine Quelle aus mehreren (unabhängigen) Einzugsgebieten/Wasserkörpern gespeist, setzt sich der Gesamtabfluß aus Exponentialfunktionen der folgenden Teilabflüsse zusammen.

Diese werden mit dem folgenden beschriebenen Rechengang aus dem Gesamtabfluß separiert:

Durch die logarithmierten Meßwerte eines diskreten, abfallenden Ganglinienteiles wird beginnend mit dem letzten Meßpunkt der Zeitreihe über alle Meßpunkte der Korrelationskoeffizient einer Einfachregression gerechnet. Dieser Vorgang wird iterativ für alle $N-1$ Meßpunkte ausgeführt und so die Korrelationskoeffizientenfunktion des Datensatzes ermittelt.

Jene Meßwerte, für die die Korrelationskoeffizientenfunktion ihr Maximum erreicht, werden für die Berechnung des ersten Abflußanteiles und seines zugeordneten Rückhaltekoeffizienten herangezogen.

Die verbleibenden Meßwerte werden sodann auf diese Gleichung reduziert und der beschriebene Rechengang daraufhin wiederholt. Auf diese Art und Weise können Schritt für Schritt die einzelnen Abflußanteile abgetrennt werden.

Alle aus einem Ganglinienabschnitt errechneten Gleichungen können in einer Textdatei gespeichert und weiter ausgewertet werden. Zur Kontrolle der Anpassungsgüte der Exponentialfunktion an die Meßwerte können zusätzlich die Abweichungen der Meßwerte von den errechneten Werten bestimmt und in einer weiteren Datei gespeichert werden. Eine Visualisierung mit Hilfe eines Tabellenkalkulationsprogrammes (z.B. MS-EXCEL) ist möglich.

1. Die Trockenwetterfalllinien (TWL) der Siebenquellen

AUSWERTUNG - Abflußanteile : SQ71.TWL - 67 Meßwerte

1. Gleichung.: $Y = -2,61 \cdot 10^{-7}x + 5,302$

Integral EXP(Y) = 595145 m³

Int.Untergrenze.: 0t.0h.0m.0s - 200.82 [l/s]

Int.Obergrenze .: 66t.0h.0m.0s - 45.22 [l/s]

Berücksichtigte Meßwerte : 35 Korrelation : -0,989

Verbleibende Meßwerte : 32

Folgende Gleichung - regulärer Schnittpunkt !

2. Gleichung.: $Y = -7,80 \cdot 10^{-7}X + 6,421$

Integral EXP(Y) = 145074 m³

Int.Untergrenze.: 25t.0h.0m.0s - 114.09 [l/s]

Int.Obergrenze .: 95t.7h.55m.9s - 0.00 [l/s]

Berücksichtigte Meßwerte : 7 Korrelation : -0,980

Verbleibende Meßwerte : 25

Folgende Gleichung - beginnt neu !

3. Gleichung.: $Y = -3,25 \cdot 10^{-6}X + 1,155$

Integral EXP(Y) = 58902 m³

Int.Untergrenze.: 21t.0h.0m.0s - 283.84 [l/s]

Int.Obergrenze .: 25t.0h.0m.0s - 92.21 [l/s]

Berücksichtigte Meßwerte : 4 Korrelation : -0,947

Verbleibende Meßwerte : 21

Folgende Gleichung - beginnt neu !

4. Gleichung.: $Y = -5,789 \cdot 10^{-7}X + 6,654$

Integral EXP(Y) = 871643 m³

Int.Untergrenze.: 0t.0h.0m.0s - 776.08 [l/s]

Int.Obergrenze .: 21t.0h.0m.0s - 271.48 [l/s]

Berücksichtigte Meßwerte : 21 Korrelation : -0,964

Verbleibende Meßwerte : 0

AUSWERTUNG - Abflußanteile : SQ75.TWL - 67 Meßwerte

1. Gleichung.: $Y = -1,83 \cdot 10^{-7}X + 5,665$

Integral EXP(Y) = 1020212 m³

Int.Untergrenze.: 0t.0h.0m.0s - 288.52 [l/s]

Int.Obergrenze .: 66t.0h.0m.0s - 101.35 [l/s]

Berücksichtigte Meßwerte : 16 Korrelation : -0,991

Verbleibende Meßwerte : 51

Folgende Gleichung - regulärer Schnittpunkt !

2. Gleichung.: $Y = -1,57 \cdot 10^{-6}X + 8,927$

Integral EXP(Y) = 626622 m³

Int.Untergrenze.: 15t.0h.0m.0s - 984.85 [l/s]

Int.Obergrenze .: 65t.19h.24m.40s - 0.00 [l/s]

Berücksichtigte Meßwerte : 36 Korrelation : -0,980

Verbleibende Meßwerte : 15

Folgende Gleichung - beginnt neu !

3. Gleichung.: $Y = -1,05 \cdot 10^{-6}X + 7,80$

Integral EXP(Y) = 526486 m³

Int.Untergrenze.: 8t.0h.0m.0s - 1177.94 [l/s]

Int.Obergrenze .: 15t.0h.0m.0s - 621.89 [l/s]

Berücksichtigte Meßwerte : 7 Korrelation : -9,74

Verbleibende Meßwerte : 8

Folgende Gleichung - beginnt neu !

4. Gleichung.: $Y = -6,25 \cdot 10^{-7}X + 7,40$

Integral EXP(Y) = 922151 m³

Int.Untergrenze.: 0t.0h.0m.0s - 1642.99 [l/s]

Int.Obergrenze .: 8t.0h.0m.0s - 1066.64 [l/s]

Berücksichtigte Meßwerte : 6 Korrelation : -0,982

Verbleibende Meßwerte : 2

2. Die Trockenwetterfalllinien (TWL) der Wasseralmquelle

AUSWERTUNG - Abflußanteile : WA71.TWL - 72 Meßwerte

1. Gleichung.: $Y = -1,29 \cdot 10^{-7} X + 5,271$

Integral EXP(Y) = 23198 m³

Int.Untergrenze.: 68t.0h.0m.0s - 91.01 [l/s]

Int.Obergrenze .: 71t.0h.0m.0s - 88.01 [l/s]

Berücksichtigte Meßwerte : 4 Korrelation : -1

Verbleibende Meßwerte : 68

Folgende Gleichung - beginnt neu !

2. Gleichung.: $Y = -1,27 \cdot 10^{-7} X + 5,227$

Integral EXP(Y) = 770423 m³

Int.Untergrenze.: 0t.0h.0m.0s - 186.28 [l/s]

Int.Obergrenze .: 68t.0h.0m.0s - 88.12 [l/s]

Berücksichtigte Meßwerte : 24 Korrelation : -0,990

Verbleibende Meßwerte : 44

Folgende Gleichung - regulärer Schnittpunkt !

3. Gleichung.: $Y = -8,82 \cdot 10^{-7} X + 5,558$

Integral EXP(Y) = 293107 m³

Int.Untergrenze.: 0t.0h.0m.0s - 259.42 [l/s]

Int.Obergrenze .: 72t.23h.16m.54s - 0.00 [l/s]

Berücksichtigte Meßwerte : 44 Korrelation : -0,967

Verbleibende Meßwerte : 0

AUSWERTUNG - Abflußanteile : WA75.TWL - 77 Meßwerte

1. Gleichung.: $Y = -1,488 \cdot 10^7 X + 5,541$

Integral EXP(Y) = 1068116 m³

Int.Untergrenze.: 0t.0h.0m.0s - 254.88 [l/s]

Int.Obergrenze .: 76t.0h.0m.0s - 95.93 [l/s]

Berücksichtigte Meßwerte : 27 Korrelation : -0,990

Verbleibende Meßwerte : 50

Folgende Gleichung - regulärer Schnittpunkt !

2. Gleichung.: $Y = -1,419 \cdot 10^6 X + 8,067$

Integral EXP(Y) = 133137 m³

Int.Untergrenze.: 23t.0h.0m.0s - 189.97 [l/s]

Int.Obergrenze .: 65t.18h.49m.41s - 0.00 [l/s]

Berücksichtigte Meßwerte : 27 Korrelation : -0,985

Verbleibende Meßwerte : 23

Folgende Gleichung - beginnt neu !

3. Gleichung.: $Y = -6,057 \cdot 10^7 X + 6,038$

Integral EXP(Y) = 484425 m³

Int.Untergrenze.: 0t.0h.0m.0s - 419.22 [l/s]

Int.Obergrenze .: 23t.0h.0m.0s - 125.81 [l/s]

Berücksichtigte Meßwerte : 22 Korrelation : -0,960

Verbleibende Meßwerte : 1

6.3 ABSCHÄTZUNG DER EINZUGSGEBIETSGRÖßEN

Berechnung der Einzugsgebietsgrößen der Siebenquellen und der Wasseralmquelle nach ASCHWANDEN (1985).

Aufgrund der Höhenlage und der Regimetypen der Wasseralmquelle und der Siebenquellen (nival alpin und nival de transition - Klassifikation siehe ASCHWANDEN, 1985) wurde zur Ermittlung der Einzugsgebiete beider Quellen das regressionsanalytische Verfahren von ASCHWANDEN (1985) ausgewählt.

Dabei werden die mittleren Abflußspenden des Gebiets aus klimatischen und morphologischen Parametern abgeschätzt und die Einzugsgebietsfläche durch den Quotienten Jahresabfluß/Abflußspende bestimmt.

Vorgehen: Berechnung

1.) Der mittlere Jahresabfluß (l/s) für die Periode 1970-1982 wurde aus dem arithmetischen Mittelwert der täglichen Schüttungsmessungen dieser Periode für die SQ und WAQ berechnet.

Ergebnis: SQ 1970-1982 289,3 [l/s] mittlerer Jahresabfluß

WAQ 188,0 [l/s]

2.) Niederschlagswerte 1971-1982 (1970 nicht vorhanden)

- a) N (So) Arithmetischer Mittelwert der Sommerniederschlagssummen (April-September) der Einzeljahre
- b) N (Wi) Arithmetischer Mittelwert der Winterniederschlagssummen (Oktober-März) der Einzeljahre
- c) N (So/Wi) Quotient des N(So) und N(Wi)

Für die Wasseralmquelle wurden die Niederschlagswerte der Station Wasseralm (1981-1990) verwendet und mit Hilfe der Vergleichsstation Naßwald für den ungemessenen Zeitraum 1971-1982 korrigiert.

Bei den Siebenquellen wurde unter Verwendung der Station Karlgraben und Mürzsteg analog verfahren.

WAQ Station Wasseralm

N (So) 708,6 mm

N (So/Wi) 1,35

SQ Station Karlgraben

N (So) 572,29 mm

N (So/Wi) 1,83

3.) mH - mittlere Höhe des Einzugsgebietes

Zur Berechnung der mittleren Einzugsgebietshöhe der einzelnen Quellen wurden die Teilgebiete mit einem regelmäßigen quadratischen Raster (250 m Gitterabstand) überdeckt und die Höhe der einzelnen Rasterpunkte abgelesen.

Die reale mH ergibt sich als flächengewichteter Mittelwert der Rasterpunkthöhen.

$$\text{WAQ} - \text{mH} = 1418,1 \text{ m}$$

$$\text{SQ} - \text{mH} = 1497,8 \text{ m}$$

4.) Reliefenergiefaktor = (max. Höhe im Einzugsgebiet) - (min. Höhe im Einzugsgebiet)

5.) Gebietsmitteltemperatur [$^{\circ}\text{C}$]

Die Gebietsmitteltemperatur berechnet sich aus der Temperatur einer Referenzstation (Preiner Gscheid), dem Temperaturquotienten ($0,51 \text{ }^{\circ}\text{C} \times 100 \text{ m}$ für nordalpine Lagen) und der mittleren Einzugsgebietshöhe.

$$T = T \text{ Preiner Gscheid} + (\text{Seehöhe Station Preiner Gscheid mH}) \times 0,0051 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T \text{ PG} = 5,06 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T \text{ PG} = 5,06 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Station PG} = 880 \text{ m } \ddot{\text{u}} \text{ A}$$

$$\text{Station PG} = 880 \text{ m } \ddot{\text{u}} \text{ A}$$

$$\text{mH} = 1418,1 \text{ m}$$

$$\text{mH} = 1497,8 \text{ m}$$

Werte Wasseralmquelle

Werte Siebenquellen

$$T \text{ WAQ} = 2,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T \text{ SQ} = 1,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

6.) Vergletscherung [%] = 0

7.) Sind die genannten Parameter berechnet, werden ihre Größen mit den von ASCHWANDEN (1985) angegebenen Gültigkeitsbereichen verglichen (erstmalig), um die Anwendbarkeit des Verfahrens zu überprüfen.

Alle Werte liegen im Gültigkeitsbereich der Regressionsbeziehung für die Alpennordseite.

Die Werte werden nun in die Gleichung für die Alpennordseite eingesetzt (ASCHWANDEN, 1985) und die mittlere Abflußhöhe A der Einzugsgebiete berechnet.

Variable	Alpennordseite Mittelwert und Variationsbereich
N (So)	483-1040-1509 [mm] Sommerniederschlag (Apr-Sept) langjähriger Mittelwert
N(So/Wi)	1,0-1,4-1,8 Verhältnis zu Sommer/Winterniederschlag
t	-1,9 -4,4 -8,7 [$^{\circ}\text{C}$] Jahresmitteltemperatur, langjähriger Mittelwert
FN	14 162 495 [km^2] Einzugsgebietsgröße

mH	529 - 1339 - 2465 [m] mittlere Einzugsgebietshöhe	
REL	197 - 1598 - 3578 [m]	Reliefenergie (N max - N min)
mV	0 - 5 - 36 Vergletscherung in %	

$$A = 62792 + 1,39 \cdot N(\text{So}) - 158,45 \cdot N(\text{So/Wi})^2 - 11142,54 \cdot \ln(T+273,15) + 66,59 \cdot \ln(mV+1)$$

A = Abluhhe in [mm]

wird in die Abflußspende [$\text{l/s} \cdot \text{km}^2$] umgerechnet:

$$\text{Abflußspende } [\text{l/s} \cdot \text{km}^2] = (A \text{ [mm]} \cdot 10^6) / (365 \cdot 86400)$$

wobei die Abflußspende = f1 (f2 (Einzugsgebietsfläche), Lage)

Die Einzugsgebietsfläche [km^2] errechnet sich sodann aus dem Quotienten des mittleren Jahresabflusses und der Abflußspende.

$$\text{Einzugsgebietsfläche } E \text{ [km}^2] = \text{mittlerer Jahresabfluß} [\text{l/s}] / \text{Abflußspende } [\text{l/s} \cdot \text{km}^2]$$

$$A_{SQ} = 690 \text{ [mm]}$$

$$A_{WAQ} = 884 \text{ [mm]}$$

8.) Die Abluhhe wird sodann in die Abflußspende umgerechnet.

Die Fläche des Einzugsgebietes ergibt sich sodann aus dem Quotienten mittlerer Jahresabfluß/Abflußspende.

Einzugsgebietsflächen:

$$SQ = 13,2 \text{ km}^2$$

$$WAQ = 6,7 \text{ km}^2$$

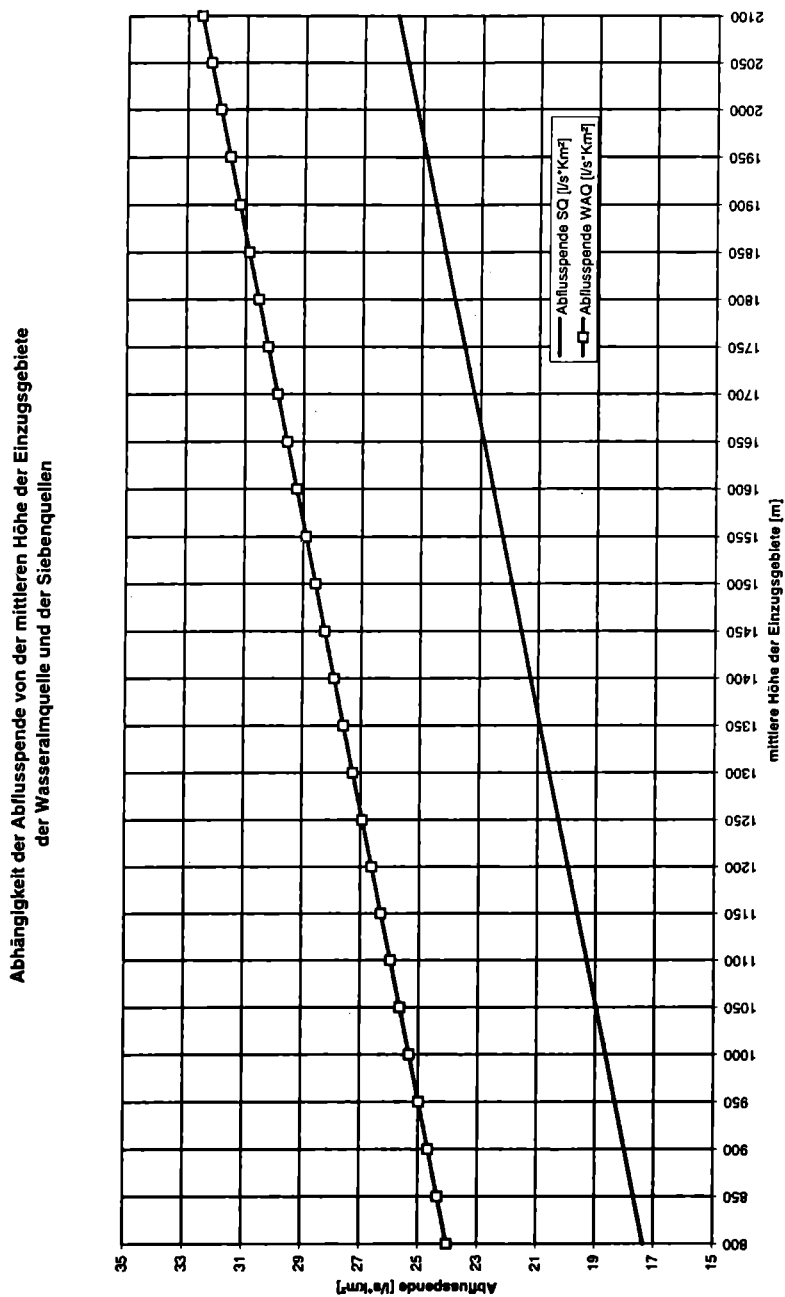


Abb. 18: Abhängigkeit der Abflußspende von der mittleren Einzugsgebietshöhe der Siebenquellen und Wasseralmquelle (berechnet nach ASCHWANDEN, 1985)

Die unterschiedlichen Abflußhöhen im Einzugsgebiet der Siebenquellen und der Wasseralmquelle sind auf die abweichenden Niederschlagshöhen und mittleren Einzugsgebietshöhen zurückzuführen. Insgesamt ergeben sich nach ASCHWANDEN, 1985 jedoch für beide Einzugsgebiete vernünftige Größen, die mit den aufgrund der geologischen Situation vermuteten Einzugsgebietsgrößen annähernd übereinstimmen.

7. UNTERSUCHUNGEN DER WASSERBESCHAFFENHEIT

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Resultate der vorhergegangenen hydrochemisch-hydrophysikalischen Untersuchungen dargestellt und im Hinblick auf die vorliegende Problematik ausgewertet.

Diese Resultate zeigen, daß sich die Wässer des Schneesalpengebietes durch die saisonalen Schwankungen und ihre Gesamthärten im Vergleich mit den Karbonathärten recht gut charakterisieren lassen (Tabelle 1). Die Lage der beobachteten Quellen (1966 bis 1970) im Bereich Neuberg-Altenberg ist aus der Abbildung 19 ersichtlich.

Tab. 1: Schwankungsbereich der Gesamt- und Karbonathärte der 1966-1970 beobachteten Quellen im Bereich Neuberg - Altenberg

Quell Nr	JAHR	GH MAX	GH MIN	KH MAX	KH MIN
4b	1966	10,61/JUL	9,73/AUG	10,37/JUL	9,45/AUG
	1967	11,7/DEZ	9,59/MAI	10,80/DEZ	8,82/APR
	1968	10,86/OKT	9,65/APR	10,63/NOV	9,27/APR
	1969	10,64/JUL	10,01/MAI	10,43/JAN	9,6/JUN
	1970	10,36/OKT	9,59/APR	10,00/NOV	9,1/MAI
5a	1966	10,16/DEZ	9,86/AUG	9,90/MAR	9,48/AUG
	1967	11,07/NOV	9,86/APR	10,8/NOV	9,25/APR
	1968	10,29/JUL	9,86/APR	10,29/JUN	9,46/APR
	1969	10,33/MAR	10,02/MAI	9,87/MAR	9,63/JUN
	1970	10,16/JAN	9,86/MAI	9,87/MAR	9,41/MAI
5b	1966	10,35/JUL	9,79/AUG	10,07/JUL	9,46/AUG
	1967	10,15/NOV	9,59/MAI	9,84/NOV	9,11/JUN
	1968	10,64/OKT	9,76/MAI	10,29/OKT	9,39/MAI
	1969	10,65/MAR	10,08/AUG	10,28/MAR	9,67/JAN
	1970	10,22/APR	9,79/JUN	9,94/APR	9,45/AUG
11a	1966	10,63/OKT	10,08/FEB	10,14/OKT	9,53/AUG
	1967	10,74/AUG	10,14/FEB	10,15/JUL	9,66/APR
	1968	10,39/OKT	10,22/APR	9,87/OKT	9,76/APR
	1969	10,37/JUN	10,18/MAR	10,08/AUG	9,69/MAR
	1970	10,71/OKT	9,79/AUG	10,22/OKT	9,38/MAI
11b	1966	10,46/DEZ	9,74/AUG	10,21/DEZ	9,46/AUG
	1967	10,5/OKT	9,93/APR	10,29/DEZ	10,18/JAN

	1968	10,43/DEZ	10,16/MAI	10,07/DEZ	9,76/APR
	1969	10,46/DEZ	10,08/JUN	10,18/DEZ	9,77/JUN
	1970	10,51/DEZ	9,67/APR	10,16/FEB	9,35/APR
12a	1966	11,33/OKT	10,71/MAR	10,63/DEZ	10,15/MAR
	1967	11,35/MAI	10,75/MAR	10,58/MAI	10,19/MAR
	1968	11,31/JUL	10,79/FEB	10,47/MAI	10,29/MAR
	1969	11,17/DEZ	10,29/NOV	10,64/OKT	9,52/NOV
	1970	11,48/OKT	10,86/APR	10,85/JUN	10,42/APR
12b	1966	11,31/DEZ	10,81/FEB	10,63/DEZ	10,,25/FEB
	1967	11,35/MAI	10,71/MAR	10,58/MAI	10,16/MAR
	1968	11,31/JUL	10,79/FEB	10,47/MAI	10,29/MAR
	1969	11,4/JAN	10,98/MAR	10,65/NOV	10,35/MAR
	1970	11,48/OKT	10,86/APR	10,85/JUN	10,42/APR
13	1966	1,40/JUN	0,63/JUL	1,37/JUN	0,56/JUL
	1967	1,67/JAN	0,92/APR	1,65/JAN	0,83/APR
	1968	1,27/OKT	0,98/APR	1,25/OKT	0,98/APR
	1969	-	-	-	-
	1970	-	-	-	-
14a	1966	10,71/NOV	8,26/FEB	10,33/OKT	7,56/FEB
	1967	10,54/OKT	7,74/MAR	9,91/OKT	7,08/MAR
	1968	11,13/OKT	8,29/APR	10,36/OKT	7,63/APR
	1969	10,53/OKT	8,32/APR	9,77/OKT	7,48/APR
	1970	10,67/OKT	7,90/MAI	9,87/OKT	7,11/MAI
17	1966	3,21/APR	1,99/AUG	3,08/APR	1,92/AUG
	1967	2,37/DEZ	1,74/MAI	2,37/NOV	1,51/APR
	1968	2,37/MAR	1,79/APR	2,24/MAR	1,62/APR
	1969	-	-	-	-
	1970	-	-	-	-
21a	1966	4,48/APR	3,71/NOV	4,26/APR	3,43/OKT
	1967	3,89/APR	3,48/DEZ	3,67/JUL	3,33/JUN
	1968	4,41/AUG	3,67/FEB	4,10/AUG	3,44/MAR
	1969	4,26/JUN	3,77/JAN	3,93/JUN	3,44/JAN
	1970	4,25/AUG	3,78/OKT	4,00/AUG	3,50/OKT
22a	1966	15,96/SEP	14,5/MAI	15,39/SEP	13,62/MAI
	1967	15,62/FEB	14,34/SEP	14,81/MAR	13,29/SEP

	1968	16,38/AUG	14,55/JUN	15,29/AUG	13,69/MAI
	1969	17,29/MAR	14,57/NOV	16,32/MAR	13,65/NOV
	1970	16,11/DEZ	14,63/APR	15,4/SEP	13,8/APR
22b	1966	11,54/DEZ	10,78/FEB	10,25/SEP	9,8/FEB
	1967	11,42/FEB	10,92/JUL	10,21/JAN	9,76/JUL
	1968	11,48/JUL	11,07/APR	10,21/DEZ	9,88/APR
	1969	11,54/JUL	10,81/MAR	10,35/JUL	9,76/MAR
	1970	11,49/NOV	10,56/MAR	10,19/NOV	9,72/MAR
22c	1966	11,17/DEZ	9,74/FEB	10,04/OKT	8,96/FEB
	1967	11,13/MAI	10,19/DEZ	9,95/SEP	9,39/MAR
	1968	11,05/JUL	9,73/AUG	9,74/MAI	8,83/AUG
	1969	11,06/NOV	9,80/MAR	9,94/NOV	8,86/APR
	1970	11,24/OKT	10,07/APR	10,04/OKT	9,07/APR
23	1966	20,05/DEZ	12,46/JUL	13,66/AUG	9,32/JUL
	1967	20,13/DEZ	14,29/MAR	12,61/OKT	10,11/MAI
	1968	19,8/JUL	15,18/MAR	12,46/NOV	10,68/MAR
	1969	-	-	-	-
	1970	-	-	-	-
24	1966	14,41/DEZ	11,42/MAR	12,95/DEZ	10,84/MAR
	1967	13,66/NOV	11,77/APR	12,53/NOV	10,85/APR
	1968	13,92/JUL	11,55/MAR	12,32/NOV	10,86/MAR
	1969	-	-	-	-
	1970	-	-	-	-
26	1966	14,04/OKT	13,05/FEB	9,76/SEP	9,38/FEB
	1967	14,56/APR	13,03/FEB	9,60/APR	9,41/JUL
	1968	13,83/APR	12,05/AUG	9,62/OKT	9,18/AUG
	1969	13,73/JUN	12,71/MAR	9,69/JUL	9,45/MAR
	1970	14,21/JUN	12,88/APR	9,79/JUL	9,49/APR
28	1966	22,61/DEZ	18,86/FEB	11,96/DEZ	11,34/FEB
	1967	22,09/JAN	19,45/JUL	11,91/NOV	11,30/MAR
	1968	21,88/JUL	19,64/JAN	11,83/OKT	11,55/JAN
	1969	23,24/NOV	18,54/MAR	12,03/OKT	11,14/MAR
	1970	23,73/FEB	20,09/AUG	12,03/FEB	9,65/AUG
36a	1966	15,4/NOV	10,88/FEB	14,0/NOV	9,74/FEB
	1967	15,20/SEP	11,38/MAR	13,89/SEP	10,04/MAR

	1968	15,27/OKT	12,00/JAN	13,73/OKT	6,98/JAN
	1969	15,47/OKT	11,66/MAR	14,14/OKT	10,42/MAR
	1970	15,26/OKT	10,99/MAI	14,08/OKT	9,58/APR
39	1966	12,39/JUN	11,9/FEB	11,2/JUN	10,85/FEB
	1967	12,29/JAN	11,76/APR	11,11/OKT	10,5/APR
	1968	12,60/JUL	11,91/APR	11,16/OKT	10,74/APR
	1969	12,73/OKT	12,03/MAR	11,48/OKT	10,77/MAR
	1970	12,40/NOV	11,70/MAI	11,96/SEP	10,47/MAI
40L	1966	14,32/AUG	12,81/JUN	11,2/AUG	10,85/MAR
	1967	14,03/JUL	12,82/JAN	11,06/OKT	10,84/MAI
	1968	13,65/APR	12,80/DEZ	11,06/AUG	10,85/MAI
	1969	13,02/DEZ	12,75/JUN	11,06/OKT	10,92/APR
	1970	14,35/AUG	13,08/MAR	11,11/SEP	10,84/MAI
40m	1966	17,09/JUL	16,39/AUG	12,39/AUG	11,13/MAI
	1967	17,11/FEB	15,96/JUN	11,69/JUL	11,21/MAI
	1968	17,02/DEZ	16,37/APR	11,70/AUG	11,13/MAI
	1969	18,06/DEZ	17,09/JAN	11,27/SEP	11,06/MAI
	1970	18,27/FEB	14,71/JUL	12,07/AUG	11,06/JAN
40R	1966	14,15/JUN	13,52/AUG	11,91/JUL	11,39/FEB
	1967	14,13/FEB	12,36/APR	11,90/FEB	10,91/APR
	1968	14,88/AUG	13,37/APR	12,87/AUG	11,55/APR
	1969	14,84/DEZ	14,07/JUN	12,22/JUL	10,15/SEP
	1970	14,56/JUL	12,74/MAI	12,40/JUL	11,34/AUG
42	1966	15,92/JUL	13,58/MAR	15,3/JUL	12,75/MAR
	1967	16,23/OKT	13,34/MAI	15,60/OKT	12,45/MAI
	1968	16,45/OKT	13,41/MAR	15,76/OKT	12,77/MAR
	1969	16,31/SEP	14,45/APR	15,47/SEP	13,64/APR
	1970	15,97/NOV	13,47/MAI	15,23/JAN	12,22/MAI
50	1966	19,04/JUN	18,06/SEP	8,93/JUN	8,76/OKT
	1967	19,26/FEB	17,71/JUL	8,92/FEB	8,47/SEP
	1968	18,76/DEZ	17,82/APR	8,69/DEZ	8,45/AUG
	1969	19,46/SEP	19,04/FEB	9,01/OKT	8,75/FEB
	1970	19,53/MAR	18,10/SEP	9,10/MAR	8,82/OKT
114a	1966	12,75/NOV	11,16/MAR	12,31/SEP	10,77/MAR
	1967	12,49/AUG	11,55/FEB	11,87/JAN	11,02/MAR

	1968	12,46/NOV	11,38/MAR	11,91/NOV	10,89/MAR
	1969	12,53/SEP	11,54/DEZ	12,11/SEP	10,71/DEZ
	1970	12,49/NOV	11,30/MAI	12,01/NOV	10,72/MAI
114b	1966	14,35/AUG	11,77/MAR	13,33/AUG	10,81/MAR
	1967	14,07/OKT	12,32/FEB	12,80/DEZ	12,47/JAN
	1968	13,87/NOV	12,17/MAR	12,95/NOV	11,30/AUG
	1969	13,90/SEP	12,60/DEZ	12,99/SEP	11,41/DEZ
	1970	13,99/NOV	12,39/APR	12,88/OKT	11,34/MAI
114c	1966	27,24/OKT	21,67/FEB	14,31/NOV	12,05/FEB
	1967	26,34/AUG	21,39/MAR	15,70/OKT	11,89/MAR
	1968	26,11/MAI	21,00/AUG	14,45/OKT	12,26/MAR
	1969	28,98/OKT	20,16/MAR	14,07/NOV	11,70/MAR
	1970	28,07/OKT	20,19/AUG	13,83/NOV	11,66/APR
115a	1966	6,76/JUN	3,79/JUL	6,47/DEZ	2,73/FEB
	1967	6,86/NOV	4,12/MAR	6,61/NOV	3,28/FEB
	1968	7,74/DEZ	4,83/FEB	7,21/DEZ	4,13/FEB
	1969	6,83/OKT	4,47/MAR	6,57/OKT	3,40/MAR
	1970	6,64/OKT	4,48/MAI	6,29/OKT	3,65/MAI
115b	1966	14,22/SEP	12,42/FEB	13,64/SEP	11,84/FEB
	1967	14,0/OKT	11,9/MAR	13,37/OKT	11,12/OKT
	1968	14,27/AUG	12,11/JUL	13,37/AUG	11,55/MAR
	1969	14,0/SEP	12,73/JAN	13,37/SEP	11,49/JAN
	1970	14,28/SEP	12,25/APR	13,38/SEP	11,33/APR
117	1966	14,14/OKT	11,96/MAR	13,37/OKT	11,20/MAR
	1967	15,71/OKT	11,83/MAR	14,84/OKT	10,91/MAR
	1968	14,77/JUL	11,98/MAR	13,29/OKT	11,10/MAR
	1969	14,76/OKT	12,67/APR	13,86/OKT	11,66/APR
	1970	14,35/OKT	11,86/APR	13,43/OKT	10,92/APR
118	1966	16,65/SEP	13,07/MAR	16,13/SEP	12,56/MAR
	1967	18,9/OKT	13,66/APR	18,42/OKT	12,88/APR
	1968	16,48/SEP	13,68/MAR	15,82/SEP	13,09/MAR
	1969	16,59/JUL	14,50/MAR	15,68/JUL	13,33/MAR
	1970	16,24/SEP	13,82/MAI	15,33/SEP	12,67/MAI
124	1966	7,48/DEZ	7,03/MAI	7,06/DEZ	6,39/MAI
	1967	7,57/JAN	6,75/JUN	7,11/JAN	6,36/JUN

1968	7,49/OKT	7,06/APR	7,00/OKT	6,59/APR
1969	7,60/JAN	7,20/MAI	7,08/OKT	6,79/MAI
1970	7,39/DEZ	6,92/JUL	6,83/DEZ	6,48/JUL

Im Zusammenhang mit den bereits aufgrund des geologischen Baues vermuteten Einzugsgebieten können die Quellen folgenden Typen zugeteilt werden:

Typ 1: Die Einzugsgebiete der Quellen 13, 17 und 21 befinden sich in der Grauwackenzone und zeigen aufgrund der relativ geringen Löslichkeit des Gesteinsbestandes einen geringen Mineralisierungsgrad (Gesamthärte von 1,67 bis 6 °dH).

Typ 2: Die zu diesem Typ zusammengefaßten Quellen 11,12 werden im Gegensatz zu allen anderen betrachteten Quellen vorwiegend aus der Grauwackenzone auflagerndem, polymikt zusammengesetztem Moränenmaterial gespeist. Sie weisen daher eine gegenüber der Quelle 21 größere Gesamthärte (10-11 °dH) auf, die mit den Karstwässern des Typs 3 vergleichbar ist.

Typ 3: Ihm können mit Vorbehalt alle verbleibenden Wasseraustritte des Schneesalpenstockes zugeordnet werden.

Ein Großteil dieser Quellen zeichnet sich durch Gesamthärten im Bereich von 7-15 °dH aus. Erhöhte Gesamthärten (16-29 °dH) im Vergleich mit den Karbonathärten (12-15 °dH) sind bei Wasseraustritten im Quellgebiet Schlapfen NW Neuberg nachweisbar. Sie sind durch den Kontakt der Wässer mit den hier im Untergrund anzutreffenden Gipsen und Haselgebirge erklärbar.

Im allgemeinen treten die niedrigsten Härtewerte bei allen Quellen während der durch die Schneeschmelze bedingten Spitzenschüttungen auf. Die Höchstwerte werden im Spätherbst und Winter erreicht.

Durch den Einfluß der Schneeschmelze oder von Niederschlagsereignissen ist der Temperaturverlauf der Quellen zu ihrer Schüttung invers proportional (Abb. 20, 21, 22).

Die Wasseralmquelle zeigt sowohl in der Schüttung als auch im Chemismus (Gesamthärte) einen ausgeglichenen Verlauf. Der Einfluß der Schneeschmelze auf die Gesamthärte ist im Vergleich mit den Siebenquellen bedeutend geringer.

Bei den Siebenquellen werden bei Einsatz der Schneeschmelze und ergiebigen Niederschlägen die kapillarförmigen Karstgefüge und -schläuche rasch ausgefüllt. Durch diesen Vorgang werden die alten Wässer, auch die Restwässer, die am Rande des Karststockes vorhanden sind, reaktiviert.

Wie erwartet, treten sowohl bei den Siebenquellen als auch der Wasseralmquelle saisonale Schwankungen der Wasserhärten auf. Die Höchstwerte der Gesamthärte werden bei beiden Quellen in den Wintermonaten erreicht. Zur Zeit der Schneeschmelze und während bedeutender Sommerniederschläge erfolgt eine markante Verdünnung des Quellwassers, wobei die Siebenquellen eine stärkere Beeinflussung der Härte ihres Quellwassers als die Wasseralmquelle zeigt. Diese Unterschiede sind auf die verschieden zusammengesetzten Einzugsgebiete der Quellen und ihrer in diesem Zusammenhang starken (Siebenquellen) oder ausgeglichenen (Wasseralmquelle) Reaktion der Quellschüttung auf Niederschlagsereignisse zurückzuführen (Abb. 20, 21, 23).

LAGE DER BEOBACHTETEN QUELLEN IM BEREICH NEUBERG-ALTENBERG

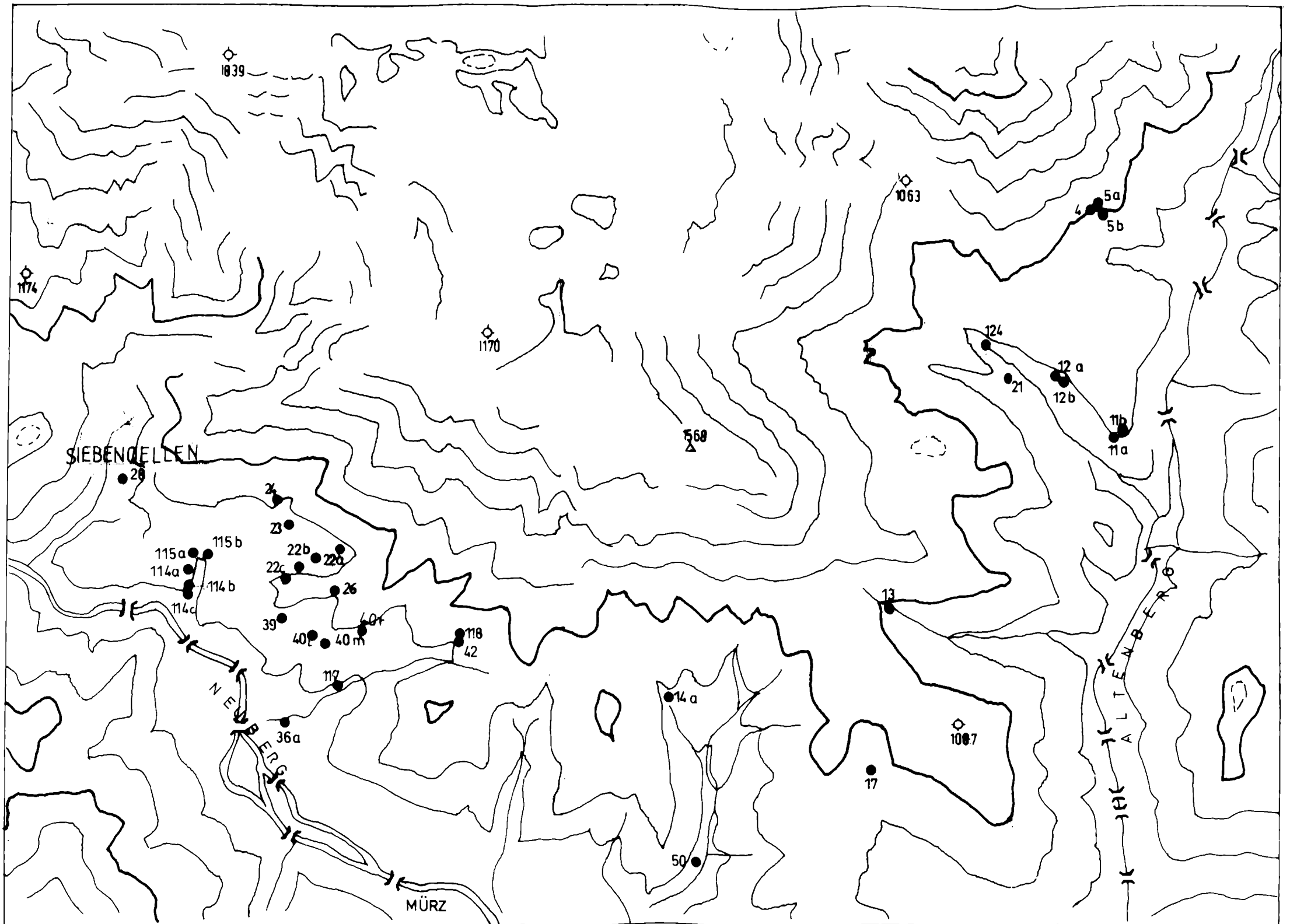
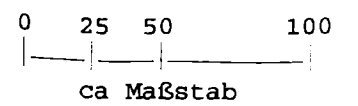


Abb. 19: Lage der beobachteten Quellen im Bereich Neuberg-Altendorf

- = Quelle
- R = Rechts
- L = Links
- m = Mitte



Siebenquellen und Wasseralmquelle

Schüttung und Gesamthärte 01.10.80-31.03.82

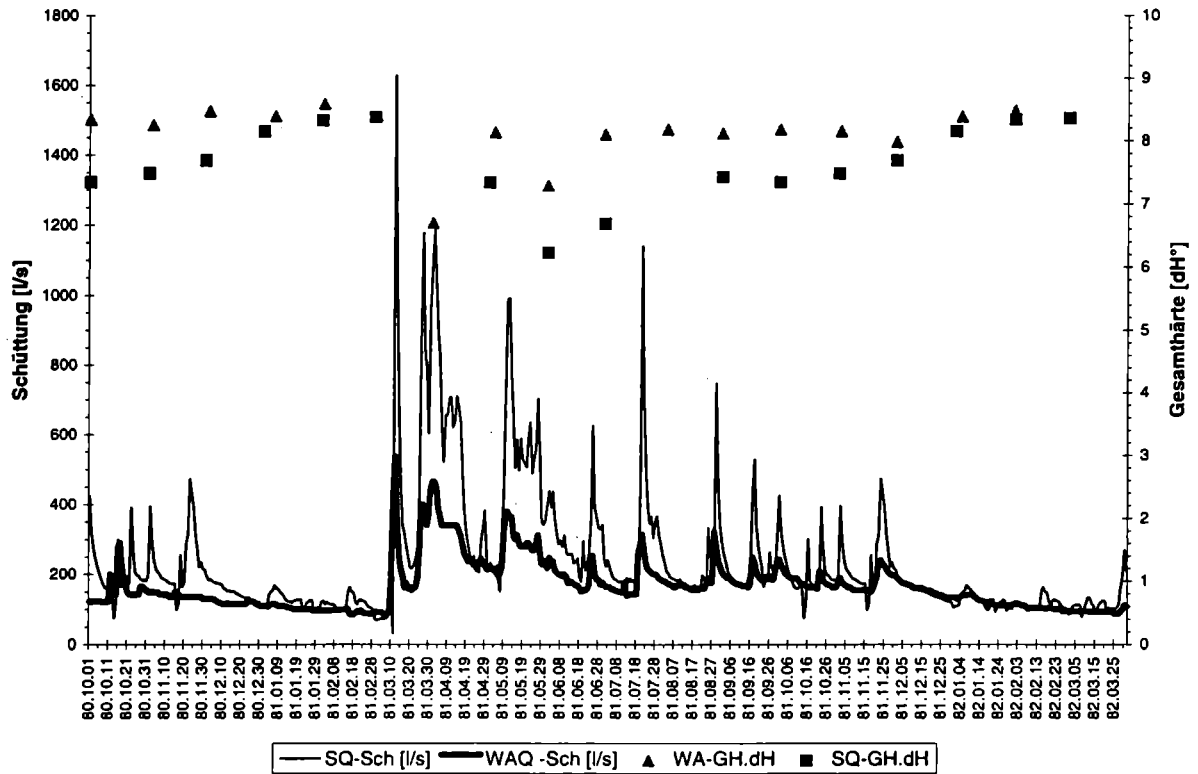


Abb. 20: Vergleich Schüttung und Gesamthärte der Siebenquellen und der Wasseralmquelle. Die Wasseralmquelle zeigt sowohl in der Schüttung als auch im Chemismus (Gesamthärte) einen ausgeglichenen Verlauf. Der Einfluß der Schneeschmelze auf die Gesamthärte ist im Vergleich mit den Siebenquellen bedeutend geringer.

Station Karigraben

01.10.1980-31.03.1982

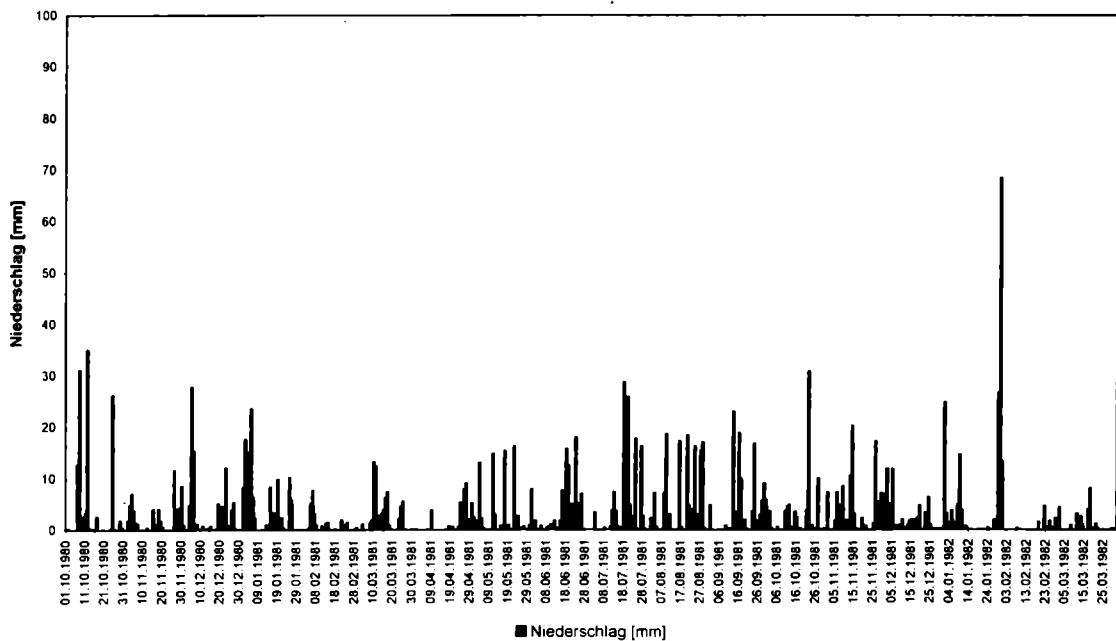


Abb. 21: Station Karigraben: Niederschlagshöhen von Oktober 1980 bis März 1982

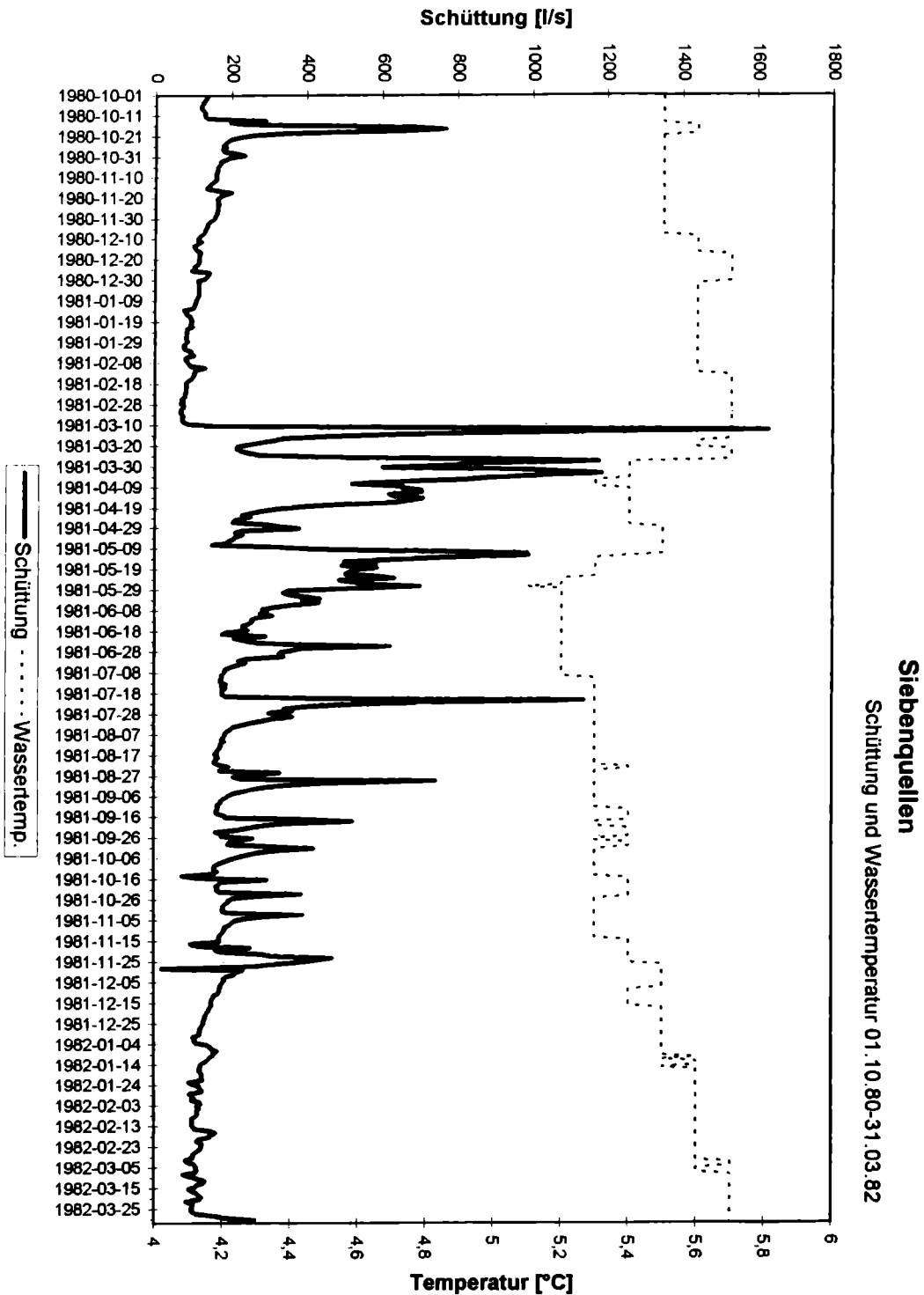


Abb. 22: Vergleich Schüttung und Wassertemperatur der Siebenquellen. Durch den Einfluß der Schneeschmelze oder der Niederschlagsereignisse ist die Temperatur der Siebenquellen invers proportional zur Schüttung.

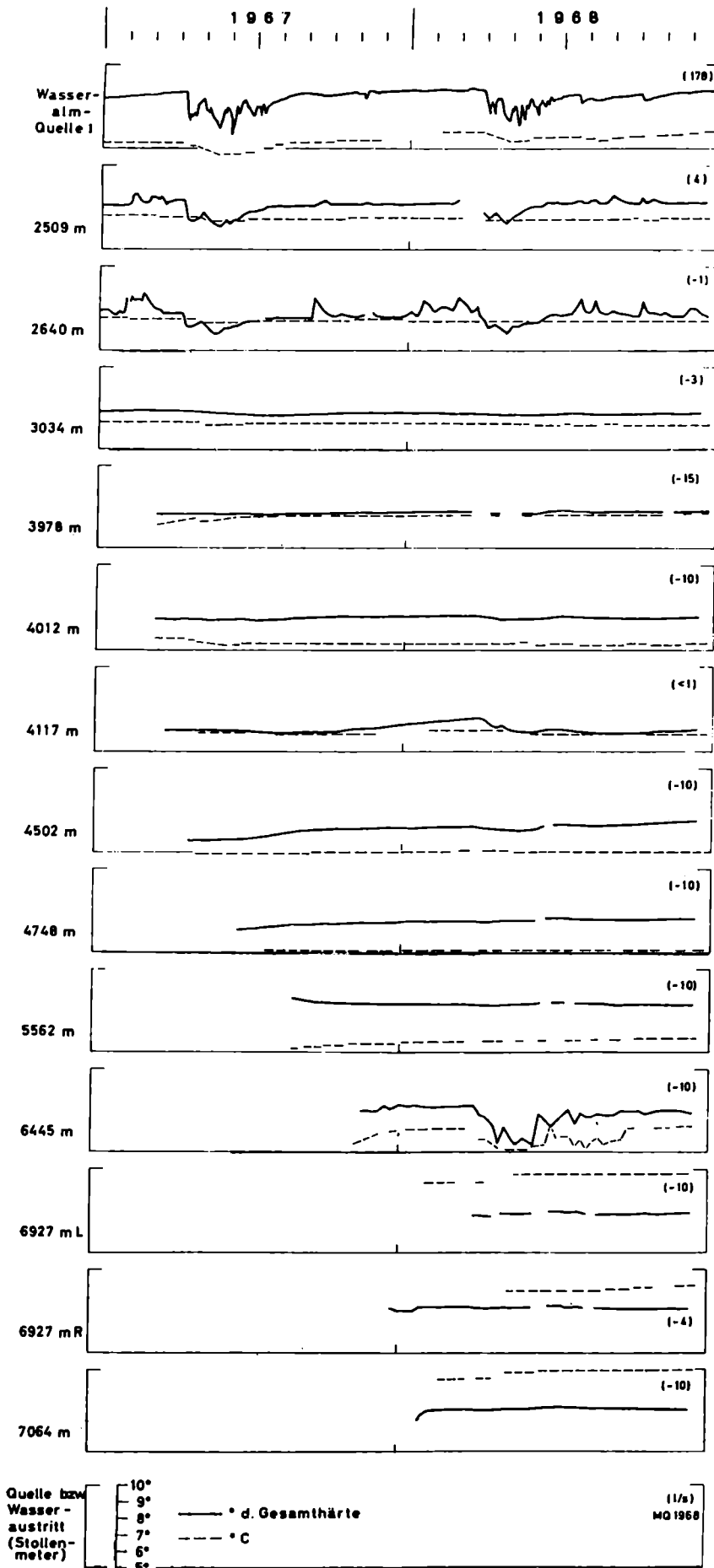


Abb. 23: Ganglinien von Wassertemperatur und Gesamthärte der Wasseralmquelle I und einiger Wasseraustritte im Schneealpenstollen-Nordtrum. Für jeden Austritt sind rechts die Durchschnittschüttungen 1968 in l/s angegeben. Der Vergleich der Ganglinien der Wasseralmquelle mit den Ganglinien der Wasseraustritte im Stollen zeigt deutlich die unterschiedlich starke Beeinflussung der Stollenwasseraustritte durch die Frühjahrsschneeschmelze (BAUER, 1969)

7.1 UNTERSUCHUNGEN ZU EREIGNISSEN (SCHNEESCHMELZE, REGEN)

7.1.1 Beobachtungen zur Schneeschmelze 1994

Auf der Grundlage der hervorragenden Reihenuntersuchungen der hydrochemisch-hydrophysikalischen Parameter sowie Isotopenbestimmungen von BAUER wurden im Mai 1994 bei den Siebenquellen (06.05.94 - 09.05.94) und der Wasseralmquelle (10.05.94 - 13.05.94) automatische Probennahmegeräte eingerichtet um die Veränderung des Quellchemismus während der Schneeschmelze zu erfassen. Aufgrund technischer Schwierigkeiten war die zeitgleiche Beprobung beider Quellen leider nicht möglich.

Die Durchführung der Beprobungen sowie die Analyse (Hydrochemie, Hydrophysik und Isotopen) der einzelnen Ereignisse wurde nach zahlreichen Besprechungen im März und April 1994 mit den Wiener Wasserwerken in Wien und Hirschwang, dem Arsenal und Analytik III des Umweltbundesamtes organisiert. Da stündliche Beprobungen nur mit automatischen Probenahmegeräten durchgeführt werden konnten, wurden die im Umweltbundesamt verfügbaren automatischen Probenahmegeräte bei der Siebenquelle im Blindstollen und bei der Wasseralmquelle im Quellfassungshaus installiert. Die Kontrolle sowie der Austausch (24 Stunden) der Flaschen erfolgte durch Organe der Wiener Wasserwerke. Die ursprünglich eingesetzten Geräte des Umweltbundesamtes wurden durch Nässe und Kälte am Aufstellungsort in Mitleidenschaft gezogen und fielen schließlich aus, sodaß sie durch ein Gerät des Arsenal der Type Isco 900 ersetzt werden mußten. Dadurch war es nicht möglich, an beiden Meßstellen die Messungen zum selben Termin durchzuführen.

Die Methodenübersicht, Geräteübersicht sowie Bestimmungs- (BG) und Nachweisgrenzen (NG) der hydrochemischen und -physikalischen Parameter (Chlorid, Nitrat, Sulfat, Natrium, Kalium, Kalzium, Gesamthärte, Karbonathärte, pH, Leitfähigkeit) sind aus Tafel 1 und 2 ersichtlich.

Tafel 1: Methoden- und Geräteübersicht

METHODENÜBERSICHT:

Chlorid:	ionenchromatographisch nach ÖNORM M6283
Nitrat:	ionenchromatographisch nach ÖNORM M6283
Sulfat:	ionenchromatographisch nach ÖNORM M6283
Natrium:	ionenchromatographisch nach EPA Methode 300.7
Kalium:	ionenchromatographisch nach EPA Methode 300.7
Kalzium:	ionenchromatographisch nach EPA Methode 300.7
Magnesium:	ionenchromatographisch nach EPA Methode 300.7
Gesamthärte:	Die Gesamthärte wurde aus den Kalzium- und Magnesiumkonzentrationen errechnet.
Karbonathärte:	Potentiometrisch Titration in Anlehnung an DIN 38409
pH-Wert:	nach DIN 38404
Leitfähigkeit:	nach ÖNORM M6241

GERÄTEÜBERSICHT:

Chlorid:	Dionex Ionenchromatographiesystem DX300
Nitrat:	Dionex Ionenchromatographiesystem DX300
Sulfat:	Dionex Ionenchromatographiesystem DX300
Natrium:	Dionex Ionenchromatographiesystem DX300
Kalium:	Dionex Ionenchromatographiesystem DX300
Kalzium:	Dionex Ionenchromatographiesystem DX300
Magnesium:	Dionex Ionenchromatographiesystem DX300
Karbonathärte:	Autotitrator Mettler DL70
pH-Wert:	pH-Meter WTW pH530
Leitfähigkeit:	Leitfähigkeitsmeßgerät WTW LF91

Tafel 2: Bestimmungs- (BG) und Nachweisgrenzen (NG)

	BG	NG
	mg/l	mg/l
Chlorid:	0,1	0,05
Nitrat:	0,1	0,05
Sulfat:	0,1	0,05
Natrium:	0,1	0,05
Kalium:	0,1	0,05
Kalzium:	10,0	1,0
Magnesium:	1	0,5

Die umfangreichen Analysenergebnisse zu den einzelnen Quellen sind auf Datenträgern festgehalten und sind im Umweltbundesamt archiviert.

In den folgenden Abbildungen 24,25,26,28,29,30 sind die jeweiligen Zweistundenwerte von Mg, Ca und der SO_4 -Konzentration sowie der Leitfähigkeit der Wässer der Wasserarmquelle und der Siebenquellen aufgetragen.

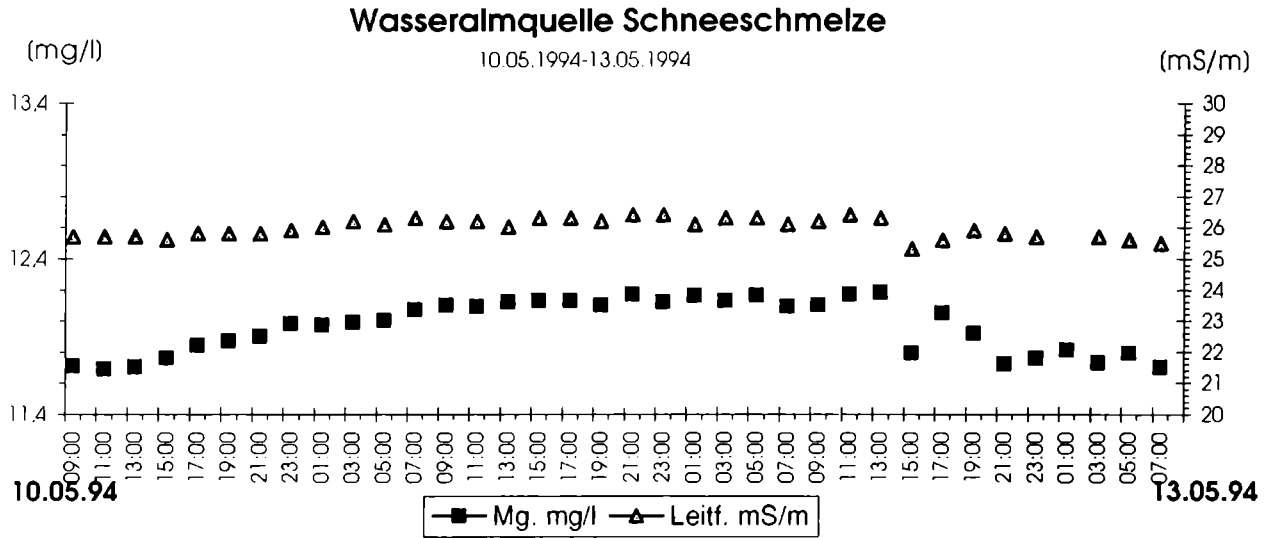


Abb. 24: Wasseralmquelle: Vergleich Magnesiumgehalt und Leitfähigkeit bei der Schneeschmelze

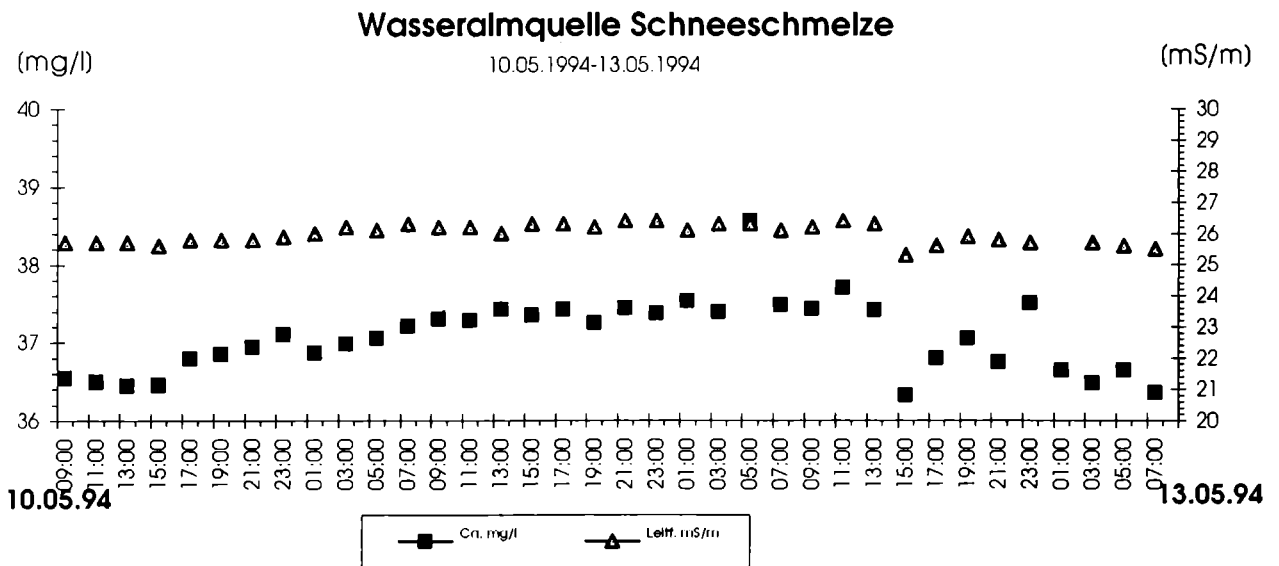


Abb. 25: Wasseralmquelle: Vergleich Calciumgehalt und Leitfähigkeit bei der Schneeschmelze

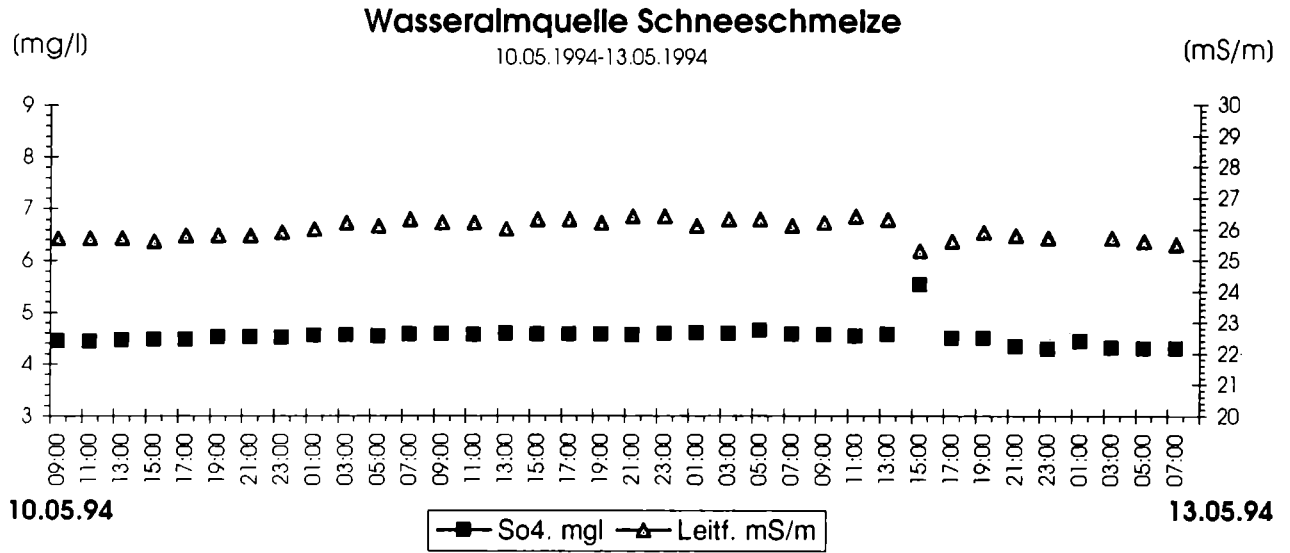


Abb. 26: Wasseralmquelle: Vergleich Sulfatkonzentration und Leitfähigkeit bei der Schneeschmelze

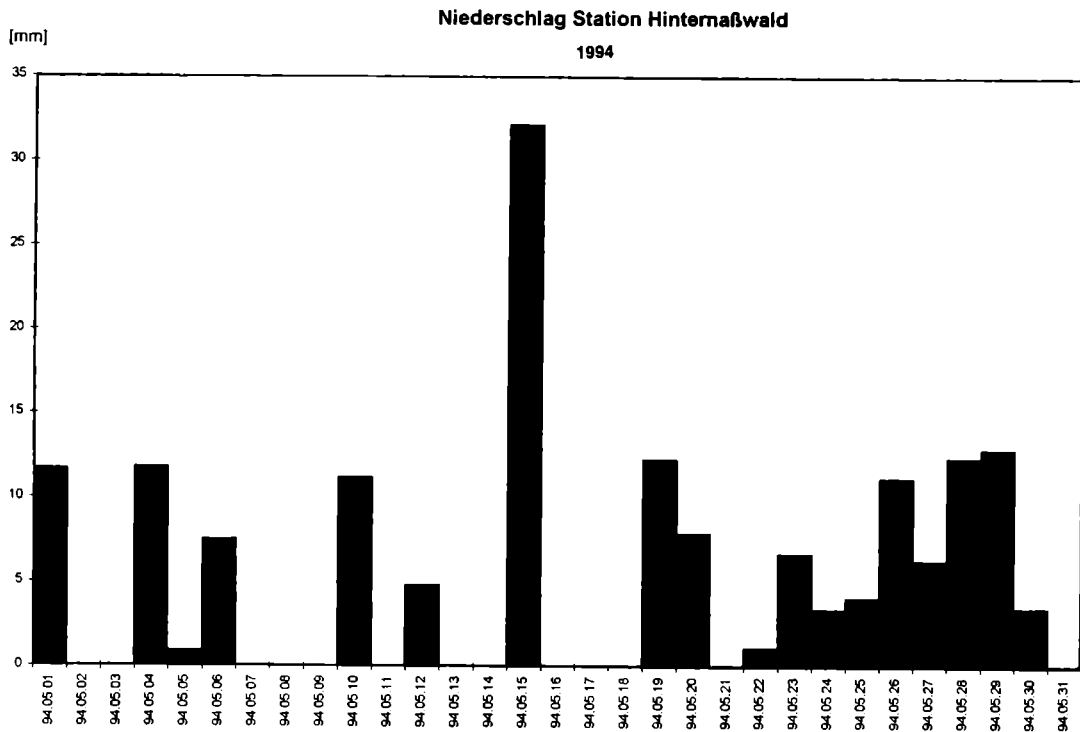


Abb. 27: Niederschlagshöhe bei der Station Hinternaßwald

Die Wasseralmquelle zeigt über den größten Teil des Beobachtungszeitraumes einen zur Schüttung invers proportionalen Anstieg des Lösungsinhaltes. Die relativ starken Schwankungen, beginnend am 12.05.94 um 14h sind möglicherweise sowohl auf den Einfluß eines Regenereignisses (10.05.94 - 11,2 mm Tagesniederschlag, Abb. 27) als auch auf den verstärkten Zufluß von Schmelzwasser (Spitzenwert der Lufttemperatur am 09.05.94 14h - 17,7°C) zurückzuführen.

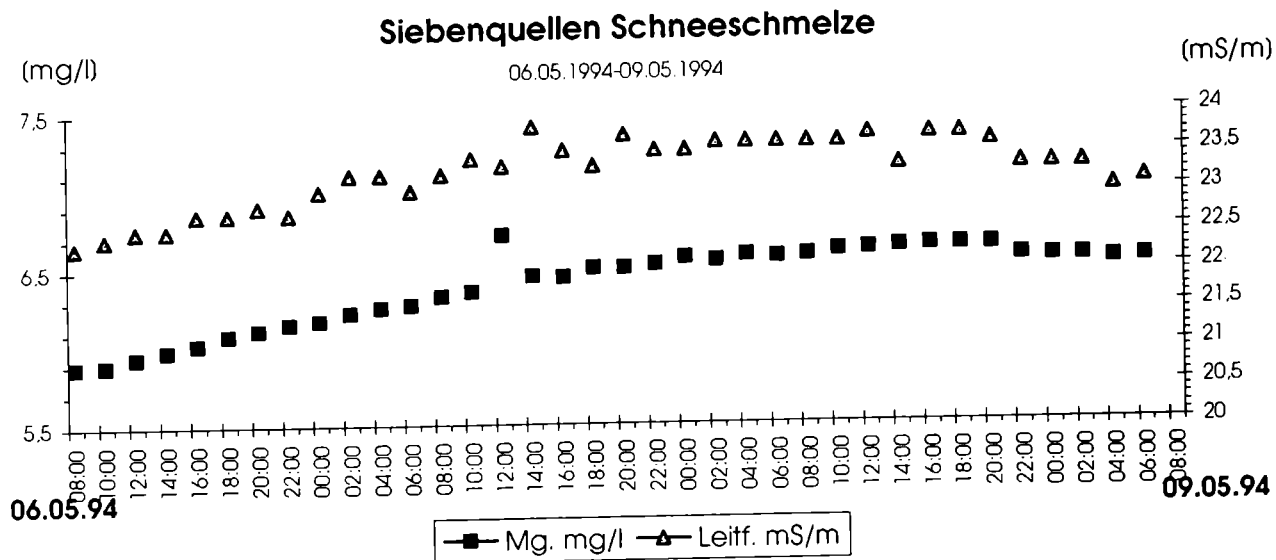


Abb. 28: Siebenquellen: Vergleich Magnesiumgehalt und Leitfähigkeit bei der Schneeschmelze

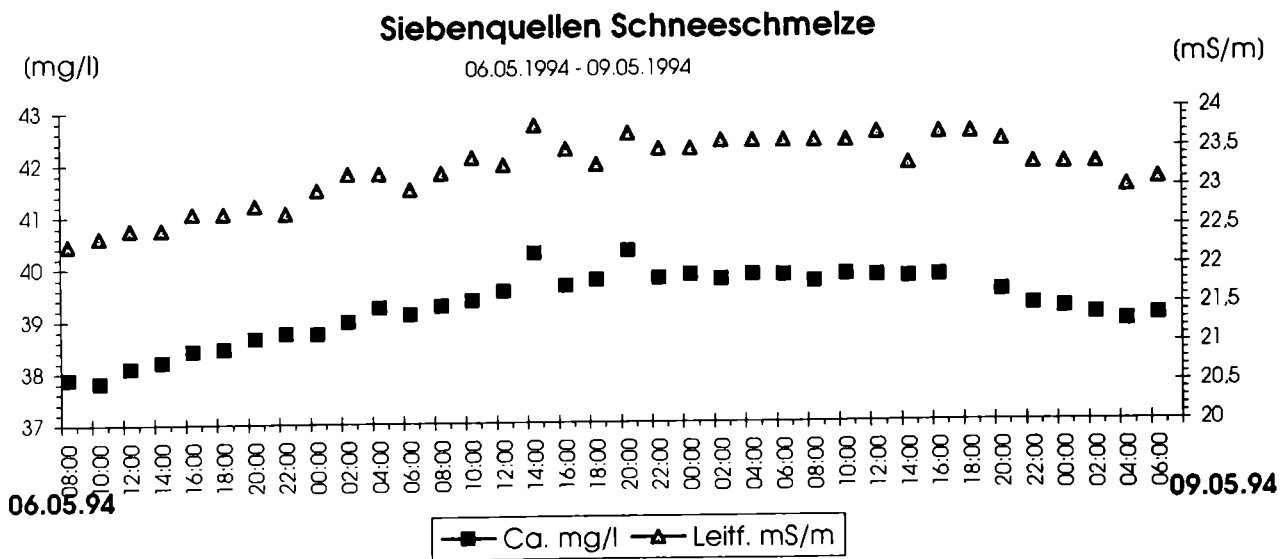


Abb. 29: Siebenquellen: Vergleich Calciumgehalt und Leitfähigkeit bei der Schneeschmelze

Im Untersuchungszeitraum nimmt auch bei den Siebenquellen erwartungsgemäß die Leitfähigkeit mit abnehmender Schüttung zu. Aufgrund der in dieser Zeit zu niedrigen und ausgeglichenen Lufttemperatur konnten bei den Siebenquellen keine eindeutigen Tagesschwankungen festgestellt werden (Abb. 28,29 und 30). Der Pegelstand der Siebenquellen ist aus der Abbildung 31 ersichtlich.

7.1.2 Untersuchung eines Regenereignisses im Sommer 1994

Nach der versuchten Erfassung der Quellparameter zur Zeit der Schneeschmelze wurde im August des selben Jahres ein weiterer Feldversuch zum Verhalten der Siebenquellen während eines Niederschlagsereignisses durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde wiederum ein automatischer Probensammler bei den Siebenquellen (Stollen - Station 842) installiert. Die Beprobung des Quellwassers wurde in Stundenintervallen durchgeführt.

Zur Beprobung des Niederschlagswassers wurde auf dem Schneealpenplateau in unmittelbarer Nähe der dortigen Wetterstation ein eigens konstruierter Niederschlagssammler aufgestellt. Der Sammler wurde vor jedem Niederschlagsereignis gereinigt und die Beprobung in Halbstundenintervallen händisch durchgeführt.

Als Probennahmegerät zur Bestimmung der Niederschlagsmengen und Gewinnung der Isotopenproben wurde ein Kunststofftrichter mit einer Auffangfläche von 314 cm² verwendet. Dieser wurde auf einem Pfahl in einer Höhe von 1.5 m (GOK.) über dem Boden befestigt. Als Probenbehälter wurden wiederum 0.5 l Kunststoffflaschen verwendet, die direkt in den Trichterhals eingeschraubt werden konnten. Dies erlaubte einen raschen Flaschenwechsel ohne wesentlichen Probenverlust.

Zur Gewinnung der Proben für die Niederschlagschemie wurde ein Blechtrichter mit 80 cm Durchmesser verwendet, der zur Verhinderung von Kontamination des Probenwassers durch vom Trichter gelöste Metallionen mit einer Kunststoffhaut überzogen worden war.

Zusätzlich wurde ein Kunststoffkübel mit einer lichten Weite von 25,3 cm als Auffanggefäß eingesetzt.

Beide Gefäße wurden in geringer Höhe über dem Boden befestigt. Die während des ersten Niederschlagsereignisses aufgetretenen starken Sturmböen führten jedoch zum Ausfall der Sammeleinrichtung mit Metalltrichter.

Alle Auffanggeräte wurden während des Beobachtungszeitraumes und unmittelbar vor dem Niederschlagsereignis mit destilliertem Wasser gereinigt.

Durchführung der Beprobungen

a.: Isotopenproben - Niederschlagsmengen.:

Mit Einsetzen des Niederschlages wurden in halbstündigen Intervallen Proben gezogen. Waren die Niederschlagsmengen in diesem Beobachtungszeitraum zu gering (wenige ml im Auffanggefäß) oder eine Niederschlagspause eingetreten, wurde mit dem Flaschenwechsel bis zum erneut verstärkten Einsetzen der Niederschlagstätigkeit zugewartet. Die Zeitpunkte des Flaschenwechsels wurden auf den Behältern notiert.

b.: Niederschlagschemie

Während des ersten Niederschlagsereignisses (17.08-18.08 94) wurde versucht, die Zusammensetzung des Niederschlages innerhalb der ersten 10 Minuten zu erfassen. Die Proben wurden nach diesem Zeitraum aus dem Sammler entnommen.

Dieselbe Vorgangsweise war beim zweiten Niederschlagsereignis (22.08-23.08 94) aufgrund der geringen Niederschlagsmenge und in Ermangelung eines besseren Auffanggefäßes nicht mehr möglich. Es wurde daher eine Sammelprobe des gesamten Niederschlages gezogen. Als Auffanggefäß wurde der bereits beschriebene Kunststoffkübel verwendet.

Die Wasserproben wurden mit dem Wagen in das Umweltbundesamt transportiert, die 1-Liter-Flaschen wurden protokolliert, zum Zweck der Isotopenanalyse in 50-ml-Flaschen umgefüllt und ins Arsenal gesendet. Die Wasserprobenreste wurden ins Labor Analytik III des Umweltbundesamtes zur Analyse übermittelt.

Die Ergebnisse der Isotopen O-18 und H-3 werden im Kapitel 7.2 ausführlich behandelt.

In den folgenden Abbildungen werden jeweils die wesentlichen Kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+}) und Anionen (SO_4^{2-}) der Leitfähigkeit gegenübergestellt und diese mit den Quellparametern (Menge, Druck) sowie dem Niederschlag verglichen.

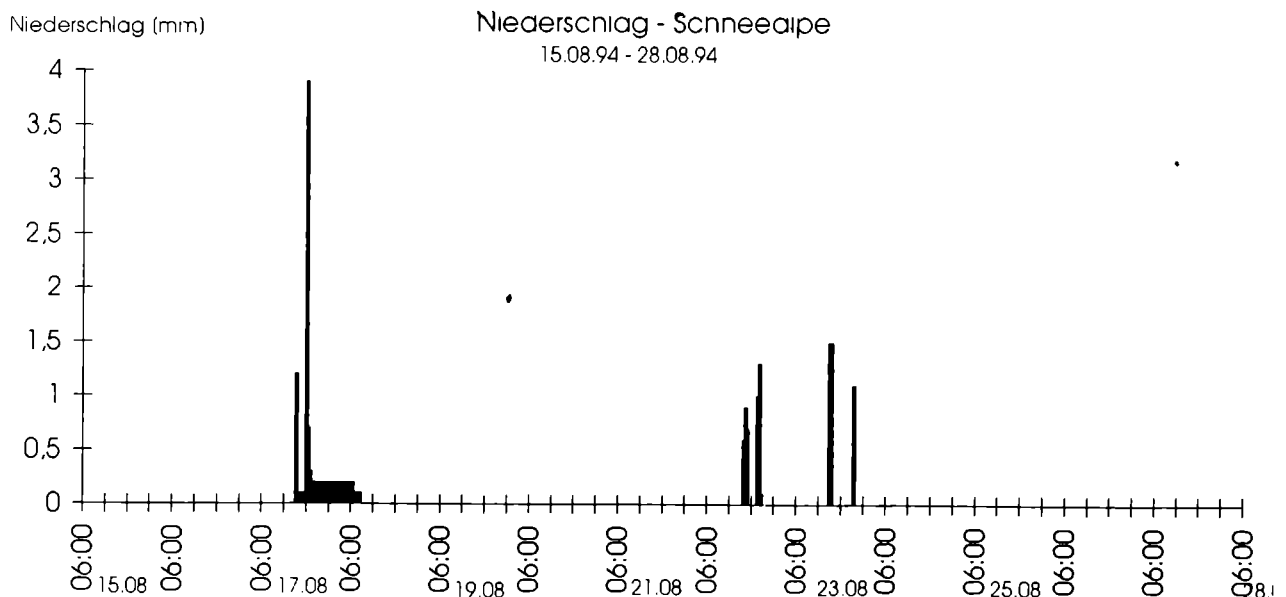


Abb. 32: Niederschlagshöhe auf dem Schneealpenplateau in unmittelbarer Nähe der dortigen Wetterstation.

Nach einer länger dauernden extremen Trockenperiode mit hohen Tagestemperaturen erfolgte am 17.08.94 von 15²¹ h bis 18⁴⁵ h der erste Niederschlag mit einer Gesamtmenge von 34 [mm] (s. Abb 32). Obwohl diese Regenmenge als gering zu bezeichnen ist, war doch bereits am 18.08.94 um 2 h ein erster Schüttungsanstieg der Siebenquellen spürbar (Abb. 33).

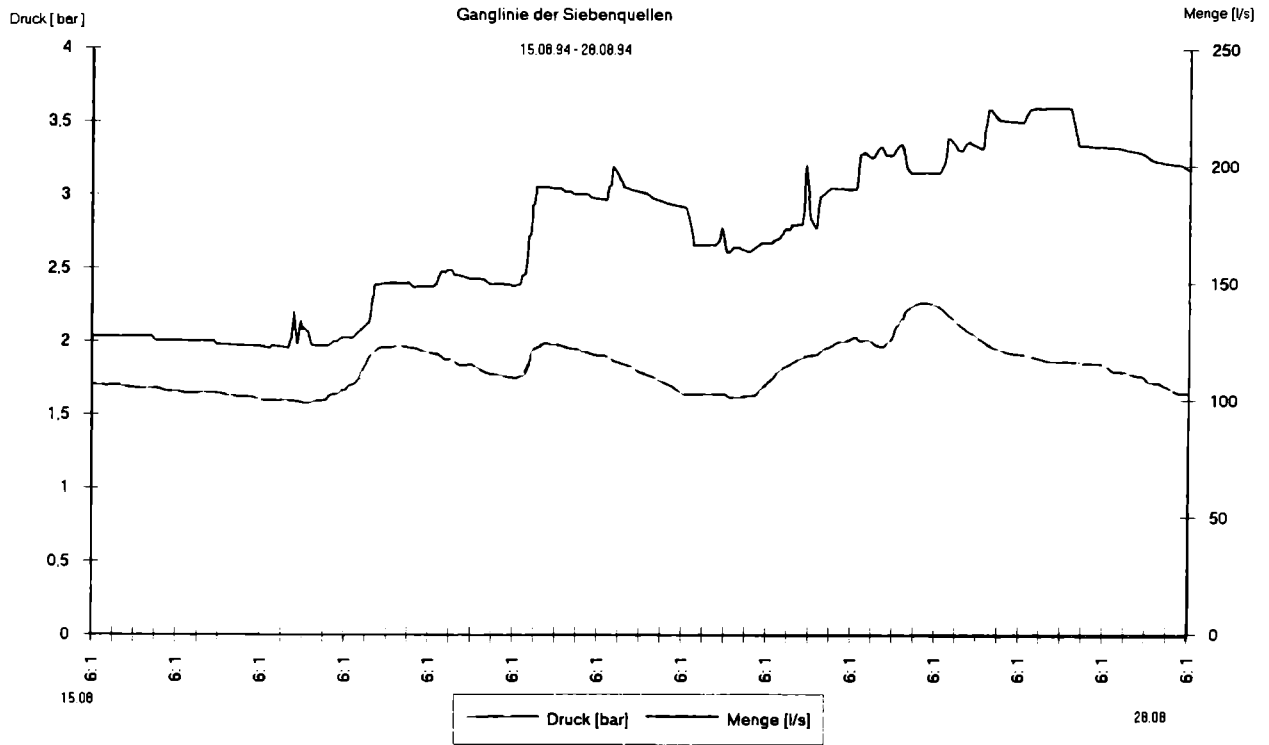


Abb. 33: Ganglinie der Siebenquellen

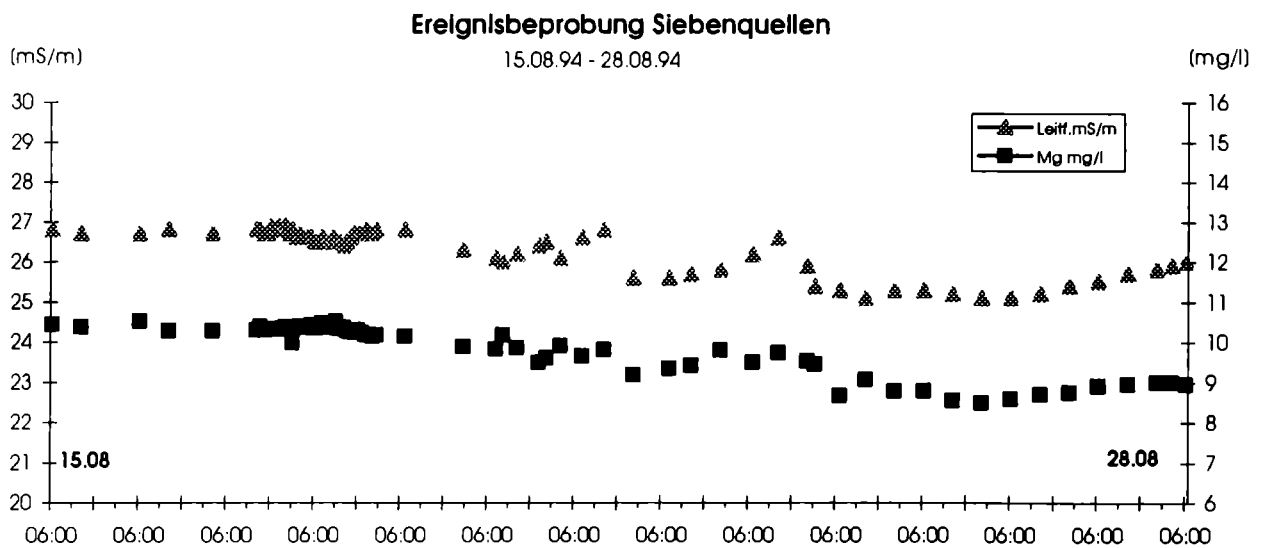


Abb. 34: Siebenquellen: Vergleich Magnesiumgehalt und Leitfähigkeit bei einem Regenereignis

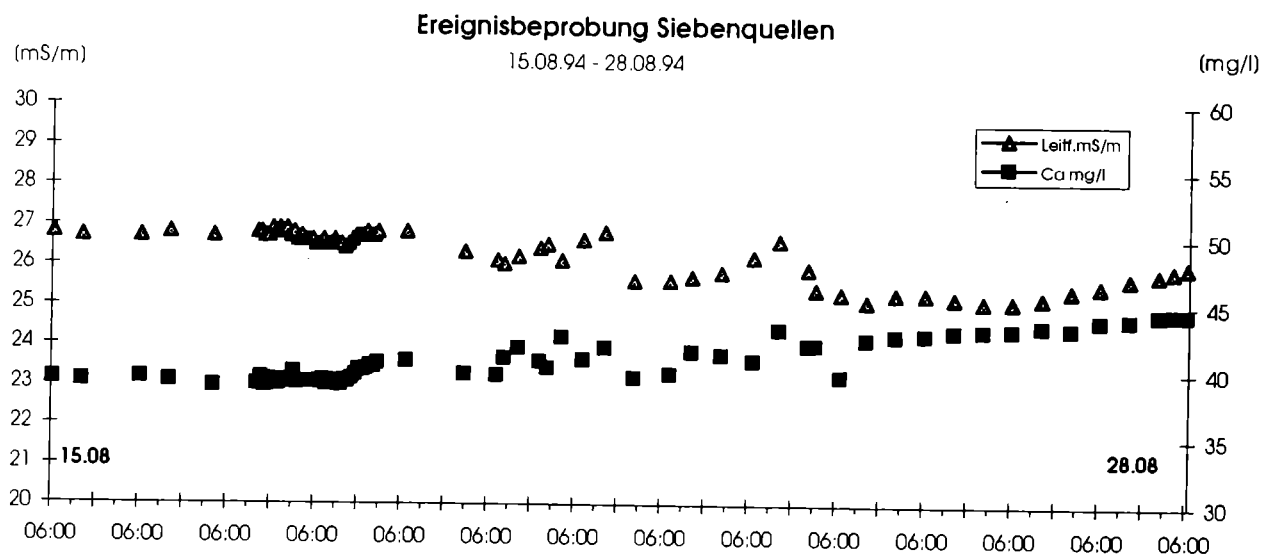


Abb. 35: Siebenquellen: Vergleich Calciumgehalt und Leitfähigkeit bei einem Regenereignis

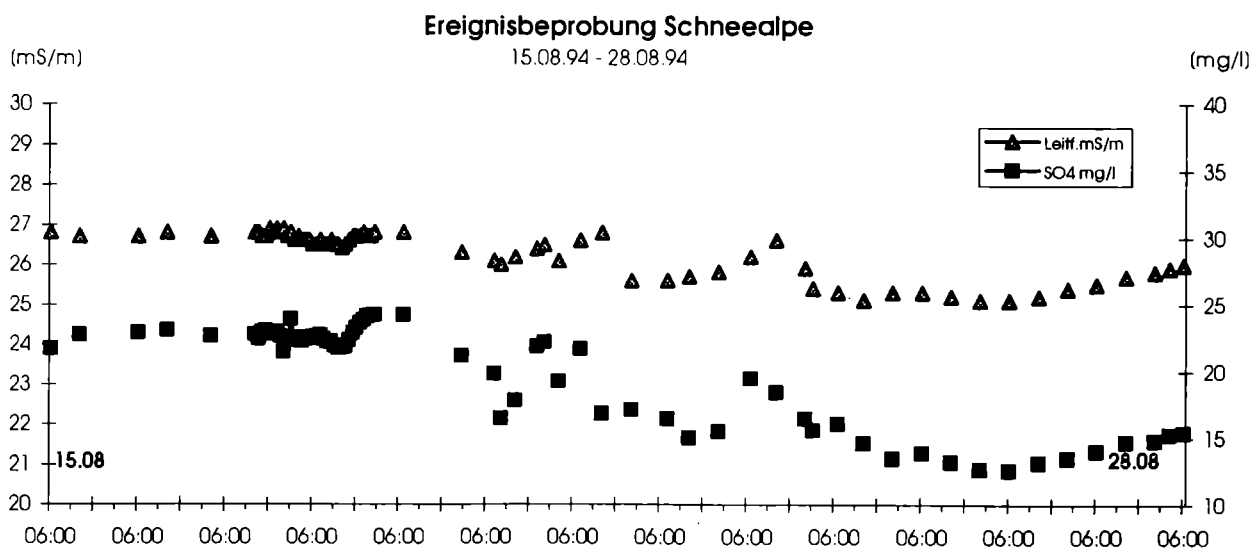


Abb. 36: Siebenquellen: Vergleich Sulfatkonzentration und Leitfähigkeit bei einem Regenereignis

Gleichzeitig mit dem Ansteigen der Quellschüttung war eine Zunahme der SO_4^{2-} und Ca^{2+} Ionen festzustellen. Der Gehalt an Mg^{2+} verringerte sich hingegen geringfügig. Nach BAUER (1969) und GATTINGER (1973) wird zu diesem Zeitpunkt möglicherweise Wasser aus der Randzone des Einzugsgebietes der Siebenquellen reaktiviert.

Nach weiteren 54 Stunden folgte auf den ersten ein weiterer in seinem Ausmaß vergleichbarer Schüttungsanstieg. Dieser brachte wiederum einen Anstieg der SO_4^{2-} und der Ca^{2+} Ionen mit sich. Der Mg^{2+} Gehalt zeigt im Rahmen der Meßgenauigkeit während dieser Phase mehrfache, aber geringe Schwankungen.

Die Steigerung der Schüttung am 23.08.94 um 3 h Uhr steht möglicherweise mit Niederschlagsereignissen am 22.08.94 15⁵¹h-17²¹h 6,6[mm] 19⁴⁰h-21¹⁰h 7,2[mm] und am 23.08.94 15h-15⁵⁰h 9,0[mm] 21³⁰h-21⁵⁰h 3,3[mm] in Zusammenhang.

Die mehrfachen Schwankungen der Quellschüttung und der gelösten Stoffe könnten auf den unterschiedlichen geotektonischen Bau (Deckenbau) des Einzugsgebietes der Siebenquellen zurückzuführen sein.

7.2 ISOTOPENHYDROLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN IM KARSTMASSIV DER SCHNEEALPE (VON D. RANK)

7.2.1 Zur Anwendung von Isotopenmessungen

Die Isotopenverhältnisse mit ihren örtlichen und zeitlichen Schwankungen bedeuten eine weltweite Markierung der Wässer des natürlichen Kreislaufes. Die Isotopenzusammensetzung in Grund- und Oberflächenwässern ist durch die Werte der Niederschläge in ihren Einzugsgebieten und deren Modifikation durch Mischungsvorgänge und Isotopenfraktionierung - bei ^3H auch durch den radioaktiven Zerfall - auf dem Weg des Wassers vom Einzugsgebiet bis zur Meßstelle gegeben. Die Isotopenverhältnisse werden dabei vom durchflossenen Material im allgemeinen nicht verändert. Während die Wasserchemie bei Grundwässern im wesentlichen Aussagen über den vom Wasser durchflossenen Grundwasserleiter liefert, geben die Isotopendaten Auskunft über das Wasser selbst, über seine Herkunft und seinen Weg. Aus dem ^3H -Gehalt können zusätzlich Rückschlüsse auf das Alter von Wässern gezogen werden.

7.2.2 Die Isotopenverhältnisse im natürlichen Wasserkreislauf

a) DEUTERIUM (^2H) und SAUERSTOFF-18 (^{18}O)

Neben dem "leichten" Wassermolekül $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$ tragen die "schweren" Moleküle $^1\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O}$ und $^1\text{H}^2\text{H}^{18}\text{O}$ mit ungefähr 0,32 bzw. 2,0 ‰ zur Zusammensetzung der natürlichen Wässer bei. Da das aus schweren Molekülen bestehende Wasser einen geringeren Dampfdruck hat als

leichtes Wasser, sind Isotopentrennprozesse überall dort im Wasserkreislauf zu erwarten, wo Phasenumwandlungen - Schmelzen, Erstarren, Verdampfen usw. - stattfinden. Beispielsweise kommt es beim Verdampfen und Kondensieren zu einer Anreicherung der schweren Moleküle in der flüssigen und zu einer Abreicherung in der gasförmigen Phase. Das Ausmaß der Isotopenfraktionierung ist dabei umso größer, je niedriger die Temperatur bei der Phasenumwandlung ist. Tatsächlich findet man in natürlichen Wässern für das $^1\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O}$ -Molekül eine Schwankungsbreite von 0,18 bis 0,34 ‰ und für $^1\text{H}^2\text{H}^{18}\text{O}$ eine solche von 1,88 bis 2,01 ‰.

Als Konsequenz der Isotopenfraktionierung ist der von freien Wasserflächen aufsteigende Wasserdampf ärmer an schweren Molekülen als die Oberflächenwässer. Beim Transport feuchter Luftmassen landeinwärts hat der zuerst fallende Niederschlag den höchsten Gehalt an schweren Molekülen, die verbleibende Luftfeuchtigkeit wird durch Ausregnen immer leichter (Kontinentaleffekt). Eine ähnliche Erscheinung tritt auch mit zunehmender Regenmenge auf (Mengeneffekt). Die Temperaturabhängigkeit der Isotopenfraktionierung führt zu einer Abhängigkeit des Isotopengehaltes im Niederschlag von der geographischen Breite und von der Jahreszeit (Breiten und Temperatureffekt). Der Jahresgang der Monatsmittewerte zeigt im allgemeinen ein Minimum im Winter und ein Maximum im Sommer (Abb. 37). Die Isotopengehalte der Einzelniederschläge können davon stark abweichen, bedingt durch den jeweiligen klimatischen Zustand während des Niederschlagsereignisses. Ein Vergleich der ^{18}O -Werte der Beobachtungsstationen Podersdorf (120 m ü.A.) und Patscherkofel (2245 m ü.A.) weist auf den Einfluß von orographischen Erhebungen auf die Isotopenzusammensetzung im Niederschlag hin (Höheneffekt, Abb. 37). Hiefür können drei Faktoren verantwortlich sein: die Temperaturabnahme mit zunehmender Höhe, das Ausregnen der schweren Moleküle beim Aufsteigen von feuchten Luftmassen an einem Hang und die teilweise Verdunstung der fallenden Tropfen, die mit zunehmender Fallhöhe zur Anreicherung an schweren Molekülen führt.

Als Folge des charakteristischen Jahresganges im Niederschlagswasser zeigen auch Oberflächen und Grundwässer mehr oder weniger ausgeprägte Schwankungen der Isotopenverhältnisse. Grundwässer, bei denen kein unmittelbarer Einfluß des Niederschlags vorliegt, weisen keine jahreszeitlichen Schwankungen im Isotopengehalt auf.

b) TRITIUM (^3H)

In sehr geringen Konzentrationen tritt in natürlichen Wässern ein anderes schweres Molekül auf, $^1\text{H}^3\text{HO}$. Das Verhältnis $[^3\text{H}]/[\text{H}]$ schwankt zwischen 0 und $1 \cdot 10^{-17}$ bzw. $1 \cdot 10^{-14}$ unter Einbeziehung des Kernwaffentritiums. ^3H ist ein radioaktives Isotop des Wasserstoffes, das mit einer Halbwertszeit von 12,43 Jahren zerfällt. Es wird in der oberen Atmosphäre durch die Einwirkung der kosmischen Strahlung erzeugt und oxidiert bald nach seiner Entstehung zu Wasser. Als Teil des Wassermoleküls macht es den Wasserkreislauf mit. Seit 1952 wurde der ^3H -Gehalt der Niederschläge durch die bei den Kernwaffenversuchen freigesetzten ^3H -Mengen bestimmt. Die ^3H -Konzentration stieg dadurch im Jahr 1963 bis auf das 1000-fache des natürlichen ^3H -Gehaltes an. Sie näherte sich in den letzten Jahren wieder dem natürlichen Gehalt an (Abb. 38). Die Freisetzung von ^3H durch die Industrie (Kernkraftwerke, Wiederaufarbeitungsanlagen, Uhren- und Leuchtfarbenindustrie) hat zur Zeit nur lokale Bedeutung.

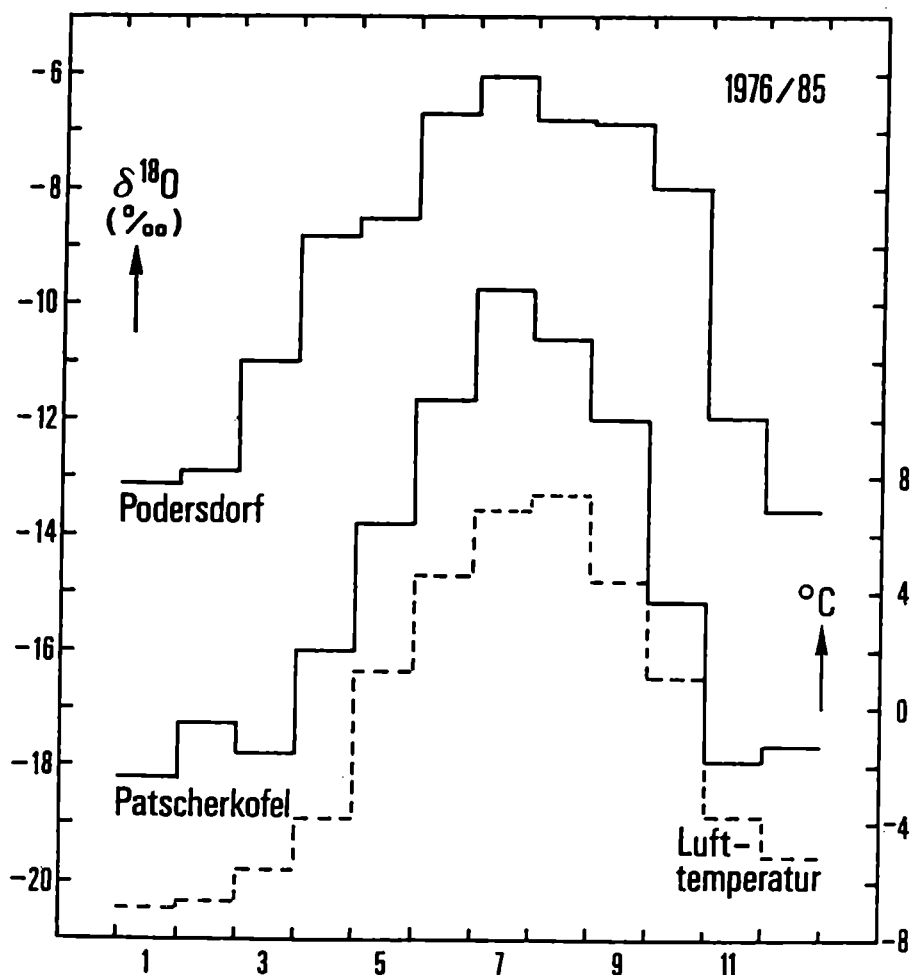


Abb. 37: Jahresgang des $\delta^{18}\text{O}$ -Monatsmittels des Niederschlages bei den Beobachtungsstationen Podersdorf (120 m ü.A.) und Patscherkofel (2.245 m ü.A.), Mittelwert 1976/85; mittlere monatliche Lufttemperatur am Patscherkofel, Mittelwert 1971/80.

Der ^{18}O -Gehalt wird als Relativwert zu einem Standard (V-SMOW, mittleres Meereswasser) angegeben:

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{R_{\text{Probe}} - R_{\text{Standard}}}{R_{\text{Standard}}} \cdot 1000 (\text{‰})$$

R_{Probe} und R_{Standard} sind darin die Isotopenverhältnisse $[^{18}\text{O}] / [^{16}\text{O}]$ in Probe und Standard.

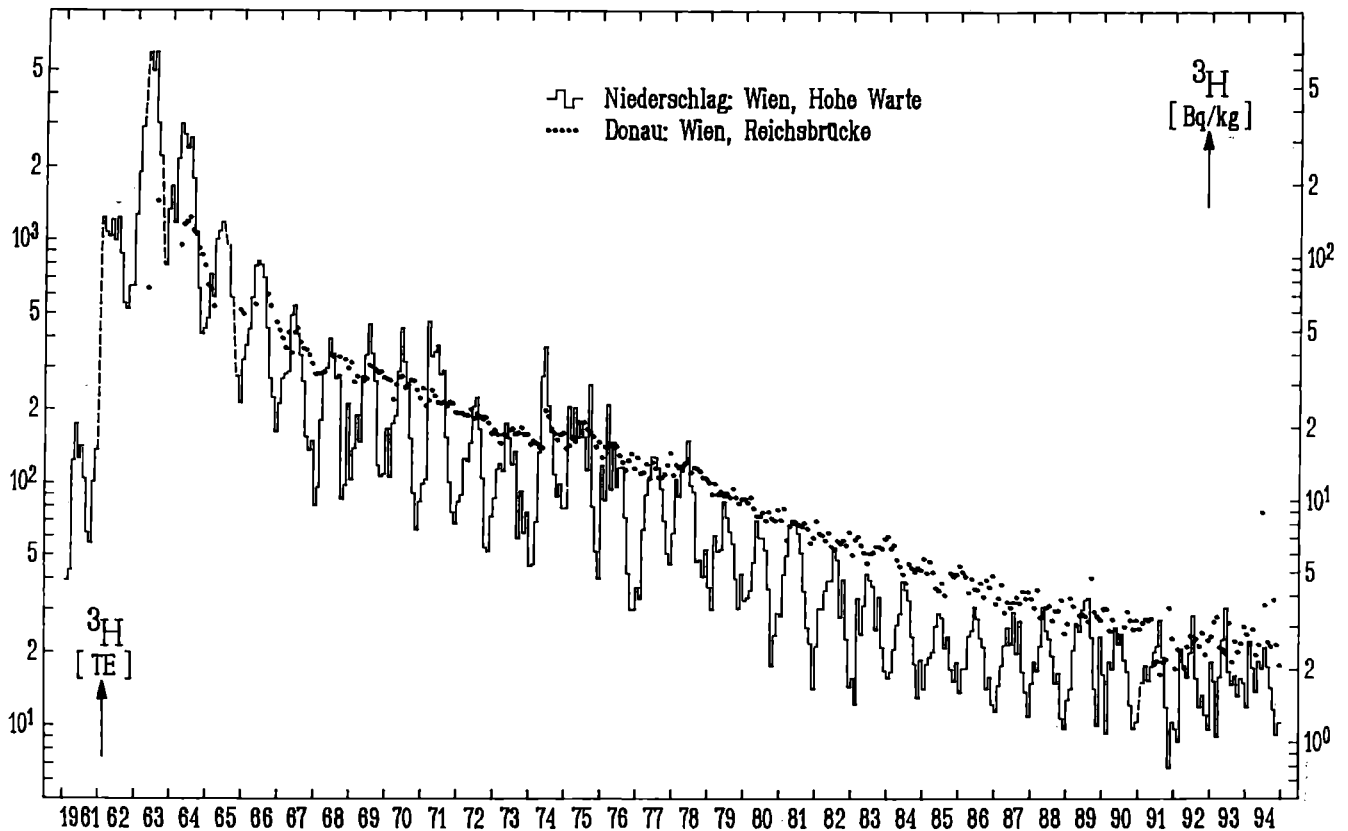


Abb. 38: Langfristiger Verlauf der ^3H -Konzentration im Niederschlag (Monatsmittel) und im Oberflächenwasser (monatliche Stichproben). 1 TE (Tritiumeinheit, TU) entspricht einer Konzentration von einem ^3H -Atom in 10^{10} Wasserstoffatomen bzw. 0,118 Bq/kg für Wasser

Auch der ^3H -Gehalt der Niederschläge zeigt jahreszeitliche Schwankungen. Diese sind im wesentlichen nicht wie bei ^2H und ^{18}O auf Isotopenfraktionierungseffekte, sondern auf den jahreszeitlich unterschiedlichen Luftmassenaustausch zwischen Stratosphäre und Troposphäre zurückzuführen. Nach einer mittleren Verweilzeit von ca. 2 Jahren im stratosphärischen Reservoir gelangt ^3H vor allem im Frühling in mittleren Breiten in die Troposphäre, von wo es nach einer mittleren Verweilzeit von wenigen Wochen ausgegnet wird. Der Jahresgang des Monatsmittels weist ein Maximum im späten Frühjahr und ein Minimum im Spätherbst auf. Die Werte der Einzelniederschläge können davon erheblich abweichen.

Die Oberflächen- und Grundwässer zeigen einen im Vergleich zum Niederschlag stark gedämpften ^3H -Jahresgang (abhängig von der Verweilzeit des Wassers in Einzugsgebiet), allerdings können als Folge z.B. von Starkniederschlägen oder des Abschmelzens einer Schneedecke ausgeprägte Maxima oder Minima auftreten.

Der ^3H -Gehalt des Niederschlagswassers nimmt nach dem Gesetz des radioaktiven Zerfalls ab; es können somit aus dem ^3H -Gehalt von Grundwässern bei Kenntnis der Aktivität des infiltrierenden Niederschlags Rückschlüsse auf die Verweilzeit des Wassers im Untergrund gezogen werden. Der Aussagezeitraum reicht von wenigen Monaten bis zu annähernd 50 Jahren, mit Hilfe von Modellrechnungen kann der Zeitraum auf ungefähr 100 Jahre ausgedehnt werden.

7.2.3 Bestimmung des Alters von Wässern

Ein breites Anwendungsgebiet für Isotopenmessungen ist die Bestimmung von Verweilzeiten - "Wasseraltern" - bei Grundwässern. Unter "Alter" ist dabei jene Zeitspanne zu verstehen, die seit dem Auftreffen des Niederschlagswassers auf der Erdoberfläche verstrichen ist. Die Verweilzeiten geben unter anderem Auskunft über Grundwassererneuerung, hydraulische Eigenschaften des Grundwasserleiters, Umweltsicherheit von Wasservorkommen, Herkunft und zu erwartende Qualität von Wässern.

Zur Bestimmung von Wasseraltern kann zunächst die jahreszeitliche Schwankung der Isotopenverhältnisse im Niederschlag als Eingangssignal verwendet werden (Abb. 37 und 38), solange bei nicht zu hohen Verweilzeiten im Grundwasserleiter ein entsprechendes Ausgangssignal nachweisbar ist. Unmittelbare Altersinformation können ^3H -Messungen liefern; beispielsweise enthalten ^3H -freie Grundwässer keine jungen Anteile, d.h. kein Wasser, das aus Niederschlägen seit Beginn der Wasserstoffbombenversuche seit 1952 stammt. ^3H -Zeitreihen von Grundwässern über mehrere Jahre können neben Hinweisen auf die mittlere Verweilzeit des Wassers zusätzlich Einblick in das hydraulische Geschehen geben (Modellrechnungen). Voraussetzung hierfür ist die Kenntnis des ^3H -Gehaltes der Niederschläge über einen längeren Zeitraum (Abb. 2). Bei höheren Wasseraltern wird zur Datierung die Radiokohlenstoff(^{14}C)-Methode eingesetzt.

Die hydrologische Anwendung von Isotopenverhältnissen beruht auf den in natürlichen Wässern auftretenden Häufigkeitsschwankungen von ^2H , ^3H und ^{18}O . Als Folge der unterschiedlichen Isotopenzusammensetzung der Niederschläge treten auch in Oberflächen- und Grundwässern Schwankungen der Isotopenverhältnisse auf, die sich für hydrologische Interpretationen eignen. Isotopenuntersuchungen geben dabei über die rein mengenmäßige Betrachtung hydrologischer Vorgänge hinaus Auskunft über die Bewegung des einzelnen Wassertropfens und damit über Transport- und Speichervorgänge im hydrologischen System. Isotopenverhältnisse sind Moleküleigenschaften des Wassers und werden vom durchflossenen Medium mittelfristig nicht beeinflusst.

7.2.4 Ergebnisse der Langzeitmessungen

7.2.4.1 Siebenquellen und Wasseralmquelle

Im Zeitraum 1972-81 wurden im Rahmen der Projektbearbeitung von F. BAUER von den beiden Hauptquellen des Schneesalpenmassives monatlich Proben entnommen und Isotopenanalysen ausgeführt. Weiters wurden auch einige Probenahmen im Schneesalpenstollen durchgeführt. Die vorhandenen Meßdaten wurden 1991 von der BVFA Arsenal durch weitere Messungen an gelagerten und neu entnommenen Proben ergänzt. Vor allem war eine Vervollständigung der Niederschlagsmeßreihen zur Altersdatierung der Wässer erforderlich. Im Rahmen eines Beitrages zu einem IAEA-Symposium über Isotopenanwendungen

wurden die Daten überschlagsmäßig ausgewertet (RANK et al. 1992). Die Ergebnisse dieser Auswertung werden im folgenden auszugsweise wiedergegeben.

Zur Auswertung der Isotopendaten wird das Karstreservoir durch zwei parallele Fließsysteme angenähert, über die das Wasser von der Erdoberfläche bis zu den Karstquellen gelangt (Abb. 39). Das erste Fließsystem, das eine hohe Speicherkapazität besitzt, umfaßt hauptsächlich das mobile Wasser in den Klüften sowie das quasi-immobile Wasser in der porösen Matrix. Wasser gelangt über die gesamte Oberfläche des Einzugsgebietes in dieses System und wird anschließend in den zu den Quellen führenden Karstkanälen/schläuchen gesammelt. Die Karstkanäle allein bilden das zweite Fließsystem, charakterisiert durch kurze Durchgangszeit und geringes Volumen. Regenwasser gelangt über die Karstschwinden unmittelbar in dieses System.

Die Karstquellen führen also eine Mischung aus zwei Wasserkomponenten: Einerseits fließt Wasser von der Oberfläche über klüftig/poröse Bereiche zu den Karstschläuchen und dann zu den Quellen, andererseits unmittelbar von den Schwinden über die Karstschläuche zu den Quellen.

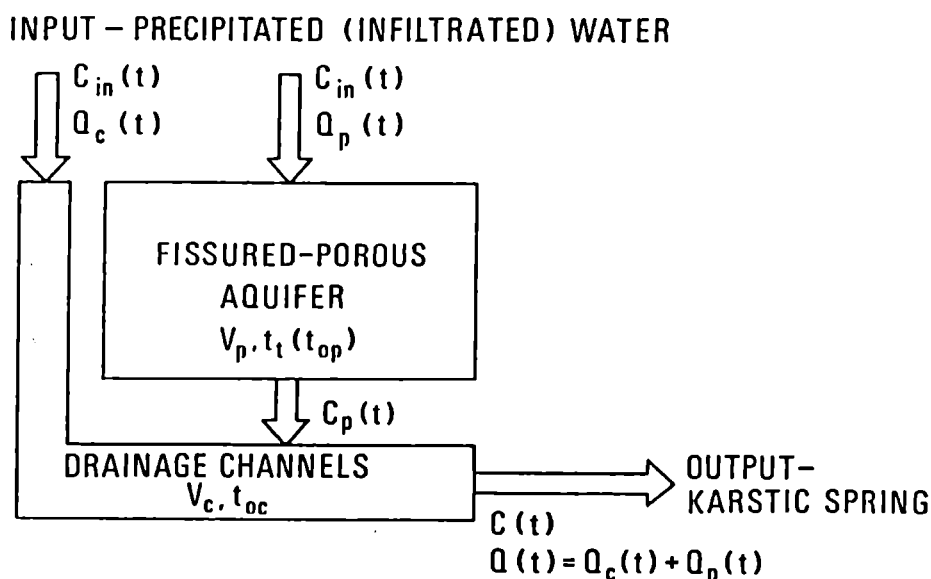


Abb. 39: Modellvorstellung zur Wasserbewegung im Karstmassiv (aus RANK et al. 1992)

- $C_{in}(t)$ = Isotopengehalt des infiltrierenden Wassers
- Q_c = Abflußanteil, der über das Aquifer der Karstkanäle transportiert wird
- Q_p = Abflußanteil, der über das klüftig-poröse Aquifer transportiert wird
- V_p = Speichervolumen klüftig-poröses Aquifer V_c = Speichervolumen Aquifer d. Karstkanäle
- $Q(t)$ = Gesamtabfluß bei der Quelle
- $C(t)$ = Isotopengehalt bei der Quelle $C_p(t)$ = Isotopengehalt des Abflusses aus dem kl.-por. Aquifer
- t_{oc} = Verweilzeit bzw. Laufzeit im Aquifer der Karstkanäle
- $t_t(t_{op})$ = Verweilzeit bzw. Laufzeit im klüftig-porösen Aquifer

Die Strömung im klüftig/porösen System wird mit dem Dispersionsmodell beschrieben, für das System der Karstschläuche wird eine einfache Röhrenströmung ("piston flow") angenommen. Zur Bestimmung der Fließparameter der beiden Systeme werden extreme Schüttungsverhältnisse betrachtet. Bei Basisabflußbedingungen - Trockenwetterabfluß - gibt es keinen Wassertransport über die Schwinden, die Isotopenverhältnisse in den Quellen entsprechen dem Abfluß aus dem klüftig/porösen System. Betrachtet man hingegen Probenahmeterminale mit extrem hoher Quellschüttung, so beschreibt die Ausgangskonzentration in den Quellen vorwiegend die Verhältnisse im System der Karstschläuche. Hier kann die Durchgangszeit dann unmittelbar aus dem Vergleich des Verlaufes der Isotopenverhältnisse von Niederschlag und Quellwasser ermittelt werden (Röhrenmodell).

Die so ermittelten mittleren Durchgangszeiten betragen für das System der Karstschläuche zwei Monate (sowohl für die Siebenquellen als auch für die Wasseralmquelle, ermittelt aus den ^{18}O -Daten), für das klüftig/poröse System 2,5 Jahre, für die Siebenquellen und für die Wasseralmquelle, bzw. 4,5 Jahre für die Wasseralmquelle (ermittelt aus den ^3H -Daten). Tabelle 2 enthält eine Zusammenstellung der in dieser ersten Auswertung erhaltenen Resultate. Die Bezeichnungen entsprechen denen in Abbildung 40. Dabei ist darauf hinzuweisen, daß das für das klüftig/poröse System ermittelte Volumen (V_p) auch das quasi-immobile Wasser umfaßt.

Tab. 2: Ergebnisse der Modellrechnungen auf der Basis von Isotopendaten

	Wasseralmquelle	Siebenquellen
t_{op} (Monate)	54	30
t_{oc} (Monate)	2	2
Q_p ($10^3\text{m}^3/\text{Monat}$)	439	638
Q_c ($10^3\text{m}^3/\text{Monat}$)	68	176
V_p (10^6m^3)	22,7	17,5
V_c (10^6m^3)	1,0	1,6
$V_{total} = V_c + V_p$ (10^6m^3)	23,7	19,1
V (Wasservolumen beider Einzugsgebiete)		
Wasseräquivalent, $H=V/F$		
Mittlere Mächtigkeit der gesättigten Zone bei einer angenommenen Gesamtporosität von 0,03		

7.2.4.2 Wasseraustritte im Schneealpenstollen

Im Zeitraum 1970 bis 1990 wurden mehrere Male bei der Stollenöffnung vor der Schneeschmelze Proben der Stollenwässer für Isotopenuntersuchungen entnommen.

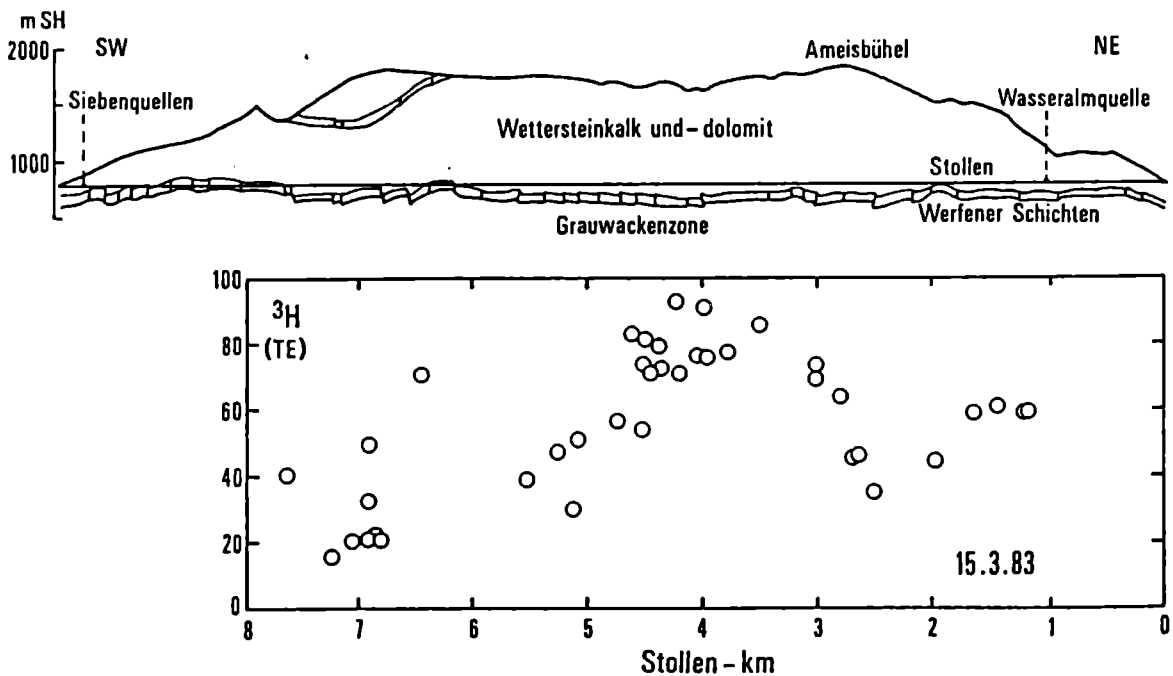


Abb. 40: Schneealpenstollen: Der unterschiedliche ^3H -Gehalt der in den Stollen austretenden Wässer weist auf eine breite Altersverteilung im Karststock hin. Bei einer mittleren Verweilzeit der austretenden Quellwässer von zwei und vier Jahren haben einzelne Stollenwässer Wasseralter von über 90 Jahren (aus RANK 1991).

Tab. 3: Errechnete mittlere Verweilzeiten der Stollenwässer (Durchgangszeit von ^3H)

Austritt (m)	Mittlere Verweilzeit (a)	Anteil von ^3H -freiem Wasser
1227	2,0	---
1450	3,0	---
1980	1,6	---
2509	0,5	---
2640	1,2	---
2690	1,5	---
3034	2,0	---
3040	1,8	---
3533	1,2	---
	27	---
3794	2,8	---
3978	24	0,20
4012	11	---
4037R	21	---
	2,0	---
4207	3,0	---
4268	3,0	---
4381R	24	0,20
4384L	19	0,25
4471R	21	0,25
4472	25	0,25
4502	2,0	---
4532A	22	0,20
4532B	18	0,35
4655	30	---
4748	35	0,30
4940	80	---
5085	65	---
5141	77,5	---
5258	70	---
5562	76	---
6080	36	---
6445	36	0,20
6798	75	0,45
6851	72	0,50
6925	40	0,40
6927L	75	0,50
6927R	55	0,52
7064	65	0,60
7064B	60	0,65
7232	77	0,60
7425L	55	0,50
7425R	56	0,20
	68	---
7560	70	0,20
	78	---
7650	92,5	---
7662	92,5	---

Die ^3H -Verteilung deutet dabei auf eine breite Altersverteilung der Stollenwässer hin (Abb. 40).

Die ^3H -Daten wurden nach dem Dispersionsmodell ausgewertet (Tab. 3). Da die Strömung durch ein klüftig/poröses Medium erfolgt, muß die Diffusion zwischen dem mobilen Wasser in den Klüften und dem immobilen Wasser in der porösen Matrix berücksichtigt werden. Zwischen der mittleren Durchgangszeit des Wassers t_0 und der mittleren Durchgangszeit des Markierungsstoffes (^3H) t_1 besteht die Beziehung:

$$t_1 \approx \left(1 + \frac{n_p}{n_f}\right) t_0$$

wo n_p und n_f die Matrix- bzw. die Kluftporosität sind. Um die eigentliche mittlere Durchgangszeit des Wassers, den wichtigsten Parameter für die Hydrologie, zu bestimmen, wäre es erforderlich, die beiden Porositäten zu ermitteln. Hiefür wären Untersuchungen mit künstlicher Markierung notwendig.

Für einige Wasseraustritte ergab die Modellrechnung, daß hier offensichtlich eine Mischung aus von der Oberfläche kommendem Wasser und sehr altem - ^3H -freiem - Wasser vorliegt. Das Vorkommen derartig alter Wässer wurde bereits kurz nach dem Bau des Stollens über ^{14}C -Messungen festgestellt. Weitere ^{14}C -Messungen könnten näheren Aufschluß über diese alten Wasseranteile bringen.

7.2.5 Vorversuche zur Analyse der Auswirkung einzelner hydrologischer Ereignisse (Starkregen, Schneeschmelze)

7.2.5.1 Auswirkung von Niederschlagsereignissen, Abflußzusammensetzung

Voraussetzung für erfolgreiche Isotopenuntersuchungen bei Einzelereignissen sind Schwankungen der Isotopenverhältnisse bei der Eingangsgröße, dem Niederschlag. Die Abweichung der Isotopenverhältnisse der Einzelniederschläge vom durchschnittlichen Jahregang hängt von der Herkunft der feuchten Luftmassen und vom jeweiligen klimatischen Zustand während des Niederschlagsereignisses ab. Selbst innerhalb ein und desselben Ereignisses treten zeitliche Änderungen der Isotopenverhältnisse auf. Ein Einzelniederschlag eignet sich - bei entsprechender Niederschlagsmenge - umso besser für isotopenhydrologische Untersuchungen, je stärker die Isotopenverhältnisse des Niederschlagswassers von den Mittelwerten im betrachteten hydrologischen System abweichen. Als Folge des Jahreganges der Isotopenverhältnisse im Niederschlag ist im Winter und im Sommer mit den größten Abweichungen der Einzelniederschläge vom Mittelwert im System zu rechnen. Da im Gebirge die Niederschläge im Winter im allgemeinen als Schnee fallen und nicht direkt zum Abfluß kommen, bietet sich als günstigste Untersuchungsperiode der Hochsommer an.

Abbildung 41 zeigt die Schwankungen des ^{18}O -Gehaltes der Niederschläge im Versuchszeitraum (August 1994). Während beider Niederschlagsperioden (17./18.8. und 22./23.8.1994) unterscheidet sich der ^{18}O -Gehalt des Niederschlagswassers deutlich vom Ausgangswert im Karstsystem (-11,8 ‰ in den Siebenquellen), wobei die zweite Niederschlagsperiode das größere Signal liefert. In den Siebenquellen weist der kurzfristige Anstieg der ^{18}O -Gehalte auf unmittelbaren Einfluß von Niederschlagswasser hin; nach dem zweiten Niederschlagsereignis beträgt der Anteil direkt abfließenden Niederschlagswassers 5 bis 10 %. Auch der leichte Rückgang des ^3H -Gehaltes der Siebenquellen zeigt den zunehmenden Anteil von direkt abfließendem Niederschlagswasser am Abfluß an.

Die Ergebnisse dieser Vorversuche zeigen auf, daß im Schneesalpenbereich mit nennenswerten Anteilen kurzfristig abfließenden Niederschlagswassers zu rechnen ist und daß über Isotopenuntersuchungen eine detaillierte Abflußkomponententrennung auch im Kurzzeitbereich möglich ist. Allerdings ist für eine derartige systematische Untersuchung der Einsatz von automatischen Probenahmeeinrichtungen (gute Zeitauflösung) und eine verhältnismäßig große Anzahl von Analysen erforderlich.

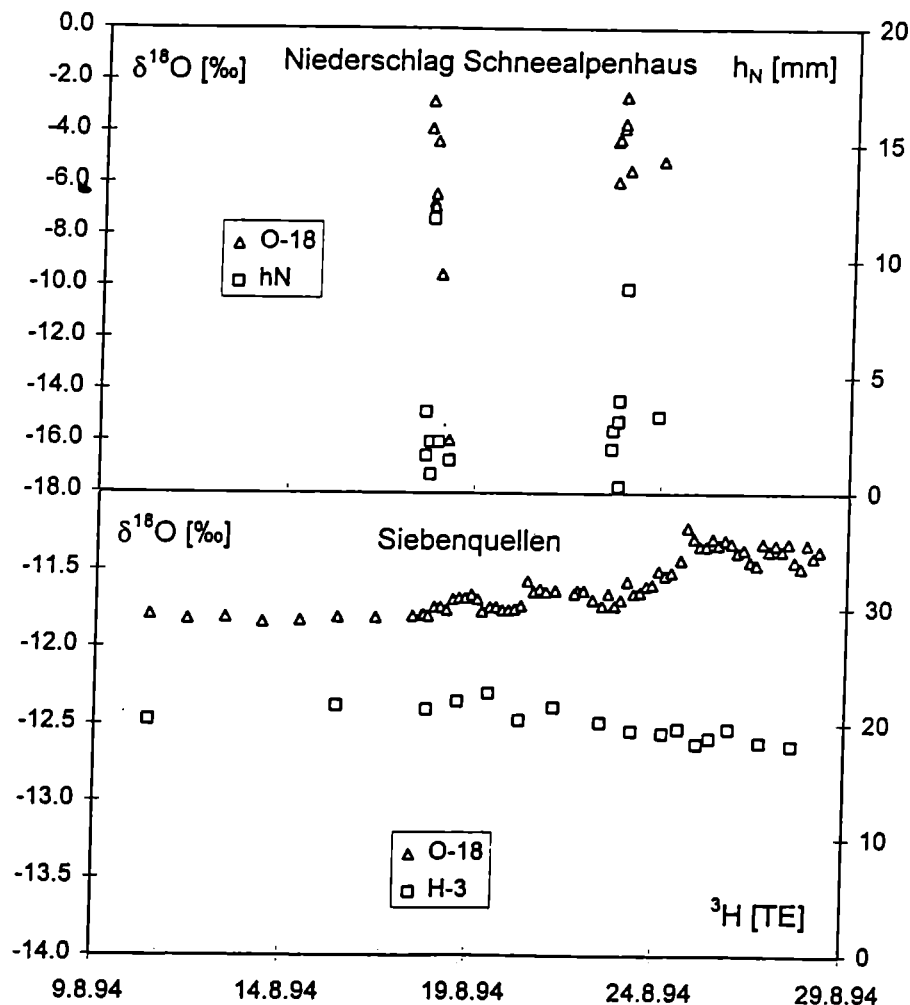


Abb. 41: Niederschlagshöhe und ^{18}O -Gehalt des Niederschlages beim Schneesalpenhaus im August 1994. ^3H - und ^{18}O -Gehalt der Siebenquellen.

7.2.5.2 Auswirkung der Schneeschmelze, Abflußzusammensetzung

Es war geplant, in einem Zeitraum, in dem als Folge der Schneeschmelze tägliche Schüttungsschwankungen auftreten, drei Tage lang mit guter Zeitauflösung (stündliche Probenahme) die Isotopenverhältnisse der Quellwässer (Wasseralmquelle, Siebenquellen) aufzunehmen. Untersuchungsziel war dabei festzustellen, ob die Schüttungsmaxima einem entsprechenden Anstieg des Schmelzwasseranteils zuzuschreiben sind bzw. aus welchen Komponenten sich der Abfluß während der Tagesschwankungen zusammensetzt. Als Untersuchungsperiode wurde der Zeitraum 6. bis 9.5.1994 gewählt.

Wie der Schüttungsgang zeigt, traten gerade ab diesem Zeitpunkt keine täglichen Schüttungsmaxima mehr auf (Abb. 31), die Schüttung der Siebenquellen ging während des Meßzeitraumes kontinuierlich zurück, sodaß das Untersuchungsziel nicht erreicht werden konnte. Der kontinuierliche Anstieg des ^{18}O -Gehaltes - und auch des ^3H -Gehaltes - der Siebenquellen parallel zum Rückgang der Schüttung deutet aber auf einen sinkenden Schmelzwasseranteil hin (Abb. 42) Beim ^{18}O -Gehalt der Wasseralmquelle konnten im gleichen Zeitraum keine über die Meßfehlergrenzen hinausgehenden Schwankungen festgestellt werden (Abb. 43).

Aus dem Untersuchungsergebnis kann der Schluß gezogen werden, daß Schmelzwasseranteile sich im Abfluß isotopisch abzeichnen, zur Erreichung des Untersuchungszieles - Abflußanalyse bei täglichen Schüttungsmaxima - muß aber die Meßserie zu einem günstigeren Zeitpunkt wiederholt werden.

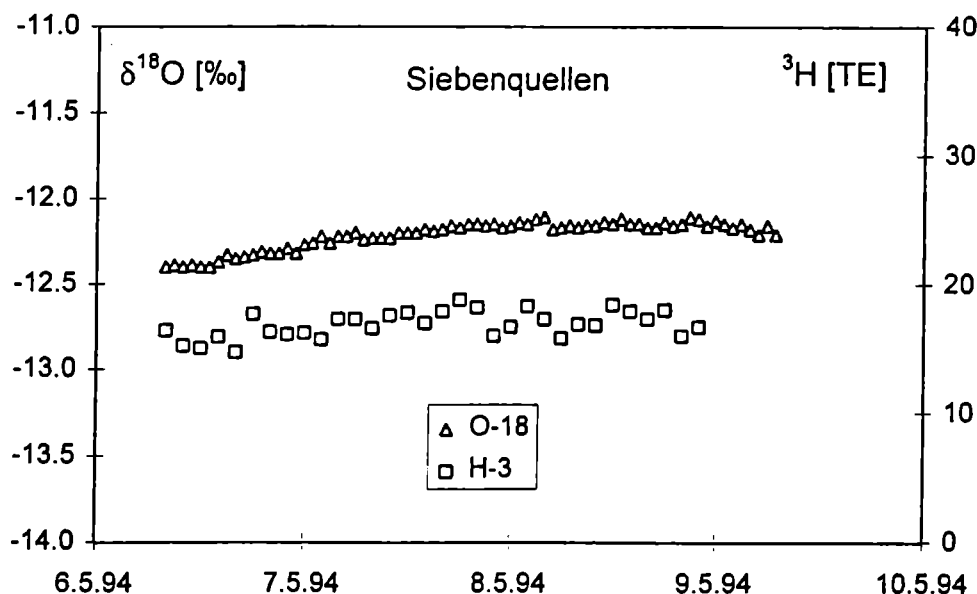


Abb. 42: ^3H - und ^{18}O -Gehalt der Siebenquellen im Zeitraum 6. bis 9.5.1994.

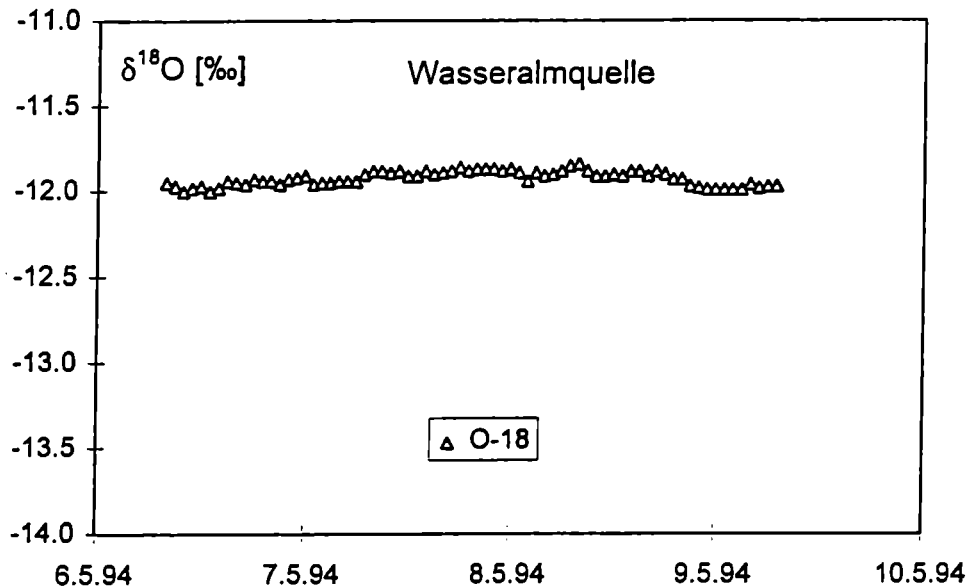


Abb. 43: ^{18}O -Gehalt der Wasseralmquelle im Zeitraum 6. bis 9.5.1994.

7.2.6 Weiterführende Untersuchungen

Wegen des verhältnismäßig einfachen Schichtenaufbaus des Schneesalpenmassives und der Erschließung der Basis des Karstwasserkörpers durch den Stollen sowie des großen Umfangs des vorliegenden Datenmaterials stellt die Schneesalpe ein ideales Objekt für grundlegende Karstforschung dar. Hier ist vor allem eine vom UBA (BAUER) und BVFA Arsenal (RANK) gemeinsam entwickelte Projektidee zur Untersuchung von hydrologischen Einzelereignissen zu erwähnen. Hierfür wurden im Rahmen dieses Projektes einige Vorversuche abgewickelt (7.2.5). Die experimentellen Voraussetzungen - z.B. die Entwicklung eines automatischen Niederschlagsprobensammlers am Arsenal - wurden inzwischen geschaffen. Das Ziel solcher Isotopenuntersuchungen sind Erkenntnisse über das dynamische Verhalten des Karstwassersystems nach Niederschlägen und der Schneeschmelze, wichtige Grundlagen unter anderem für die Beurteilung der Auswirkung von Kontaminationen (z.B. nach dem Tschernobylunfall).

Wichtig für zukünftige Arbeiten ist, daß die Basisprobenahmen (monatliche Proben von Wasseralmquelle und Siebenquellen, Probenahmen bei Stollenöffnung) systematisch weitergeführt werden.

Ein weiteres Untersuchungsthema wäre die Dokumentation der langfristigen Veränderungen, die der Stollen bewirkt, wie das kontinuierliche Auslaufen der einige tausend Jahre alten Wässer im Zentrum des Massivs. Auch bei den mittleren Durchgangszeiten ist sicher noch mit Veränderungen zu rechnen.

8. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Der Wasserbedarf der Stadt Wien wird zu rund 83% von Karstquellwässern des Schneeberges, der Raxalpe und der Schneesalpe (I. Wiener Hochquellenwasserleitung; 31 % - 32 %) und des Hochschwabmassives (II. Wiener Hochquellenwasserleitung; 51 %) gedeckt.

Die langjährigen Reihenuntersuchungen sowie mehrfach durchgeführte karsthydrologische Ereignisuntersuchungen (Mai und August 1994) gemeinsam mit einer strukturgeologischen Neukartierung (1994 und 1995) haben zum Teil wichtige Informationen zur Modellierung der Abflußdynamik im Karstmassiv des Schneesalpengebietes geliefert.

Die Untersuchungen zur strukturellen Prägung und zum tektonischen Aufbau des Schneesalpenmassives zeigen, daß der Deckenkörper der Schneesalpe neben den begrenzenden großen Seitenverschiebungen und Abschiebungen auch durch zahlreiche mittlere und kleinere Störungen sowie engständige Klüfte zerlegt ist. Eine richtungsstatistische Auswertung (Abb. 6) der nach Längen gewichteten Lineamente des gesamten Schneesalpengebietes sowie von Teilen der westlich und östlich anschließenden Nachbargebiete läßt ein dominierend NE-SW und annähernd NW-SE vergitterndes Lineamentmuster sowie in W-E Richtung verlaufende Störungen erkennen. Im Vergleich mit dem ebenfalls richtungsstatistisch ausgewerteten Gewässernetz zeigen sich sowohl W-E als auch NE-SW verlaufende Gerinnestrecken. Eine Regelung in NW-SE Richtung kann jedoch nicht nachgewiesen werden.

Vergleicht man die aus der Lineamentanalyse gewonnenen Richtungen mit den Richtungen der Trennflächensysteme auf der Schneesalpe (s. konturierte Poldiagramme in der Tektonischen Übersichtskarte - Abb. 6), so findet man deckungsgleich wiederum ein Grundset von NE-SW und NW-SE vergitternden Flächen-Richtungen. Abweichungen von diesem Muster ergeben sich nur im Nahbereich größerer Störungen.

Die Einzugsgebiete (Beilage 1) wurden mit Hilfe von geologischen Strukturen und allgemeinen Fließrichtungen, Markierungsversuchen, abgeschätzten Abflußmengen und topographischen Verhältnissen abgegrenzt. Da sich bei der Berechnung der Einzugsgebietsflächen hydrologische und morphologische Parameter gegenseitig beeinflussen, ist zur Ermittlung der Flächengröße ein iteratives Vorgehen nötig.

In einem dynamischen Karstsystem sind die Grenzen der Einzugsgebiete allerdings je nach Niederschlagssituation und hydrologischer Vorgeschichte Schwankungen unterworfen.

Die vorliegenden Daten weisen darauf hin, daß die Herkunft der Wässer der Siebenquellen und der Wasseralmquelle (Hauptquellen im Schneesalpengebiet) aus dem östlichen Schneesalpenmassiv wie erwartet aus zwei komplexen hydrologischen Systemen stammt.

Die Siebenquellen befinden sich im äußeren Karlgraben am Südwestfuß der Schneesalpe nahe Neuberg an der Mürz in einer Höhe von ca. 800 m. Sie sind als tektonische Überfallquelle zu bezeichnen, deren Wässer dem Quellaustritt aus dem Schneesalpenmassiv entlang der Dobrein-Störung zufließen und im tief eingeschnittenen Krampengraben durch die Verengung des Karstwasserkörpers gegen die liegenden Werfener Schichten zum Austreten gezwungen werden.

Das Einzugsgebiet der **Siebenquellen** beinhaltet folgende Bereiche:

1. Das intensiv verkarstete Schneesalpenplateau (3,29 km²), das eine erosiv freipräparierte Schubfläche einer Überschiebungsbahn darstellt.
2. Der Bereich der Rauhenstein-Deckscholle, in deren Werfener Schichten an der Basis bei höherem Wasserangebot ein schwebendes Karstwasserstockwerk ausgebildet werden

kann. Die aus diesem Bereich zutretenden Wässer weisen höheren Sulfatgehalt auf, der auf einen Kontakt mit Evaporiten (Gips) an der Basis der Rauhenstein-Deckscholle hinweist.

3. Der Bereich entlang der obertägigen Ausbißlinie der Dobrein-Störung (1,73 km²). Die zahlreichen, intensiv verkarsteten subparallelen Äste der Dobrein-Störung reichen bis zur Oberfläche durch und besitzen eine erhöhte Wasserwegigkeit. Da in diesem Bereich keine schützende Deckschicht entwickelt ist, ist ein rasches Eindringen von kontaminiertem Oberflächenwasser in das Siebenquellensystem möglich.

Als Einzugsgebiet der **Wasseralmquelle** (7,89 km²) läßt sich der innerhalb des Wettersteinkalks/Dolomites gelegene Ostflügel des Schneesalpengebietes durch die tief in den Gebirgsstocks einschneidenden Täler des Baumtales im Norden und Lohmbachtals im Süden vom Westen des Bergstockes abgrenzen.

Die Wasseralmquelle tritt an der Nordgrenze des Einzugsgebietes im Wetterstein-Dolomit, wenige Meter über dem Horizont der wasserstauenden Werfener Schichten aus. Die Zufuhr der Bergwässer erfolgt wiederum an NE-SW und NW-SE vergitternden Störungen, die als Sammelkanäle für das Bergwasser wirken und gleichzeitig auch den raschen Übertritt von Oberflächenwasser und damit eine Verunreinigung der Quelle verursachen können.

Die Ergebnisse der Markierungsversuche legen das Vorhandensein von zwei Systemen nahe. Das Reservoir der Wasseralmquelle scheint gegenüber dem Wasserkörper der Siebenquellen und der Mittelsektion des Schneesalpenstollens durch eine Rinne erhöhter Durchlässigkeit entlang von S-SSW nach N-NNE im Bereich Lohmbachtal bis oberes Baumtal verlaufenden Störungen mittelfristig abgetrennt zu sein.

Gegen Nordwesten steht der Karstwasserkörper der Wasseralmquelle mit hoher Wahrscheinlichkeit mit dem Reservoir der Kalten Mürz im Zusammenhang und ermöglicht einen längerfristigen Wasseraustausch. Beide Wasserkörper entwässern vermutlich in diese Rinne zur Kalten Mürz und können sich so nicht direkt mischen.

Bereits aus den vorliegenden Untersuchungen und aus Erfahrungen aus anderen Karstgebieten kann geschlossen werden, daß sich Belastungen im Einzugsgebiet unmittelbar bei den Quellen feststellen lassen, da von allen Punkten des Einzugsgebietes, über ein gut ausgebildetes Kluftsystem, eine direkte Verbindung zu den Quellen besteht. Eine gewisse Filterkraft würde durch eine gut ausgebildete Bodendecke bestehen, die aber im Schneesalpengebiet praktisch nicht vorhanden ist.

Bei Starkregenereignissen und Schneeschmelze werden im Karstwassersystem die abgelagerten Sedimente mitgespült und teilweise auch Schwebstoffe von der Oberfläche eingespült, zu solchen Zeiten wird aber das Wasser, besonders von den Siebenquellen, nicht in die Wiener Wasserleitung eingeleitet.

Nach den bisher vorliegenden chemischen Analysen (F. BAUER, 1962-1983; M. HEINZ-ARVAND, 1994, beide unveröffentlicht) besteht keine Beeinträchtigung bezüglich Trinkwasserqualität. Die Verschmutzungsindikatoren Chlorid (bei den Siebenquellen 0,31-0,43 mg/l, bei der Wasseralmquelle 0,41- 0,45 mg/l) und Nitrat (bei den Siebenquellen 3,16-3,46 mg/l und bei der Wasseralmquelle 3,31-3,71 mg/l) sowie Sulfat (bei den Siebenquellen 12,83 - 9,59 und bei der Wasseralmquelle 5,53 - 4,28) zeigen während der Schneeschmelze durchwegs niedere Werte, die ungefähr dem natürlichen Bereich entsprechen. Ferntransportierte anthropogen verursachte Anteile der oben angeführten Stoffe können bei Akkumulation zu Problemen führen.

Die Schadstoffe werden in der Schneedecke gespeichert und können durch partielle Schneeschmelze angereichert und dann rasch freigesetzt werden. Während der Schnee-

schmelze dürfte bei den Siebenquellen die Spitze des Schadstoffaustrages dem Tagestemperaturmaximum mit einer Verzögerung von maximal 13 bis 14 Stunden und einem Hochwasser in weniger als 2 Stunden folgen. Durch den fortwährenden Zustrom von eventuell kontaminiertem Schmelzwasser in den Karststock dringt ein Teil des mit Schadstoffen beladenen Wassers in besser speicherwirksame Bereiche des Karststockes ein und mischt sich dort mit älterem Wasser. Wie aus der Analyse der Trockenwetterfalllinien und der Farbversuche abgeleitet werden kann, ist ein Großteil dieses zwischengespeicherten Wassers im Mittel in 35 Tagen wieder aus dem Karststock ausgelaufen. Eine Restmenge wird jedoch längerfristig gespeichert und trägt zum Basisabfluß bei. Da aus Tritiumbestimmungen der Stollenwässer ein Wasseralter von größer als 90 Jahren bekannt ist, ist auch für einmal eingebrachte Schadstoffe mit einer hohen Verweildauer zu rechnen. Möglicherweise erfolgt während Schüttungsereignissen, die auf Starkregen oder der Schneeschmelze zurückzuführen sein können, eine Mobilisierung relativ alter Wässer. Schadstoffe, die einmal in das System eingetragen worden sind, können also über viele Jahre immer wieder in höheren Konzentrationen abgegeben werden.

Für die punktuelle Belastung von schwach besuchten Unterkünften sind im Hinblick auf die hygienische Belastung bereits Maßnahmen realisiert, so wird durch den Abtransport von Abwasser und Abfällen vor allem von Schutzhütten (z.B. Schneealpenhaus) der Schadstoffeintrag minimiert.

Die größten potentiellen Probleme für das Karstwassersystem sind durch fernverfrachtete Emissionen von Industrie und Verkehr sowie durch Unfälle (z.B. Atomkraftwerke) zu erwarten. Diese können, wie ausgeführt, eine größere quantitative Beeinflussung des Karstwassersystems in diesem Gebiet bewirken. Trotz der exzellenten Trinkwasserqualität der Karstwässer aus diesem Gebiet müßte für den Katastrophenfall für eine alternative Wasserversorgung aus unbelasteten Porengrundwässern vorgesorgt werden.

9. LITERATUR

- ASCHWANDEN, H. (1985):** Zur Abschätzung der Abflüsse in ungemessenen schweizerischen Einzugsgebieten. Publikation Gewässerkunde. Bern, Nr. 66.
- BAUER, F. (1969):** Karsthydrologische Untersuchungen im Schneesalpenstollen in den steirisch-niederösterreichischen Kalkalpen. Steir. Beitr. zur Hydrogeol. Bd. 21: 193-214.
- BÖSE, E. (1898):** Beiträge zur Kenntnis der alpinen Trias. Z. Deutsch. Geol. Ges. Bd. 50: 468 u. 695.
- GATTINGER, T. E. (1973):** Geologie und Baugeschichte des Schneesalpenstollens der I. Wiener Hochquellenleitung (Steiermark - Niederösterreich).- Abh. Geol. Bundesanstalt, Wien Bd. 30.
- GEYER, G. (1889):** Beiträge zur Geologie der Mürztaler Kalkalpen und des Wiener Schneeberges.- Jb. Geol. Reichsanstalt, Wien Bd. 39: 497-784.
- HAIDINGER, W. (1848):** Geologische Beobachtungen in den österreichischen Alpen.- Haidingers Berichte über die Mitteilungen von Freunden der Naturwissenschaften, Wien Bd. III.
- HAUER, F. (1847):** Notiz in - Haidingers Berichte über die Mitteilungen von Freunden der Naturwissenschaften, Wien Bd I.
- HAUER, F. & FOETTERLE, F. (1852):** Bericht über die Arbeiten der Sektion I., Jb. Geol. Reichsanstalt, Wien Bd. 3/4.
- HEINZ-ARVAND, M. ET AL. (1992):** The Schneesalpe Karst massif Test area for tracer studies.- A.A. Balkema, Rotterdam-Brookfiëld: 267-270.
- HEINZ-ARVAND, M. (1993):** Hydrologische Untersuchungen im Karstmassiv der Schneesalpe. Hrsg. Umweltbundesamt, Wien, Umweltkontrollbericht - Teil B: 368-370.
- HEINZ-ARVAND, M. & BRYDA, G. (1995):** Karsthydrogeologische Untersuchungen im Schneesalpengebiet. Karsthydrogeologische Exkursion Schneesalpe. Umweltbundesamt Wien, Oktober 1995.
- LEIN, R., (1981):** Deckschollen von Hallstätter Buntkalken in Salzbergfazies in den Mürztaler Alpen südlich von Mariazell (Steiermark). Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., Wien Bd 27: 207-235.
- MORSLOT, A. (1850):** Einiges über die geologischen Verhältnisse der nördlichen Steiermark.- Jb. Geol. Reichsanstalt, Wien Bd 1: 99.
- RANK, D. et al. (1992):** Flow dynamics in an alpine karst massif studied by means of environmental isotopes. Proc. International symposium on Isotopes Technique in Water Resources Development 1991, IAEA Vienna: 327-343.
- RICHTER, W & LILLICH, W. (1975):** Abriß der Hydrogeologie. Schweizerbart, Stuttgart.
- STRELE, K. (1992):** Geologische Untersuchungen an der Roßkogel-Deckscholle und der Proles-Decke im Bereich des Hinteralplateaus/Mürztaler Alpen/Steiermark, unveröffentlichte Diplomarbeit am Geologischen Inst. d. Univ. Wien.
- STUR, D. (1871):** Geologie der Steiermark, Geognost. montanist. Ver. Graz.
- TOLLMANN, A. (1963):** Ostalpensynthese, Deuticke Wien.
- TOLLMANN, A. (1976)a.:** Analyse des klassischen nordalpinen Mesozoikums. Stratigraphie, Fauna und Fazies der nördlichen Kalkalpen, Deuticke Wien Bd. 2: 580.

TOLLMANN, A. (1976b): Der Bau der nördlichen Kalkalpen. Orogene Stellung und regionale Tektonik. - Monographie d. nördl. Kalkalpen, Bd. 3, X+449+7 S., 130 Abb., 7 Taf., Deuticke - Wien.

WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

AMPFERER, O. & SPENGLER, E. (1931): Geologische Spezialkarte der Republik Österreich Blatt Schneeberg und St. Aegydt am Neuwalde (4855) 1:75000.- Geol. Bundesanstalt, Wien.

ARVAND, M. (1976): Hydrologie des südöstlichen Dachsteinmassivs und der Schladminger Ramsau. Unveröff. Diss. Univ. Wien.

ARVAND, M. (1993): Karst hydrological tests in the area of the first Viennese high spring pipeline.- Proceedings of International Karst Symposium.- First - Volume, Shiraz - Islamic Republic of Iran: 293-307.

BAUER, F. (1970): Aufgaben der karsthydrologischen Forschung in Österreich.- Österreichische Wasserwirtschaft 22: 127-138.

CORNELIUS, H. P. (1936): Geologische Spezialkarte der Republik Österreich Blatt Mürzzuschlag 1:75.000. Geologische Bundesanstalt, Wien.

CORNELIUS, H. P. (1936): Aufnahmebericht über Blatt Mürzzuschlag (4955), Kalkalpiner Anteil.- Verh. Geol. B. A., (1936) H.1-2, 41-42, Wien.

CORNELIUS, H. P. (1939): Zur Schichtfolge und Tektonik der Mürztaler Kalkalpen.- Jb. Geol. Bundesanstalt, Wien Bd. 89: 27-175.

CORNELIUS, H. P. (1952): Die Geologie des Mürztalgebietes.- Jb. Geol. Bundesanstalt, Wien Sonderband 4: 94.

DRENNIG, A. (1973): Die I. Wiener Hochquellenwasserleitung.- Festschrift, Magistrat der Stadt Wien MA. 31(Hrsg.) - Wasserwerke.- Jugend und Volk Verlag, Wien - München.

HORKEL, A. (1975): Zur Geologie der Präbichl- und Werfener Schichten zwischen Neuberg/Mürz und Aschbach, sowie zum Alter der in ihnen liegenden Sideritvorkommen. Unveröff. Diss. Phil. Fak. Univ. Wien.

HYGIENISCH- BAKTERIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGSANSTALT (1968): Bericht über den Färbeversuch Reisstal 1977, Wien.

LEIBUNDGUT, CH. & ATTINGER, R. 1988.: Tracerhydrologische Untersuchungen im Hinblick auf Gewässerschutzmaßnahmen. Publikation Gewässerkund. Bern, No.101

MAILLET, E. (1905): Mécanique et physique du globe. Essais d'hydraulique souterraine et fluviale, Hermann, Paris.

MATTHES, G., UBELL, K. (1983): Allgemeine Hydrologie - Grundwasserhaushalt. - Gebrüder Born Trüger, Berlin, Stuttgart, Bd. 1.

MOJSISOVICS, E. (1892): Die Hallstätter Entwicklung der Trias. S.-Ber. Akad. Wiss. math.-naturw. Wien Bd 10: 776.

ÖWWV, (1909-1984): 75 Jahre österreichischer Wasserwirtschaftsverband, Pottenstein, Österreich.

RANK, D. (1989): Isotopenverhältnisse - die Fingerabdrücke des Wassers. Schriften des Vereines zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse in Wien, Bd. 127: 147-176.

RANK, D. (1991): „Umweltisotope“ - Fortschritte in Forschung und Anwendung. -Mitt. österr. geol. Ges., Wien Bd. 83: S. 91-108.

SCHMITZ, G. (1961): Geologische Untersuchungen im Gebiet der westlichen Schneesalpe. - Diss. Phil. Fak. Univ, Wien.

SPELÄOLOGISCHES INSTITUT DES BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, (1963):

Bericht über den Sporentriftversuche Schneesalpe 1962, Wien. Februar 1963 (Archiv des Umweltbundesamtes; unveröffentlicht).

SPELÄOLOGISCHES INSTITUT DES BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, (1963):

Bericht über den Sporentriftversuche Schneesalpe 1963: Wien. Oktober 1963 (Archiv des Umweltbundesamtes; unveröffentlicht).

SPELÄOLOGISCHES INSTITUT DES BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, (1963):

1. Teilbericht über im Jahre 1963 durchgeführte Quellaufnahmen im östlichen Schneesalpengebiet. Wien, Dezember 1963.: 13 (Archiv des Umweltbundesamtes; unveröffentlicht).

SPELÄOLOGISCHES INSTITUT DES BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, (1964):

2. Teilbericht über Quellaufnahmen im östlichen Schneesalpengebiet. Wien, Jänner 1964. (Archiv des Umweltbundesamtes; unveröffentlicht).

SPELÄOLOGISCHES INSTITUT, 1965: Fassung der Siebenquellen in die I. Wiener Hochquellwasserleitung. Hydrologische Beweissicherungsdaten aus dem östlichen Schneesalpengebiet: Teil A/1: Allgemeine Erläuterungen. Wien, Dezember 1965. (Archiv des Umweltbundesamtes; unveröffentlicht).

SPELÄOLOGISCHES INSTITUT, (1965): Fassung der Siebenquellen in die I. Wiener Hochquellwasserleitung. Hydrologische Beweissicherungsdaten aus dem östlichen Schneesalpengebiet: Teil B: Schuttungs- und Durchflusswerte. Wien, Dezember 1965. (Archiv des Umweltbundesamtes; unveröffentlicht).

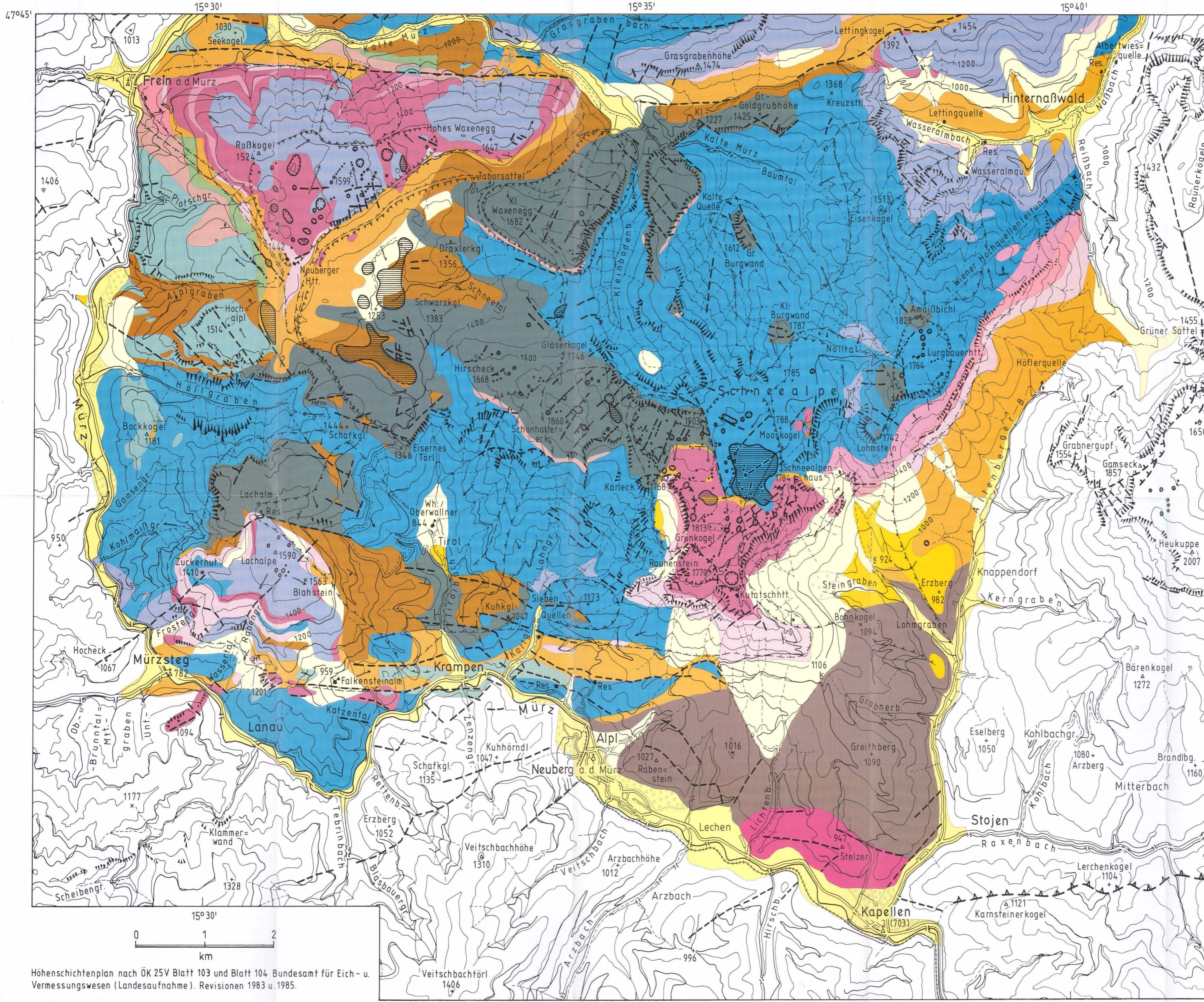
SPELÄOLOGISCHES INSTITUT, (1965): Fassung der Siebenquellen in die I. Wiener Hochquellwasserleitung. Hydrologische Beweissicherungsdaten aus dem östlichen Schneesalpengebiet: Teil C: Wassertemperaturen, Leitfähigkeit- und Chemismus. Wien, Dezember 1965. (Archiv des Umweltbundesamtes; unveröffentlicht).

TOLLMANN, A. (1973): Grundprinzipien der alpinen Deckentektonik. Eine Systemanalyse am Beispiel der Nördlichen Kalkalpen.- Monographie der Nördlichen Kalkalpen. Deuticke Wien Bd. 1.

TOLLMANN, A. (1986): Die Entwicklung des Reliefs der Ostalpen. Mitteilungen Österreichische Geographische Gesellschaft, Wien Bd. 128: 62-72.

GEOMORPHOLOGISCHE KARTE DES SCHNEEALPEN-GEBIETES

Umgezeichnet aus dem Luftbild und durch eigene Geländeaufnahmen ergänzt von G. BRYDA 1994



- MORPHOLOGIE**
- Dolinen
 - Verebnungsflächen
 - Lineamenten
 - Bergerreißung
 - Schichtgrenze
 - eingel. Quelle
 - Quelle
 - Gewässer, Erosionsrinnen
 - Abrißkanten
- EINZUGSGEBIETE**
- obertägiges Einzugsgebiet
 - intensiv verkarstetes Einzugsgebiet
 - unterirdisches Einzugsgebiet
 - erwartete Fließrichtung
- FALLZEICHEN & AXSEN (Grad)**
- | | | | |
|--|--|--|--|
| | | | |
| | | | |
- QUARTÄR**
- Hangschutt / Bergsturzmaterial
 - Terrassen / Schuttkegel
 - Moränenmaterial
- ROSSKOGEL-LACHALPEN-**
- RAUHENSTEIN DECKSCHOLLE**
- Wetterstein Kalk-Dolomit
 - Hallstätter Kalk
 - "Reiflinger" Kalk
 - "Steinalm Kalk"
 - Gutensteiner Kalk
 - Werfener Schiefer
- PROLES-Schuppe**
- Ziambach Schiefer
 - Hallstätter Graukalk
 - Halobienchiefer
 - Hallstätter Dolomit
- MÜRZALPENDECKE**
- Gosau i.a.
 - Waxenegg Kalk
 - Raibler Schiefer
 - Wetterstein Kalk-Dolomit
 - Reiflinger Kalk
 - Steinalm Kalk
 - Gutensteiner Kalk
 - Werfener Schiefer
- GRAUWACKENZONE**
- UNTEROSTALPIN

Höhenschichtenplan nach ÖK 25V Blatt 103 und Blatt 104 Bundesamt für Eich- u. Vermessungswesen (Landesaufnahme). Revisionen 1983 u. 1985.

M 1: 25 000