

Mitt. Österr. Geol. Ges.	ISSN 0251-7493	93 (2000)	139-159	Wien, Juni 2003
--------------------------	----------------	-----------	---------	-----------------

Schlüsselwörter

Isotopenhydrologie
Abflusskomponentenanalyse
Hydrogeologie
Kluftwasserleiter
Kristallines Randgebirge
Oststeiermark
ÖK 136

Modellvorstellung zur Abflussentstehung bei Starkregenereignissen im kristallinen Randgebirge der Oststeiermark – Erkenntnisse aus Isotopenuntersuchungen

DIETER RANK¹, HERMANN HÄUSLER¹ & WOLFGANG PAPESCH²

16 Abbildungen und 2 Tabellen

Inhalt

Zusammenfassung	139
Abstract	139
1. Einleitung	140
2. Isotopenhydrologische Grundlagen	141
3. Hydrogeologische Charakterisierung des Ringkogelgebietes nördlich Hartberg	144
4. Jahreszeitliche Schwankungen der Isotopenverhältnisse im Abfluss und mittlere Verweilzeit der Wässer	146
4.1 Kleinstzugsgebiet Höhenhansl/Pöllau	146
4.2 Ringkogelgebiet/Hartberg	147
5. Isotopen-Untersuchungen bei Niederschlagsereignissen im Kleinstzugsgebiet Höhenhansl/Pöllau	151
5.1 Ereignis vom 18. 8. 1991	151
5.2 Ereignis vom 11. 6. 1993	153
5.3 Ereignis vom 23./24. 6. 1993	155
5.4 Ereignis vom 29. 9. 1993	156
6. Modellvorstellung zur Abflussentstehung bei Starkregenereignissen im Bereich des kristallinen Randgebirges der Oststeiermark	158
7. Schlussfolgerungen	158
Literaturverzeichnis	159

Zusammenfassung

Isotopenhydrologische Untersuchungen in kleinen Einzugsgebieten im kristallinen Randgebirge der Oststeiermark bei Starkregenereignissen führten zu der Erkenntnis, dass ein Zweikomponenten-Abflussmodell (Direktabfluss von Niederschlagswasser, Basisabfluss) nicht ausreicht, den Verlauf der Isotopenverhältnisse im Abfluss während der Ereignisse zu erklären. Es existiert zumindest eine „dritte“ Abflusskomponente, die weder dem direkten Abfluss von Niederschlagswasser noch dem Basisabfluss vor dem Ereignis zuzuschreiben ist. Die Isotopendaten lassen den Schluss zu, dass es sich bei dieser dritten Abflusskomponente um Niederschlagswasser handelt, das wenige Wochen oder Monate in der ungesättigten Zone (Verwitterungsschicht) gespeichert wird, während der Basisabfluss vor dem Ereignis hauptsächlich aus Wasser aus dem Kluftwasserleiter mit einer mittleren Verweilzeit von ungefähr 10 Jahren besteht. Der Anstieg des Abflusses bei Starkregenereignissen ist hauptsächlich auf das Auspressen dieser dritten Komponente aus der vorher ungesättigten Zone durch das infiltrierende Niederschlagswasser zurückzuführen. Der Direktabfluss von Niederschlagswasser spielt eine untergeordnete Rolle, bei der Mehrzahl der untersuchten Niederschlagsereignisse war ein solcher Einfluss auszuschließen.

Conceptual model of runoff generation during storm events in the crystalline mountains of Eastern Styria (Austria), based on isotope-hydrological investigations

Abstract

Isotope-hydrological investigations in small catchments in the crystalline mountains of Styria (Eastern Alps) during storm events showed that a two-component runoff model (direct runoff, base flow) cannot sufficiently explain the course of the runoff isotope data during the events. At the very least, a „third“ runoff component must exist, which cannot be attributed to either the direct runoff of precipitation water, or to the base flow before the event. Isotope data indicate that this third component consists of precipitation water,

Anschriften der Verfasser

¹ Hon.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Dieter RANK und Univ.-Prof. Dr. Hermann HÄUSLER, Institut für Geologische Wissenschaften, Geozentrum, Universität Wien, Althanstraße 14, A-1090 Wien, E-Mail: dieter.rank@univie.ac.at, hermann.hausler@univie.ac.at

² Dipl.-Ing. Dr. Wolfgang PAPESCH, ARC Seibersdorf Research, A-2444 Seibersdorf

which has been stored for a few weeks or months in the unsaturated zone (weathered material), whereas the base flow before a storm event consists mainly of water from the joint aquifer, with a mean residence time of about ten years. It may be concluded that the increase of the discharge during storms is primarily due to the pressing out of this third component from the previously unsaturated zone by infiltrating precipitation water. Direct runoff plays a minor role; its influence could not be detected during most of the precipitation events investigated.

1. Einleitung

Zum Verständnis der Transportvorgänge in einem hydrologischen Regime sind u. a. Informationen über die Wasserbewegung in der ungesättigten und gesättigten Zone notwendig, über die Speicherung der Wasser im Einzugsgebiet (Verweilzeiten), über die Zusammensetzung des Abflusses und über die Auswirkung von hydrologischen Einzelereignissen (Starkniederschläge, Schneeschmelze) auf das hydrologische System. Zur Beantwortung dieser Fragen kön-

nen Isotopenmethoden einen wesentlichen Beitrag liefern, weil sie über die rein mengenmäßige Betrachtung hydrologischer Vorgänge hinaus Auskunft über die Bewegung des einzelnen Wassertropfens geben. Isotopenverhältnisse sind Moleküleigenschaften und werden vom durchflossenen Medium in erster Näherung nicht beeinflusst.

In zwei benachbarten Versuchsgebieten im steirischen Randgebirge (Abb. 1) wurden Isotopenmethoden zur Untersuchung der Zusammensetzung des Abflusses aus kleinen Einzugsgebieten bzw. bei Quellen nach Starkregen einge-

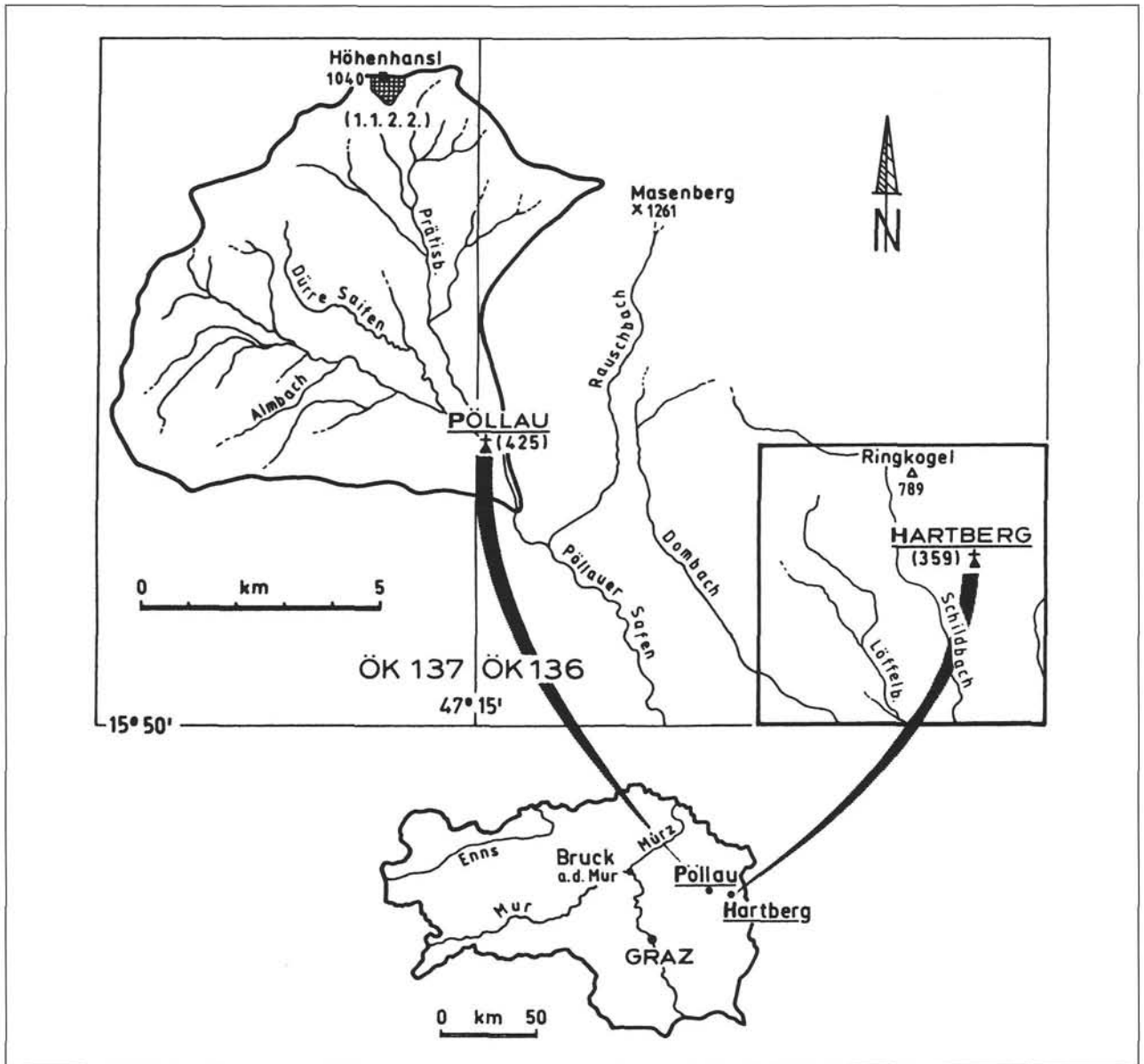


Abb. 1
Lage der Untersuchungsgebiete Ringkogel/Hartberg und Höhenhansl/Pöllau.

setzt (PAPESCH, RANK 1996; RANK, PAPESCH 1997). Das Testgebiet Pöllau umfasst mehrere kleine Einzugsgebiete an den Hängen des Pöllauer Beckens (ZOJER et al. 1996). Die Hänge der kristallinen Hügel sind mit einer bis mehrere Meter mächtigen Verwitterungsschicht bedeckt. Die Untersuchungen wurden auf das Kleinstzugsgebiet „Höhenhansl“ (0,43 km²) konzentriert, in dem nur geringer anthropogener Einfluss vorliegt. Als zweites Testgebiet wurde der Ringkogel bei Hartberg in die Untersuchungen einbezogen, an dessen Hängen zahlreiche kleine Quellen (Schüttung ≤ 1 l/s) entspringen. Die vorliegende Arbeit befasst sich im wesentlichen mit den Ergebnissen der Isotopenuntersuchungen in den Testgebieten, eine umfassende Darstellung der Ergebnisse der hydrologischen Bearbeitung der Gebiete erfolgte an anderer Stelle (HÄUSLER et al. 1993; ZOJER et al. 1996).

Die Arbeiten wurden durch die Österreichische Akademie der Wissenschaften, das Amt der Steiermärkischen Landesregierung und die Stadtwerke Hartberg unterstützt.

2. Isotopenhydrologische Grundlagen

Isotopenuntersuchungen am Sauerstoff und Wasserstoff des Wassermoleküls geben über die rein mengenmäßige Betrachtung des Ablaufes hydrologischer Ereignisse hinaus Einblick in die Altersstruktur von Wässern (Grundlagen siehe z. B. MOSER, RAUERT 1980).

Dies ermöglicht Rückschlüsse auf Speichervorgänge im hydrologischen System und auf die Zusammensetzung des Abflusses, d. h. auf die Anteile von Basisabfluss, Direktabfluss nach Niederschlagsereignissen und Zwischenabfluss. Die Auftrennung der Abflussanteile ist auch eine wichtige Grundlage für die hydrogeologische Beurteilung der nutzbaren Wasserreserven eines Gebietes.

Voraussetzung für erfolgreiche Isotopenuntersuchungen bei hydrologischen Einzelereignissen (Starkniederschläge, Schneeschmelze) sind Schwankungen der Isotopenverhältnisse bei der Eingangsgröße, dem Niederschlag. Die Abweichung der Isotopenverhältnisse der Einzelniederschläge vom durchschnittlichen Jahresgang hängt von der Herkunft der feuchten Luftmassen und vom jeweiligen klimatischen Zustand während des Niederschlagsereignisses ab.

Abbildung 2 zeigt die Schwankungen des ¹⁸O-Gehaltes der Tagesniederschläge der Station Heiling im Untersuchungsgebiet Pöllau im Zeitraum Juni/Juli 1991. Hier liefern beispielsweise die Mitte Juli aufeinander folgenden markanten Niederschlagsereignisse mit deutlich unterschiedlichem ¹⁸O-Gehalt brauchbare Eingangssignale, die innerhalb des hydrologischen Systems verfolgt werden können.

Selbst innerhalb ein und desselben Ereignisses treten zeitliche Änderungen der Isotopenverhältnisse auf. Beispielsweise überstreicht der ¹⁸O-Gehalt des Niederschlagswassers der Sammelstation Wien-Arsenal während

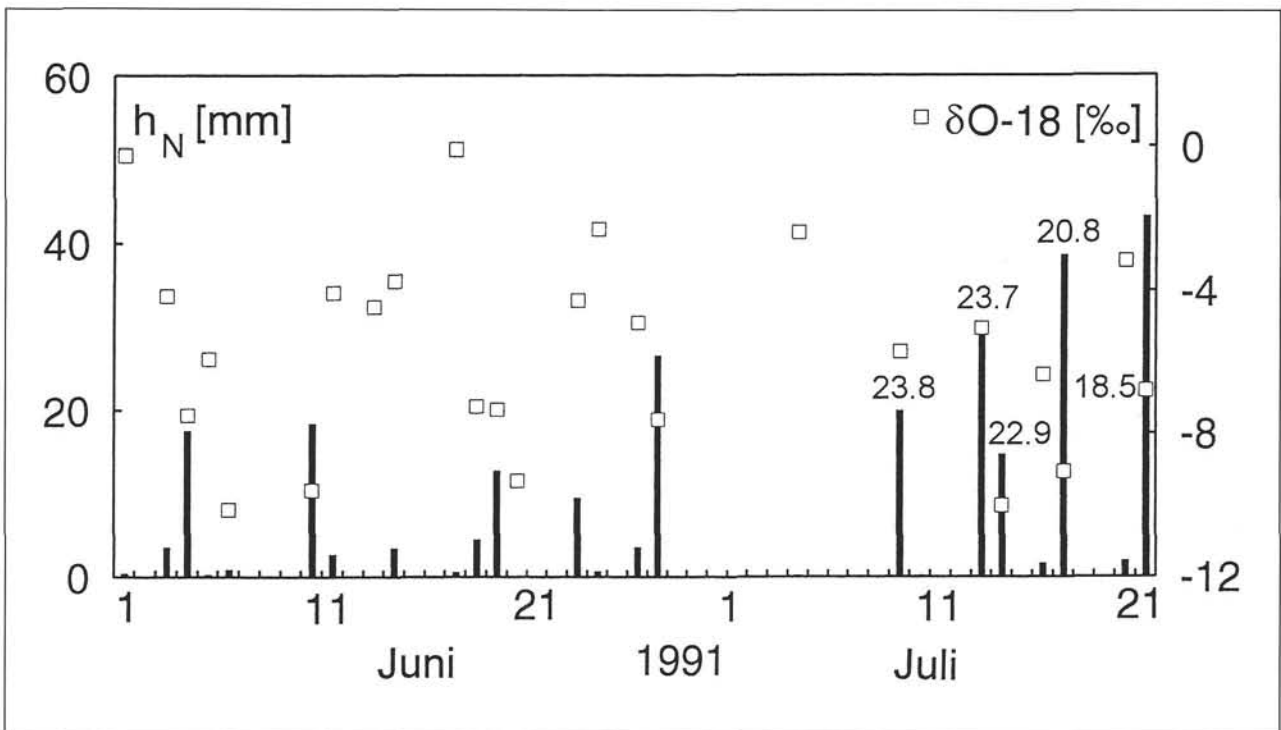


Abb. 2
Niederschlagshöhe und ¹⁸O-Gehalt der Tagesniederschläge der Station Heiling/Pöllau sowie Angabe des ³H-Gehalts (TE) für einige Ereignisse im Zeitraum Juni/Juli 1991.*

* Der ¹⁸O-Gehalt wird als Relativwert zu einem Standard (V-SMOW) 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 [¹⁸O]/[¹⁶O] in Probe und Standard. Die Messfehlerbreite ist kleiner als ±0,1‰ und liegt damit in den Diagrammen innerhalb der Ausdehnung der Symbole. 1 TE (Tritiumeinheit, TU) entspricht einer Konzentration von einem ³H-Atom in 10¹⁸ Wasserstoffatomen bzw. 0,118 Bq/kg für Wasser. Der 2σ-Messfehler der ³H-Daten beträgt ungefähr 7%.

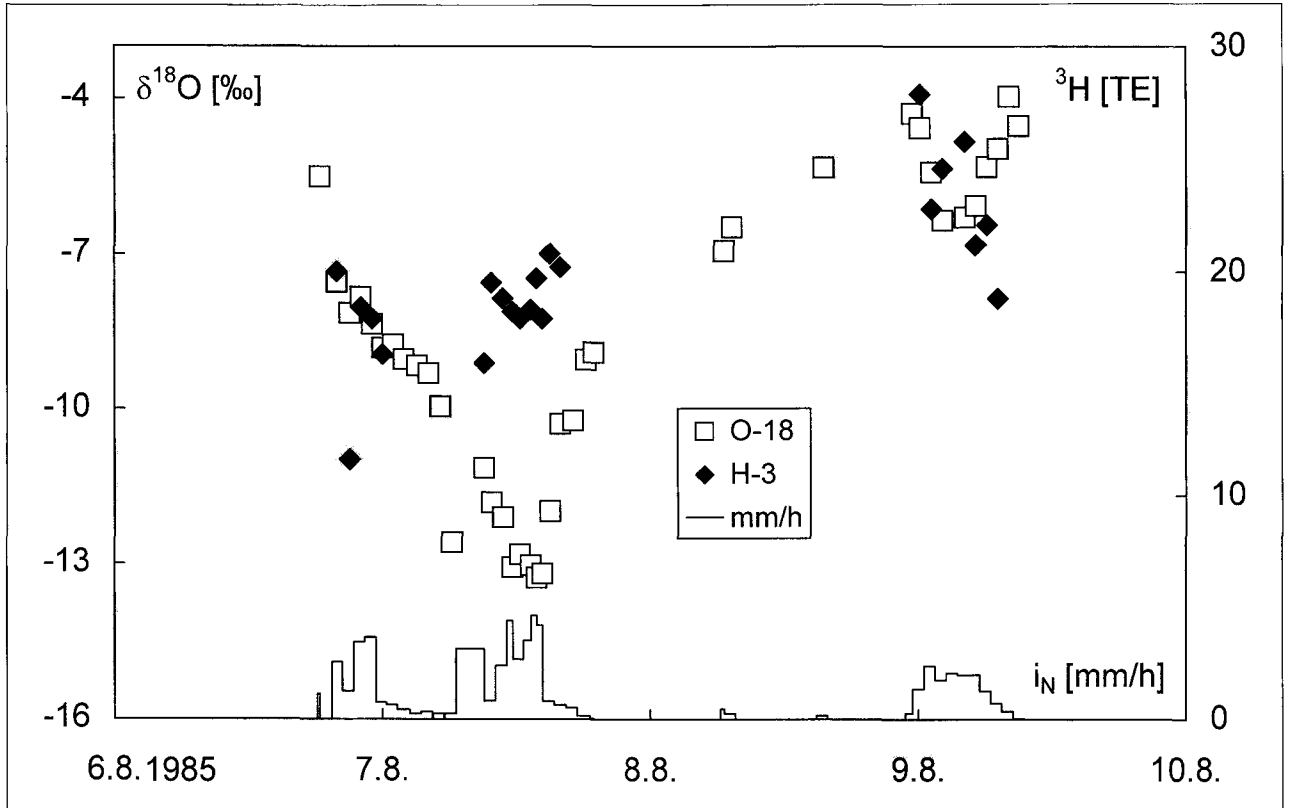


Abb. 3
Verlauf des ^{18}O -Gehaltes in den Niederschlägen vom 6. bis 9. August 1985 bei der Sammelstation Wien, Arsenal (50 mm Niederschlags-
summe) (RANK 1991).

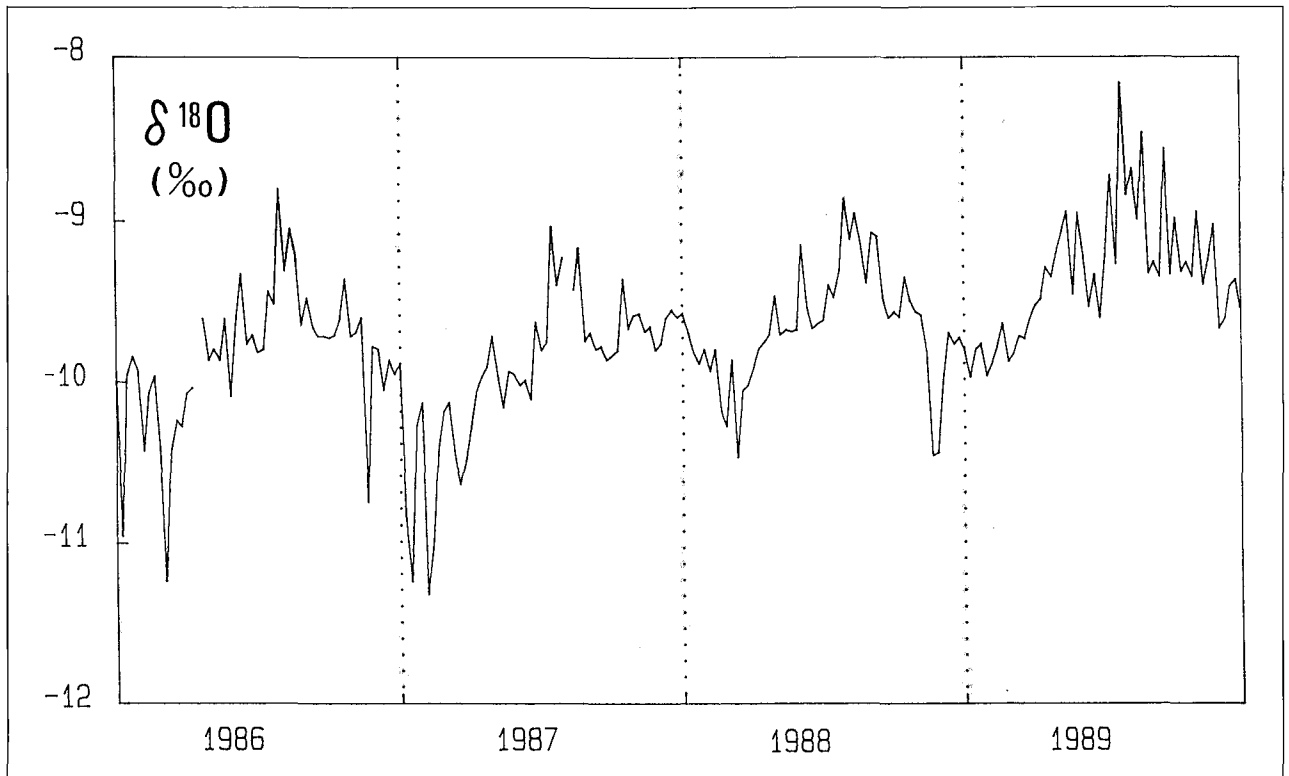


Abb. 4
Zeitlicher Verlauf des ^{18}O -Gehaltes in der Wulka (Wochendurchschnittsproben, Wulkaprodersdorf). Dem näherungsweise sinusförmigen
Verlauf sind einzelne Spitzen als Auswirkung von Niederschlagsereignissen überlagert (RANK 1991).

einer Starkregenperiode im August 1985 einen Schwankungsbereich in der Größenordnung der jahreszeitlichen Schwankungen der Monatsmittelwerte (Abb. 3). Weiters zeigt der Verlauf des ^{18}O -Gehaltes einen deutlichen Mengeneffekt: zu Beginn eines Niederschlagsereignisses werden bevorzugt die schweren Moleküle ausgerechnet, im Laufe des Ereignisses wird das Niederschlagswasser isotopisch immer leichter.

Ein Einzelniederschlag eignet sich – bei entsprechender Niederschlagsmenge – umso besser für isotopehydrologi-

sche Untersuchungen, je stärker die Isotopenverhältnisse des Niederschlagswassers von den Mittelwerten im betrachteten hydrologischen System abweichen. Am Beispiel der Wulka, dem Oberflächenabfluss aus einem kleinen Einzugsgebiet im Nordburgenland, ist deutlich zu erkennen, wie sich die Auswirkungen von Niederschlagsereignissen als Spitzen dem gedämpften, näherungsweise sinusförmigen $\delta^{18}\text{O}$ -Jahresgang überlagern (Abb. 4). Weiters zeichnet sich in Abbildung 4 deutlich ab, dass im Winter und im Sommer – als Folge des $\delta^{18}\text{O}$ -Jahresganges des Nieder-

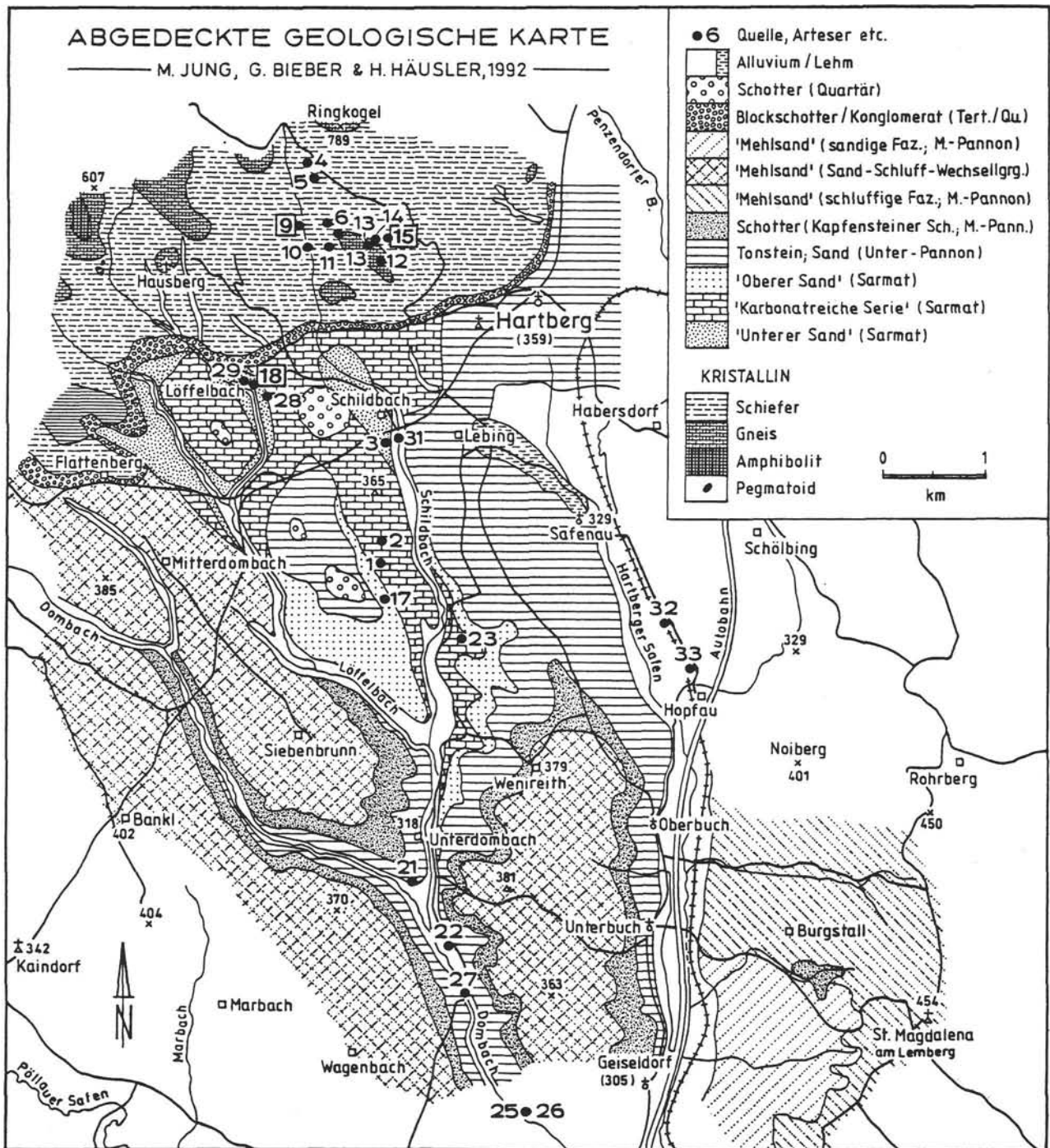


Abb. 5
Abgedeckte geologische Karte des Gebietes Ringkogel-Hartberg (Oststeiermark; HÄUSLER 1995) mit Lage der bearbeiteten Quellen H4-H15, sowie H18.

schlags mit einem Minimum im Winter und einem Maximum im Sommer – mit den größten Abweichungen der Einzelniederschläge vom Mittelwert im System zu rechnen ist. Da in dem in der vorliegenden Arbeit behandelten Untersuchungsgebiet im Winter die Niederschläge im allgemeinen als Schnee fallen und nicht direkt zum Abfluss kommen, bietet sich als günstigste Untersuchungsperiode der Hochsommer an.

Zur Untersuchung von einzelnen hydrologischen Ereignissen müssen sowohl vom Niederschlag als auch am Ausgang des Systems – Quellen, Oberflächenabfluss – mit hoher zeitlicher Auflösung Proben für Isotopenanalysen gesammelt werden. Erst durch den Einsatz automatischer Probensammler und eine weitgehende Automatisierung der Isotopenmessungen sind solch aufwendige Messprogramme möglich geworden. Die große Probenzahl ergibt sich einerseits aus der hohen zeitlichen Dichte der Probenahmen, andererseits daraus, dass die Proben „auf Verdacht“ gesammelt werden müssen, weil weder der Zeitpunkt, die Zeitdauer, noch die isotopische Signifikanz eines Ereignisses im vorhinein bekannt sind. Für die Untersuchungen im Pöllauer Becken war eine Zeitauflösung im Minutenbereich notwendig. Während für die Abflussbeprobung käufliche Sammler zur Verfügung standen, musste für die Niederschlagsammlung ein eigenes Gerät entwickelt werden. Bereits seit 1982 ist am ÖFPZ Arsenal ein Prototyp eines solchen automatischen Niederschlagsprobensammlers in Betrieb (RANK et al. 1991). Für die Untersuchungen im Pöllauer Becken wurde eine feldtaugliche Version entwickelt, die in Kap. 5.2 näher erläutert wird.

3. Hydrogeologische Charakterisierung des Ringkogelgebietes nördlich Hartberg

Die wichtigste Grundlage für die hydrogeologische Bearbeitung des kristallinen Grundgebirges und seiner tertiären Bedeckung (HÄUSLER 1995) bildete die geologische Aufnahme von NEBERT (1951). Detaillierte sedimentologische Untersuchungen im Tertiär führte JUNG (1995) durch. Langjährige Quelluntersuchungen im Ringkogelgebiet gehen auf BRANDL (1954) zurück. Von KOLLMANN (1982) stammt eine hydrogeologische Manuskriptkarte des Blattes Hartberg im Maßstab 1:50.000.

Die kristallinen Gesteine des Ringkogelgebietes (Abb. 5) zählen zum Raabalpenkristallin und sind Bestandteil der Grobgneisdecken des unterostalpinen Semmeringsystems. Das Kristallin besteht überwiegend aus Schiefern und enthält untergeordnet Gneise, Amphibolitkörper und Pegmatoid-Linsen. Die Schiefer sind deutlich im Meterbereich geklüftet und meist nur gering verwittert. Die Bodenbildungen (Braunerden auf silikatischen Gesteinen) erreichen Mächtigkeiten von wenigen dm bis 1,5 m. Eine großräumig verbreitete, tiefgreifende Verwitterung konnte nicht festgestellt werden. Im Gegensatz zu den Schiefen sind die grobkörnigen, sauren Granitgneise bis mehrere Meter tief verwittert, sodass es im Aufschluss oft schwierig ist, anstehenden verwitternden Grobgneis von tertiären Sanden zu unterscheiden.

Das Kristallin ist generell durch eine geringe Permeabilität charakterisiert und weist nur aufgrund der Klüftung eine höhere Wasserdurchlässigkeit auf. Das Material der Verwitterungsdecke ist extrem schlecht sortiert und führt häufig

einen hohen, siebanalytisch nicht differenzierbaren Feinanteil, was den Schluss auf eine geringe Durchlässigkeit zulässt.

Eine erste Interpretation der Jahresganglinien von Quellen des Ringkogels zeigt (HÄUSLER et al. 1993), ähnlich wie die Untersuchungen im nahegelegenen Kristallingebiet nördlich von Pöllau (ANTES 1992; FANK et al. 1993), dass die Wasserspeicherung hauptsächlich in der Verwitterungszone erfolgt. Die aus der Kornsummenkurve des kristallinen Verwitterungsmaterials im Grobgneis des Masenberges ermittelten K_f -Werte betragen $3,7 \times 10^{-6}$ m/s, ein von Dr. W. Kollmann im Verwitterungsmaterial des Steinbruches Schloffereck durchgeführter In-situ-Infiltrationstest ergab eine größenordnungsmäßig 10fache vertikale Versickerungsgeschwindigkeit (ca. 0,05 mm/sec, ANTES 1992), was diesen kristallinen Verwitterungsschutt als durchlässig charakterisiert.

Der im Grenzbereich Kristallin/Tertiär, am Hangfuß des Ringkogels auftretende, wildbachartige Blockschutt tertiären bis quartären Alters (Abb. 5) scheidet wegen seiner geringen lateralen Verbreitung, der unterschiedlichen Mächtigkeit und der sedimentären Inhomogenitäten als nutzbarer Wasserspeicher aus. Er kommt aber als Infiltrationsgebiet und damit als Einspeisungsgebiet für die südlicher gelegenen Quellen im Tertiärbereich in Frage.

Die jungtertiäre Bedeckung des Ringkogel-Kristallins besteht aus lateral und vertikal rasch wechselnden, marinen bis fluviolen, hauptsächlich sandigen bis tonigen Serien des Sarmat und Pannon, denen vereinzelt Karbonathorizonte und Schotterlagen zwischengeschaltet sind (Abb. 5).

Das Sarmat besteht aus einer charakteristischen karbonatreichen Serie, die im Liegenden und Hangenden von einer sandigen Serie begrenzt wird. Während aus einzelnen Fein- bis Mittelsanden der karbonatreichen Serie K_f -Werte von $5,4 \times 10^{-4}$ m/s ermittelt wurden, weisen die im Raum Hartberg aus Pumpversuchen ermittelten K_f -Werte von $1,1 \times 10^{-5}$ m/s bzw. $3,9 \times 10^{-6}$ m/s (Stationär- und Interstationärzustand; Angaben nach HARUM & LEDITZKY 1986) auf eine deutlich geringere Durchlässigkeit dieses für die Grundwassernutzung so wichtigen Aquifers hin. Da in den im Hangenden der karbonatischen Serie auftretenden Sanden wiederholt Erdfälle aufgetreten sind (JUNG 1995), die auf Lösungserscheinungen in den liegenden Kalken und den Abtransport beachtlicher Mengen schluffig-sandigen Materials hinweisen, kann auf eine stärkere Verkarstung der fossilreichen Kalke der „karbonatreichen Serie“ des Sarmat geschlossen werden. Hinweise auf eine Verkarstung liegen auch im Grenzbereich zum unterlagernden Kristallin des Ringkogels vor, wo es infolge eines Übertritts saurer Klüftwässer in die karbonatreiche Serie zu einer Mischungskorrosion gekommen sein dürfte (Bachschwinde!).

Die pannonische Schichtfolge ist durch einen mächtigen basalen Tegel (aufgelassenes Ziegelwerk Neusafenu südlich Hartberg) und die hangenden „Mehlsande“ charakterisiert. Dazwischen treten lokal Schotter („Kapfensteiner Schotterzug“) auf. Der schwach durchlässige Tonstein und Mergel ist östlich der Hartberger Safen als Stauhorizont für zahlreiche größere Quellen von Bedeutung (Schichtstauquellen). Die flächenmäßig größte Verbreitung nimmt das sandige Pannon ein („Mehlsande“ des Mittel-Pannon), für das punktuell K_f -Werte von $3,87 \times 10^{-4}$ m/s (Proben Sandgrube Scherf/Flattendorf) ermittelt wurden (HÄUSLER, JUNG 1992). Generell können wegen der vertikal und lateral rasch wech-

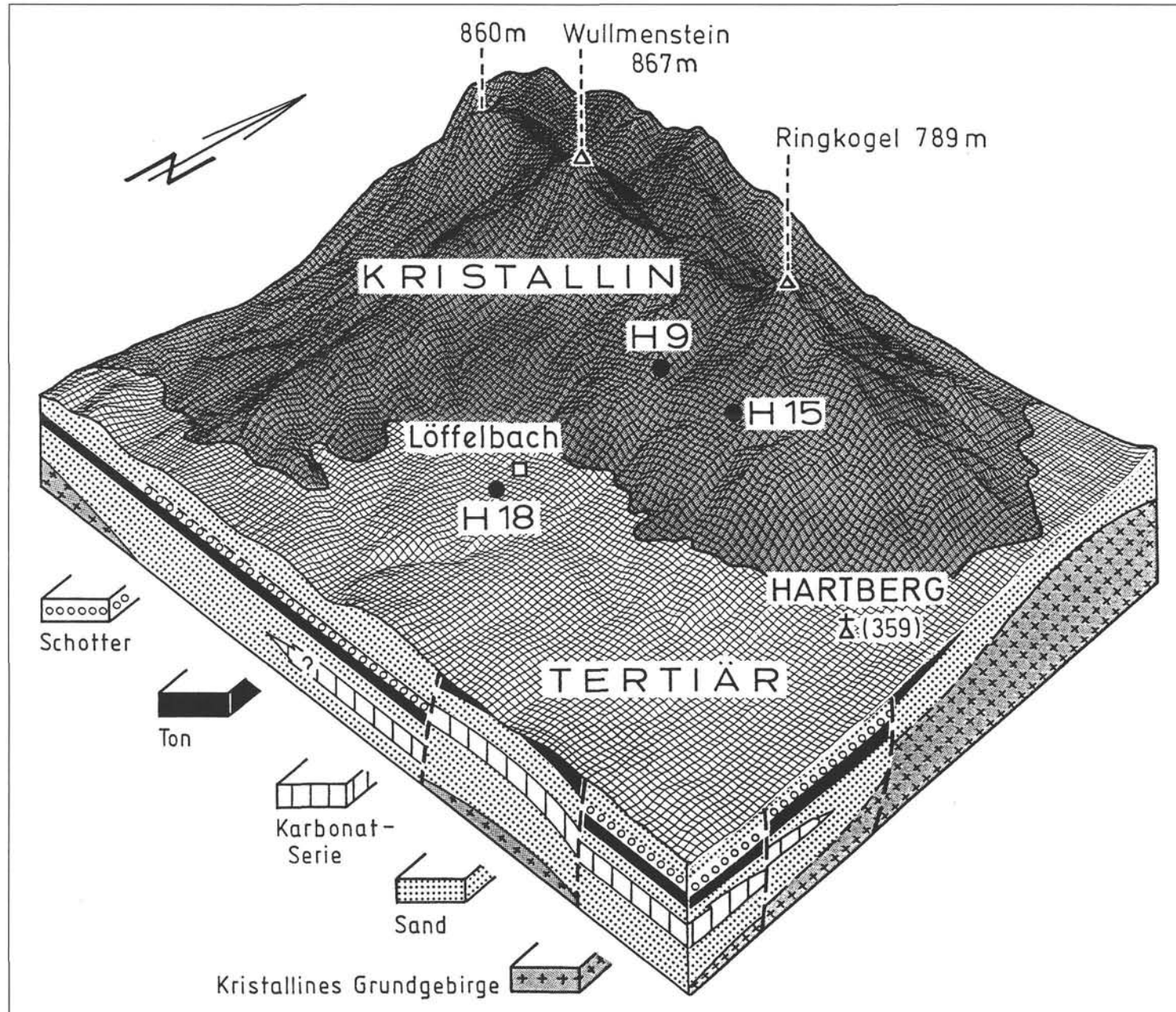


Abb. 6
Schematisches geologisches Blockbild des Gebietes südlich des Ringkogels (HÄUSLER 1995). Die Schiefer und Gneise des Ringkogel-Kristallins tauchen nach Süden ab. Das Tertiär wird von einer bruchtektonisch gestörten, horizontal und vertikal rasch wechselnden Serie mit Sanden, Kalken, Tonsteinen und Schottern aufgebaut.

selnden Fazies der sarmatischen und pannonen Ablagerungen keine formationstypischen Durchlässigkeiten abgeschätzt werden.

Auf eine sehr junge Bruchtektonik weisen Störungen mit Versätzen im dm- bis m-Bereich in den „Mehlsanden“ des Mittelpannon hin. Da das Maximum dieser Brüche parallel zur älteren Talgeneration (Schildbach, Löffelbach) streicht, dürfte diese postmittelpannone Bruchtektonik die Geomorphologie des tertiären Hügellandes stark geprägt haben. Mit einer bevorzugten Verkarstung der karbonatreichen Serie entlang dieser Störungen in NNW-SSE-Richtung ist daher zu rechnen (vgl. Schemablockbild Abb. 6).

Die perennierenden Quellen des Ringkogelgebietes lassen sich aufgrund ihrer Schüttungsverhalten, Wassertemperaturen und Tritiumwerte als Kluftquellen bzw. Kluftfolgequellen charakterisieren. Es handelt sich bei den Quellen H4-H15 um sehr weiche bis weiche Wässer mit einer Gesamt-Karbonathärte unter 5° dH, mit einem pH-Wert zwischen 6 und 7 und einer geringen elektrischen Leitfähigkeit zwischen 50 und 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabelle 1). Die mit mittleren Schüttungen zwischen 0,1 und 0,7 l/sec gering ergebigen Quellen reagieren auf Niederschläge rasch mit einer Schüttungszunahme. Trotz länger dauernder, wiederholter Beobachtungen sind die Schüttungsschwankungen (Quotient Maximalschüttung/Minimalschüttung) ein und derselben Quelle sehr unterschiedlich (HÄUSLER 1995).

Etwa 1000 m südlich der Ringkogelquellen H10-H15 befindet sich am Fuß des Ringkogels die in 5 m Tiefe, im Sarmat, gefasste Quelle H18 („Römerquelle“), die für die vorliegende Studie wegen ihres im Vergleich mit den Ringkogelquellen unterschiedlichen $\delta^{18}\text{O}$ -Jahresganges ausgewählt wurde. H18 zählt aufgrund ihrer Gesamthärte von 15° dH zur Gruppe der „ziemlich harten“ Wässer im Umkreis der karbonatreichen Serie des Sarmat und weist einen pH-Wert um 7,5 und eine relativ hohe Leitfähigkeit um 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf (Tabelle 1).

Die Jahres-Niederschlagssumme beträgt für Hartberg (350 m Seehöhe) durchschnittlich 852 mm. Das seit einem Jahrzehnt größte Monatsmittel ist im November 1991 mit 140 mm Niederschlag aufgetreten, das größtenteils aus wiederholten Starkregenereignissen, wie den Ganztagesregen am 6. 11., 16. 11. und 20./21. 11. resultiert.

Im nordwestlich benachbarten Untersuchungsgebiet bei Pöllau liegen ähnliche geologische und hydrogeologische Verhältnisse vor wie im Gebiet des Ringkogels. Da sich die eigentlichen isotopenhydrologischen Untersuchungen in Pöllau jedoch nur auf das Kleinstezugsgebiet Höhenhansl (bezeichnet mit 1.1.1.1 bzw. 1.1.2.2 in Abb. 7), konzentrieren, wird hier auf eine nähere Beschreibung der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse des Testgebietes Pöllau verzichtet und auf den Projektbericht von ZOJER et al. (1996) verwiesen.

4. Jahreszeitliche Schwankungen der Isotopenverhältnisse im Abfluss und mittlere Verweilzeit der Wässer

4.1 Kleinstezugsgebiet Höhenhansl/Pöllau

Im Zeitraum Juni 1991 bis Juni 1992 wurde ein Jahresgang der Isotopenverhältnisse im Abfluss aus den einzelnen Teilezugsgebieten im Untersuchungsgebiet Pöllau aufgenommen, zusätzlich liegen einige Daten aus dem Jahr 1990 vor. Zwei Probenahmen erfolgten nach Starkregen (22./23. 7. und 21. 11. 1991), sie sollten erste Hinweise auf die Auswirkung von Niederschlagsereignissen auf die Abflusszusammensetzung geben.

Als Beispiel für die Ergebnisse der monatlichen Beprobung zeigt Abb. 8 den Verlauf der Isotopenverhältnisse im Abfluss aus zwei Kleinstezugsgebieten. Im einen Fall (1.1.1.1, 0,74 km²) ist ein etwas ausgeprägterer Einfluss der

Tab. 1

Bezeichnung, Höhenlage, Schüttungsverhalten (Q_{mittel} , Q_{max} , Q_{min}), Schwankungsziffer (Sz; $n = 11$; in l/sec), sowie Temperaturangaben (T_{mittel} , T_{max} , T_{min} in °C), pH (Mittelwert) und elektrische Leitfähigkeit (LF, Mittelwert in $\mu\text{S}/\text{cm}$) der isotopenhydrologisch näher untersuchten Quellen (Beobachtungszeitraum Juli 1991 – November 1992). Die Quellen H4 bis H15 sind Kluftquellen und Kluftfolgequellen im Kristallin, H18 („Römerquelle“) ist eine oberflächennah gefaßte Quelle aus den Sanden bzw. aus der karbonatreichen Serie des Sarmat (Entnahmemenge * gemäß Angabe des Wassermeisters der Stadtwerke Hartberg).

Quelle	Name	Höhe	Q_{mittel}	Q_{max}	Q_{min}	Sz	T_{mittel}	T_{max}	T_{min}	pH	LF
H4	Pfandler	645 m	0,25	0,45	0,14	3,2	9,02	9,8	8,2	6,7	95
H5	Doppelhofer	620 m	0,19	0,5	0,07	7,1	8,81	9,5	8,3	6,5	98
H6	Lebenbauer II	570 m	0,2	0,4	0,08	5,0	9,2	10,1	8,6	6,2	82
H7	Allmer	540 m	0,12	0,3	0,06	5,0	8,96	10,2	7,7	6,5	81
H9	Lebenbauer I	540 m	0,51	0,83	0,42	2,0	9,78	10,4	9,3	6,2	92
H10	Jagerhofer	510 m	0,3	0,9	0,1	9,0	9,65	10,2	9,3	6,0	58
H11	Scheiner	510 m	0,22	0,3	0,11	2,7	9,86	10,6	9,4	6,2	71
H12	Brühl	475 m	0,74	1,4	0,26	5,4	9,31	10,2	8,0	6,7	151
H13	Hofer	530 m	0,29	1,5	0,04	37,5	11,01	13,9	8,6	6,3	157
H14	Lebenbauer IV	530 m	0,2	0,8	0,07	11,4	10,51	11,7	9,4	6,2	134
H15	Lebenbauer III	525 m	0,22	0,6	0,11	5,5	11,1	12,6	9,7	6,5	196
H18	„Römerquelle“	360 m	2,5*	–	–	–	10,84	11,8	10,2	7,5	495

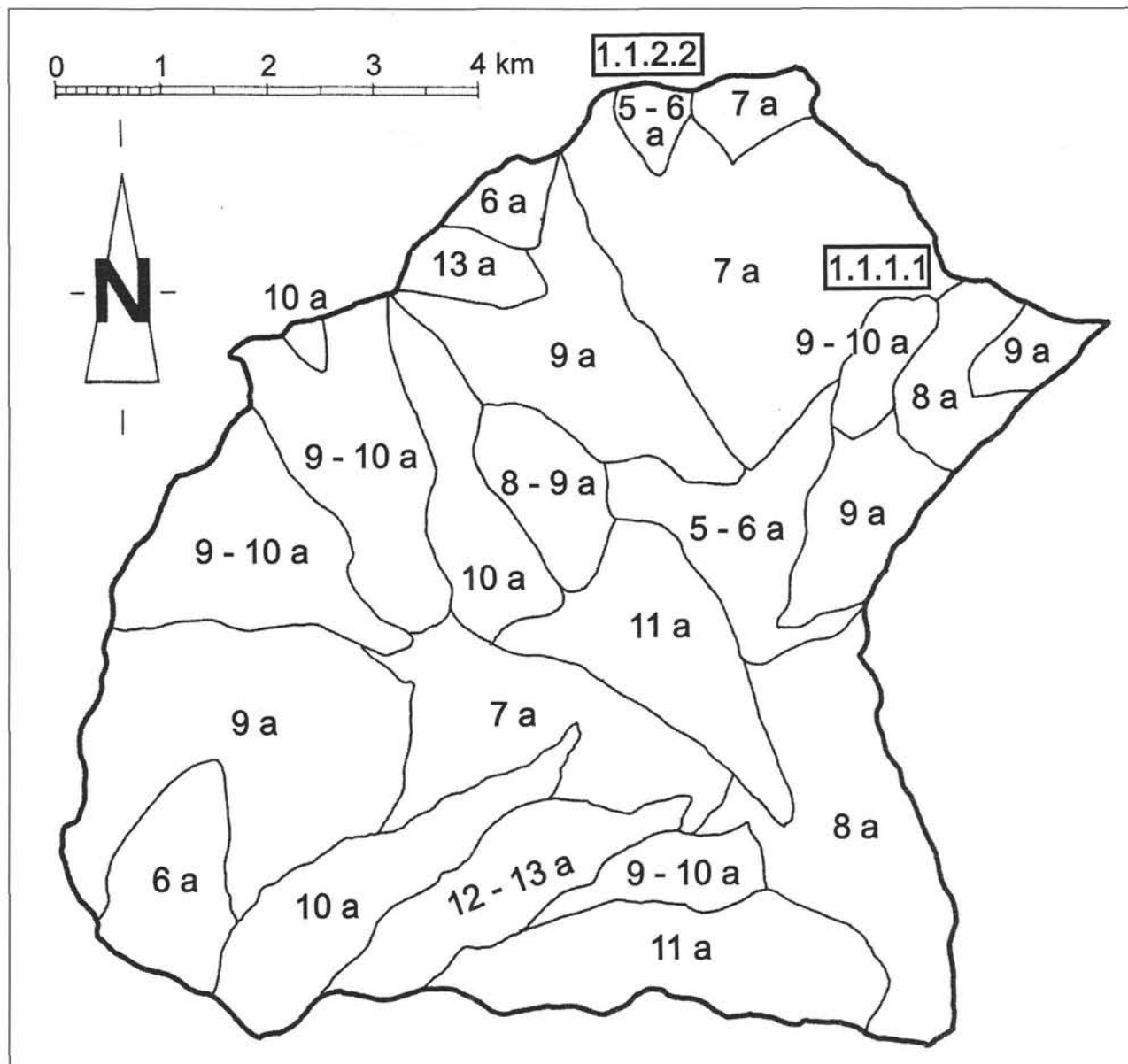


Abb. 7
Mittlere Verweilzeit des Wassers in den Teileinzugsgebieten des Pöllauer Beckens, abgeschätzt aus ^3H -Daten unter Zugrundelegen des Exponentialmodelles (Teileinzugsgebiet 1.1.2.2: Höhenhansl, Einteilung nach ZOJER et al. 1996).

beiden Niederschlagsereignisse zu sehen, beim Einzugsgebiet Höhenhansl (1.1.2.2, $0,43 \text{ km}^2$) ist dieser Einfluss verhältnismäßig gering. Von den Niederschlagsereignissen abgesehen zeigen die Isotopenverhältnisse nur geringe jahreszeitliche Schwankungen, was bereits auf eine größere Verweilzeit des Wassers des Basisabflusses hindeutet. Dies wird durch die Auswertung der ^3H -Daten bestätigt. Nach dem Exponentialmodell (siehe MOSER, RAUERT 1980) ergeben sich für den Basisabfluss mittlere Verweilzeiten zwischen 6 und 13 Jahren (Abb. 7, PAPESCH, RANK 1996). Diese für Hanglagen verhältnismäßig hohen Verweilzeiten lassen den Schluss zu, dass der Grundwassertransport zumindest zum Teil im Festgestein erfolgt (Kluftwasserleiter).

Lassen sich die Veränderungen der Isotopenverhältnisse während des Ereignisses vom 21./23. 7. näherungsweise einem direkten Einfluss von Niederschlagswasser zuordnen – bei gleichzeitigem Anstieg des Basisabflusses –, so ist

dies beim Ereignis vom 21. 11. nicht möglich. Obwohl der Ereignisniederschlag einen niedrigeren ^{18}O -Gehalt aufweist (Abb. 9), steigt der ^{18}O -Gehalt im Abfluss signifikant an. Daraus ist zu schließen, dass neben dem Wasser des Basisabflusses, wie es vor dem Ereignis vorliegt, und einem möglichen Anteil von direkt abfließendem Niederschlagswasser zumindest eine weitere Abflusskomponente vorhanden sein muss, die für das ^{18}O -Maximum verantwortlich ist. Dieses Ereignis wurde an Hand der Quellen im benachbarten Ringkogelgebiet näher untersucht.

4.2 Ringkogelgebiet/Hartberg

Nach stärkeren Niederschlägen wurden im Gebiete des Ringkogels bei Hartberg am 21. 11. 1991 bei erhöhter Schüttung der Quellen Proben für Isotopenanalysen entnommen (HÄUSLER et al. 1993). Bei den vorwiegend Kluft-

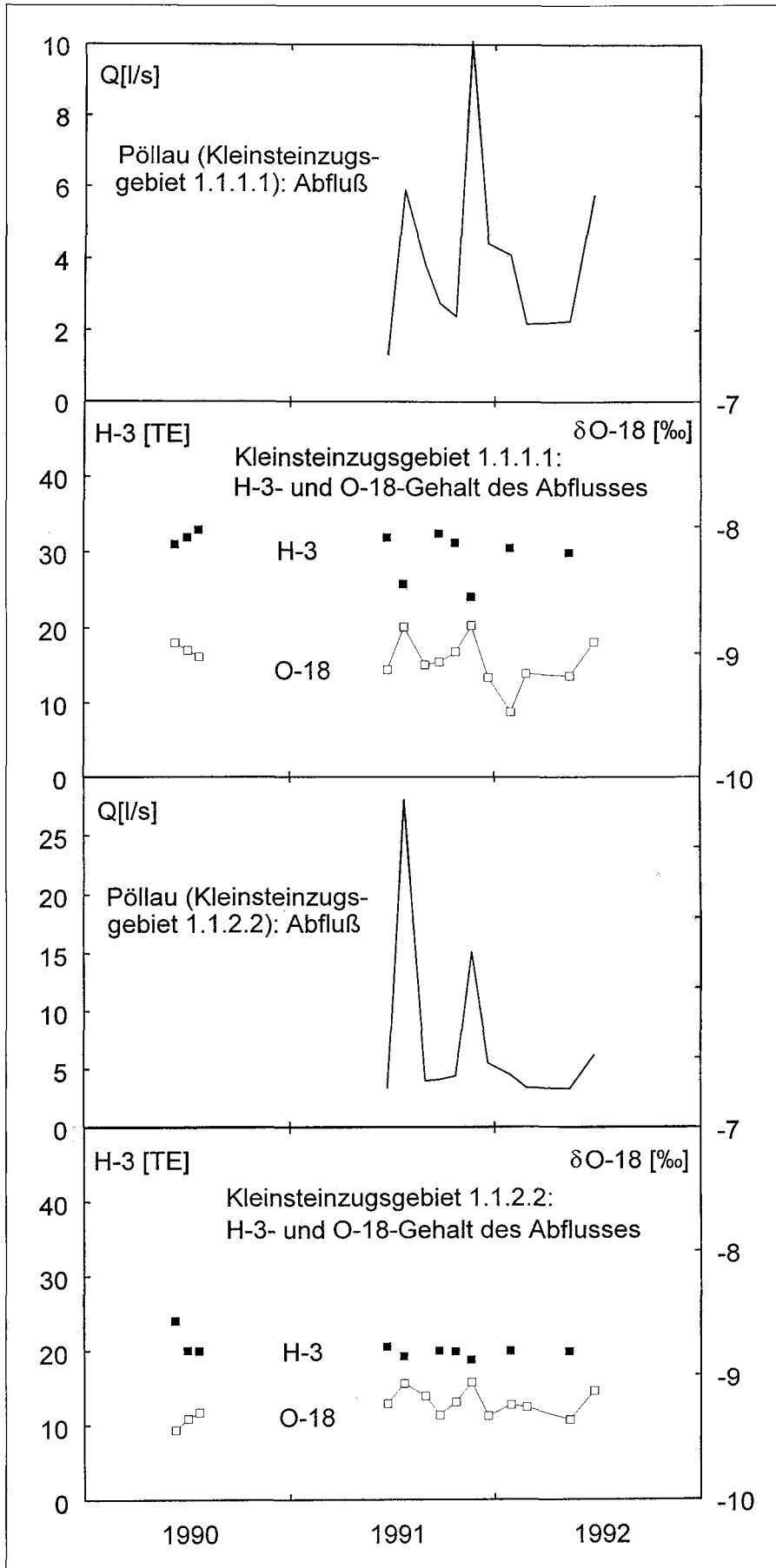


Abb. 8
Testgebiet Pöllau: Jahreszeitlicher
Verlauf des 3H - und ^{18}O -Gehaltes im
Abfluss und zugehörige Abflussdaten
für die Kleinstzugsgebiete
1.1.1.1 und 1.1.2.2 (Höhenhansl).

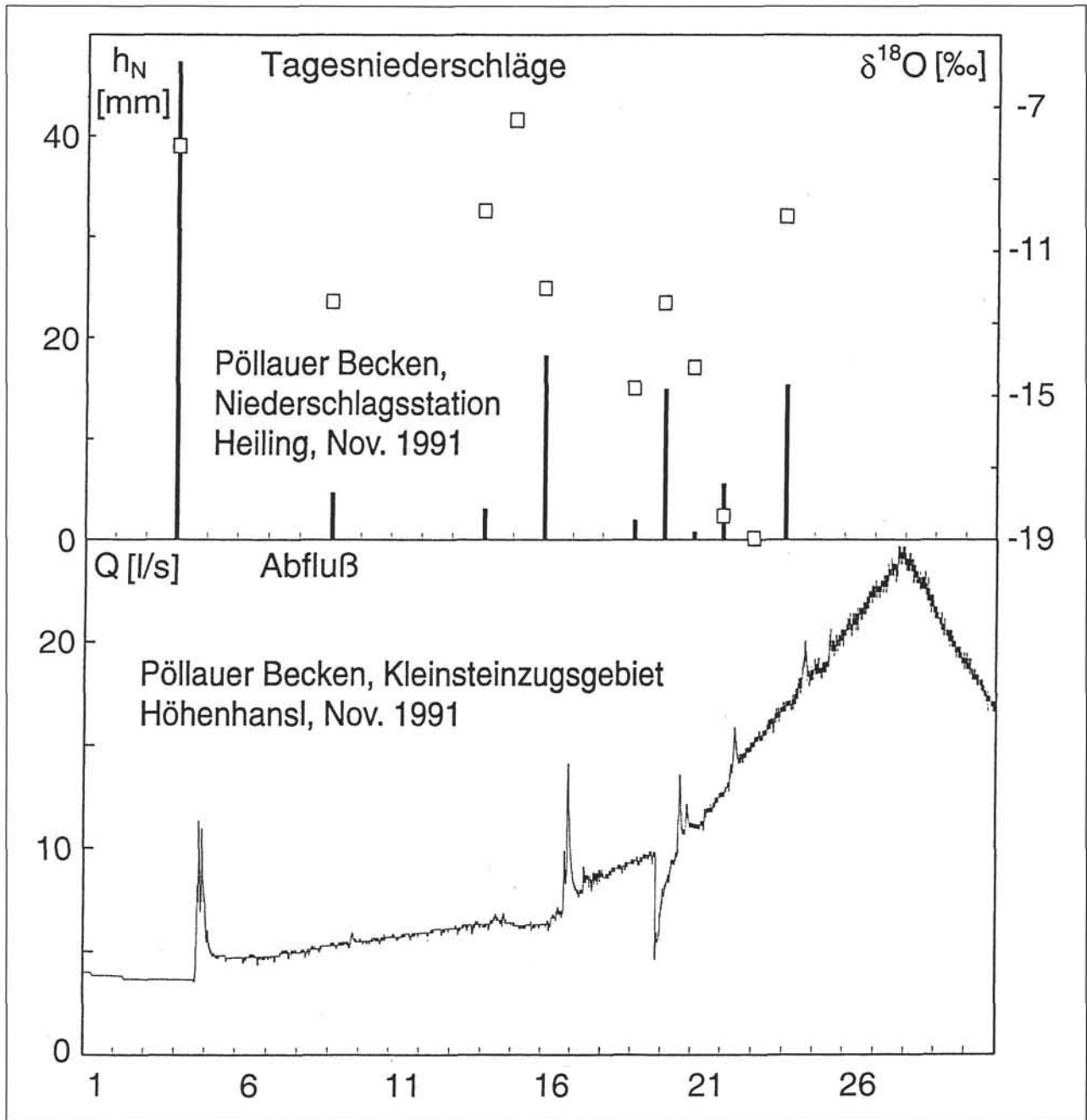


Abb. 9

Tägliche Niederschlagshöhen, $\delta^{18}O$ -Werte der Tagesniederschläge und Abflussverhältnisse im Pöllauer Becken im November 1991. Ursache für das Minimum im Abfluss am 19. 11. dürfte anthropogener Einfluss sein (Wasserentnahme mit Pumpe).

wasser führenden Quellen des Kristallinbereiches trat dabei ein kurzfristiger, signifikanter Anstieg im ^{18}O -Gehalt auf (Abb. 10, Quellen H9 und H15), während die im Tertiärbereich austretenden Quellen keine Schwankungen im ^{18}O -Gehalt aufwiesen (HÄUSLER et al. 1993, Beispiel Quelle H18). Die mittlere Verweilzeit des Basisabflusses der Ringkogelquellen beträgt ähnlich wie im Testgebiet Pöllau 7 bis 13 Jahre (Tab. 2). Die Quellwässer des Tertiärbereiches zeichnen sich durch höhere Verweilzeiten aus (H18). Dieses unterschiedliche Verhalten der Quellwässer aus dem Tertiärbereich ist offensichtlich auf die mächtigeren bzw. zum Teil feinkörnigeren Deckschichten zurückzuführen.

Deuteten die erhöhten ^{18}O -Gehalte der Ringkogelquellen (Tab. 2) am 21. 11. zunächst auf einen erhöhten Abfluss von einige Monate gespeicherten Sommerniederschlägen hin, so stellten in der Folge die Ergebnisse von 3H -Untersuchungen diese Annahme in Frage. Alle Kluftquellen wiesen am 21. 11. ein signifikantes Minimum im 3H -Gehalt auf (Rückgang bei H9 von 36 auf 28 TE, bei H15 von 28 auf 20 TE), während die Quelle H18 im Tertiärbereich ebenso wie im ^{18}O -Gehalt und bei der Schüttung auch im 3H -Gehalt keine Änderung zeigte. Sommerniederschläge – gekennzeichnet durch das jahreszeitliche 3H -Maximum (ca. 25 TE) – können demnach nicht hauptverantwortlich für die erhöhten ^{18}O -Gehalte am 21. 11. sein.

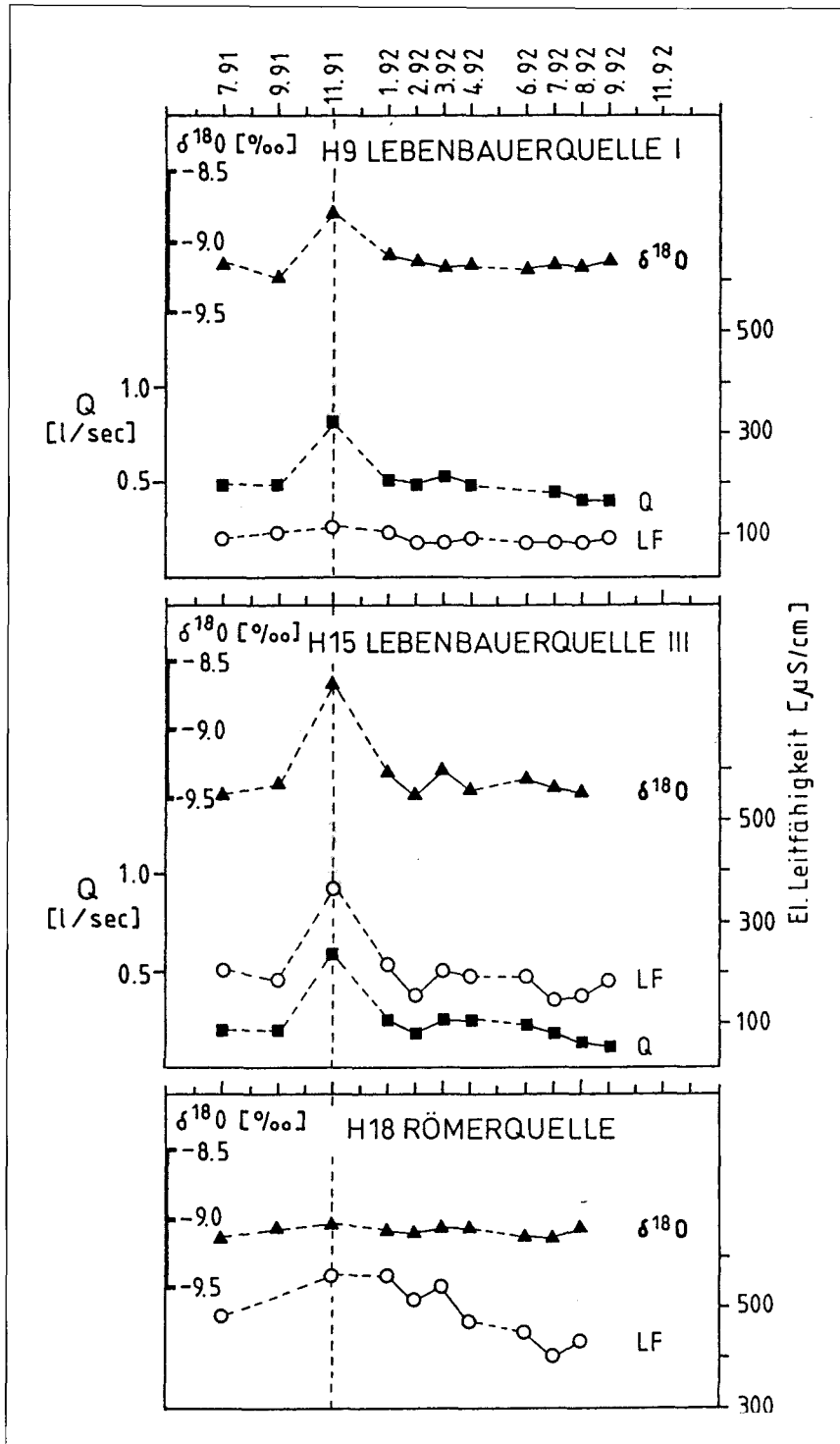


Abb. 10
 ^{18}O -Gehalt, Leitfähigkeit (LF) und Schüttung (Q) von zwei Kluftquellen im Gebiet des Ringkogels (H9, H15) sowie einer Quelle im Tertiär am Fuße des Ringkogels (H18). Die Kluftquellen reagieren auf die Starkniederschläge im November 1991 mit einem signifikanten kurzfristigen Anstieg des ^{18}O -Gehaltes, der nicht einem Direktabfluss von Niederschlagswasser zuzuschreiben ist.

Näheren Aufschluss über die Zusammensetzung des Abflusses am 21. 11. konnte nur eine eingehende Analyse der Eingangsgröße – des Niederschlags – bringen. Aus dem engeren Untersuchungsgebiet standen weder Niederschlags- oder Abflussdaten noch Niederschlagsproben für Isotopenmessungen zur Verfügung. Es wurde daher versucht, die hydrologischen Verhältnisse im November 1991 aus Messdaten vom ungefähr 10 km entfernten Pöllauer Becken näherungsweise zu rekonstruieren (Abb. 9). Wenn auch die Daten wegen lokaler Variationen im Niederschlag und in den Isotopenverhältnissen nicht unmittel-

bar übertragbar sind, so lassen sie doch qualitative Aussagen zu.

Die Isotopendaten der Tagesniederschläge der letzten sechs Monate (Juni bis November 1991) ließen nur ein einziges Ereignis als Ursache des Isotopensignals vom 21. 11. in Frage kommen: Am 4. 11. gab es einen Starkregen (45 mm Niederschlagshöhe im Testgebiet Pöllau) mit einem für diese Jahreszeit ungewöhnlich hohen ^{18}O -Gehalt (Abb. 9) und einem der Jahreszeit entsprechend niedrigen 3H -Gehalt (um 5 TE). Die der Beprobung unmittelbar vorangehenden Niederschläge weisen hingegen niedrige ^{18}O -

Tab. 2

Anstieg des $\delta^{18}\text{O}$ -Wertes und Rückgang des ^3H -Gehaltes der Ringkogelquellen (H4-H15) zur Zeit des Starkregenereignisses (20./21. 11. 1991) im Vergleich zu den Werten des Basisabflusses (11. 9. bzw. 4. 7. 1991). Die Werte der Quelle H18 als Beispiel für den Tertiärbereich am Fuße des Ringkogels bleiben konstant. Die mittlere Verweilzeit der Quellwässer (Wasseralter) wurde aus den ^3H -Daten mit Hilfe des Exponentialmodelles abgeschätzt (PAPEsch, RANK 1996).

Quelle	$\delta^{18}\text{O}$ (‰) 11. 9. 1991	$\delta^{18}\text{O}$ (‰) 21. 11. 1991	^3H (TE) 4. 7. bzw. 11. 9. 91	^3H (TE) 21. 11. 1991	Mittlere Verweilzeit d. Basisabflusses (a)
H4	-9,39	-9,02	38,6	25,7	12-13
H5	-9,38	-8,88	33,0	22,1	8-9
H6	-9,36	-8,92	37,9	28,2	12-13
H7	-9,29	-8,91	34,4	24,9	9-10
H9	-9,25	-8,79	35,7	28,3	11-13
H10	-9,32	-8,60	33,1	26,1	9-10
H11	-9,47	-9,15	37,9	32,6	11-13
H12	-9,22	-8,98	29,3	22,1	8
H13	-9,18	-8,78	27,0	17,0	7-9
H14	-9,41	-8,96	33,3	19,0	9-10
H15	-9,39	-8,67	28,0	20,3	7-9
H18	-9,07	-9,04	46,9	47,5	20-30

Gehalte auf und scheiden als Ursache für das ^{18}O -Maximum der Quellwässer am 21. 11. aus. Diese Niederschlagswässer können daher auch am Abfluss am 21. 11. nicht oder nur untergeordnet beteiligt sein.

Offensichtlich wird das versickernde Niederschlagswasser vom 4. 11. hauptsächlich in der ungesättigten Zone gespeichert und erhöht den Feuchtigkeitsgehalt des Bodens, trägt aber kurzfristig noch nicht entscheidend zu einem Anstieg der Quellschüttung bei (Abb. 9). In der Folge wird dieses Wasser durch weitere Starkniederschläge mobilisiert und gelangt kurzfristig zu den Quellen bzw. Oberflächengerinnen.

Als hydrologisch nur bedingt aussagekräftig erwies sich der Verlauf der Leitfähigkeit des Quellwassers während der Starkregenperiode (Abb. 10). Während die Quellen H9 und H15 sich isotopisch und in der Schüttung ähnlich verhalten, zeigen sich bei der Leitfähigkeit signifikante Unterschiede. Bei H9 liegt der Wert niedriger und ändert sich auch während der Starkregenperiode kaum, während H15 bei höherem Ausgangswert ein deutliches Maximum im Nov. 1991 aufweist. Ursache hierfür dürften Einflüsse der Landwirtschaft in der Verwitterungsschicht im Einzugsgebiet von H15 sein. Während der Starkregenperiode führt dann der – entsprechend der Modellvorstellung in Kap. 6 – längere Transportweg des versickerten Niederschlagswassers in der Verwitterungszone zu einem Anstieg der Leitfähigkeit.

5. Isotopen-Untersuchungen bei Niederschlagsereignissen im Kleinstinzugsgebiet Höhenhansl/Pöllau

5.1 Ereignis vom 18. 8. 1991

Für diesen Vorversuch im Gebiet Höhenhansl wurde das Niederschlagswasser mit einem provisorischen Sammler (Trichter) und händischer Bedienung im Halbstundenab-

stand gesammelt. Für die Abflussbeprobung standen die im Handel erhältlichen automatischen Sammler zur Verfügung. Der Verlauf der Isotopenverhältnisse des Abflusses zeigt deutlich Änderungen mit dem Einsatz des Niederschlages (Abb. 11). Allerdings steigen die ^{18}O -Gehalte nicht so stark an, dass der zusätzliche Abfluss ausschließlich dem Niederschlag zugeschrieben werden könnte. Aus dem Verlauf des ^3H -Gehaltes folgt, dass der zusätzliche Abfluss auch nicht von einem vermehrten Abfließen von Wasser, wie es dem Basisabfluss vor dem Ereignis entspricht, stammen kann. Der signifikant über dem ^3H -Gehalt des Niederschlags liegende ^3H -Gehalt des Abflusses ist nur durch die Beteiligung einer weiteren Wasserkomponente zu erklären, die einen verhältnismäßig hohen ^3H -Gehalt und einen im Vergleich zum Niederschlag etwas niedriger gelegenen ^{18}O -Gehalt besitzt. Dafür kommen in erster Linie einige Wochen vorher eingesickerte Niederschlagswässer (Sommer-niederschläge) in Frage.

Diese Überlegungen führen zur Erkenntnis, dass sich der „Basisabfluss“ während eines Niederschlagsereignisses nicht nur betragsmäßig sondern auch der Herkunft des Wassers nach verändert. Es ist neben dem Wasser des Basisabflusses vor dem Ereignis mit einer mittleren Verweilzeit im Untergrund von ungefähr sechs Jahren zumindest eine weitere Komponente mit verhältnismäßig kurzer Verweilzeit beteiligt. Demnach reicht ein Zweikomponentenmodell (Basisabfluss, direkter Niederschlagsabfluss) nicht für die Beschreibung der Abflusszusammensetzung im Untersuchungsgebiet aus.

Dieses Ergebnis legt es nahe, den „Basisabfluss“ im Untersuchungsgebiet in zwei Komponenten aufzuspalten: einerseits den eigentlichen Basisabfluss (mittlere Verweilzeit 6-13 Jahre) und eine kurzfristige Komponente (einige Tage bis wenige Monate mittlere Verweilzeit). Der eigentliche Basisabfluss bleibt dabei während des Niederschlags-/Abflussereignisses mehr oder weniger konstant, während der kurzfristige Anteil rasch ansteigt und ebenso rasch wieder abklingt, was für eine Zwischenspeicherung in der

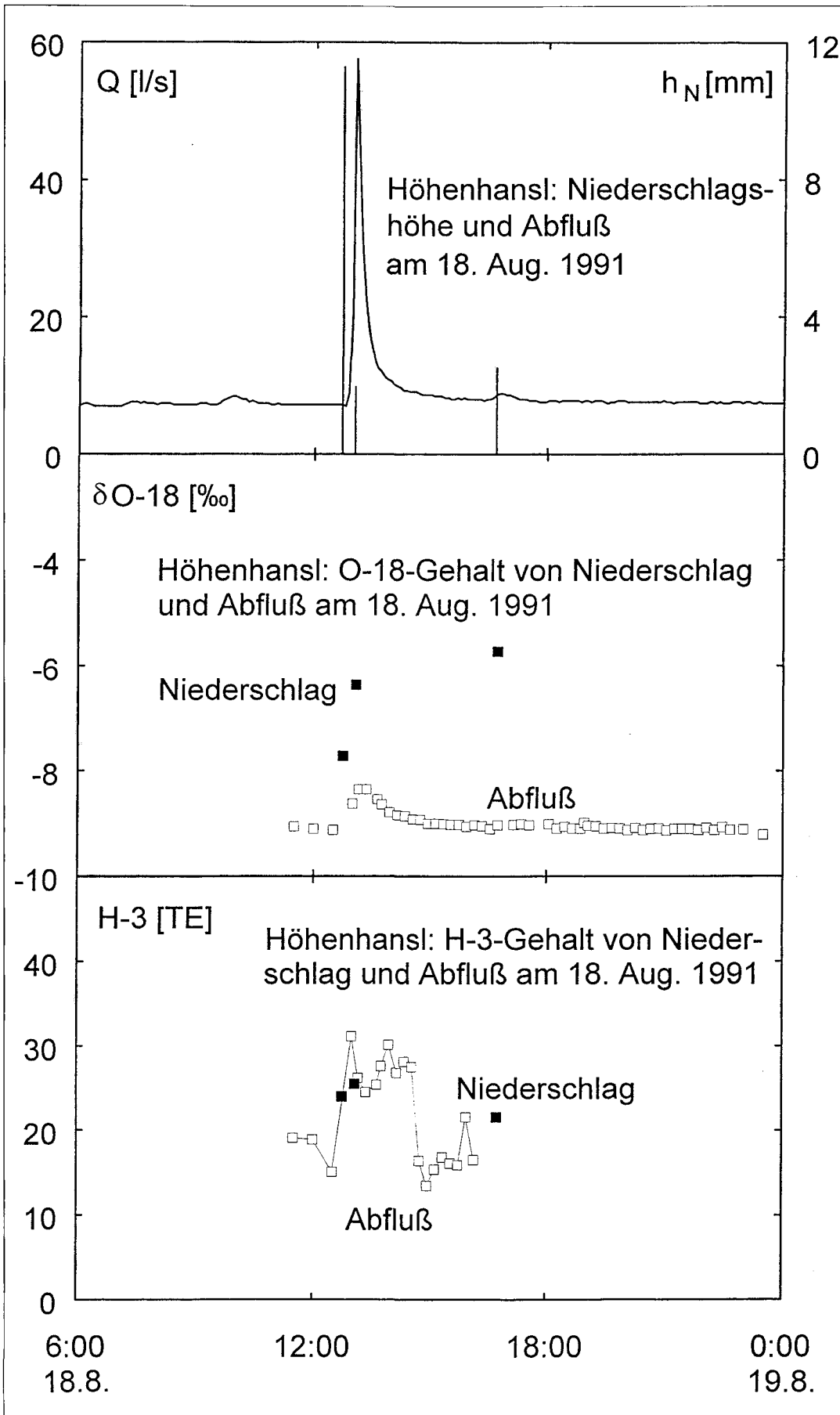


Abb. 11
Kleinstzugs-
gebiet Höhen-
hansl/Pöllau: Ab-
fluss und Nieder-
schläge am 18.
8. 1991; ^{18}O - und
 3H -Gehalt von
Niederschlag
und Abfluss.

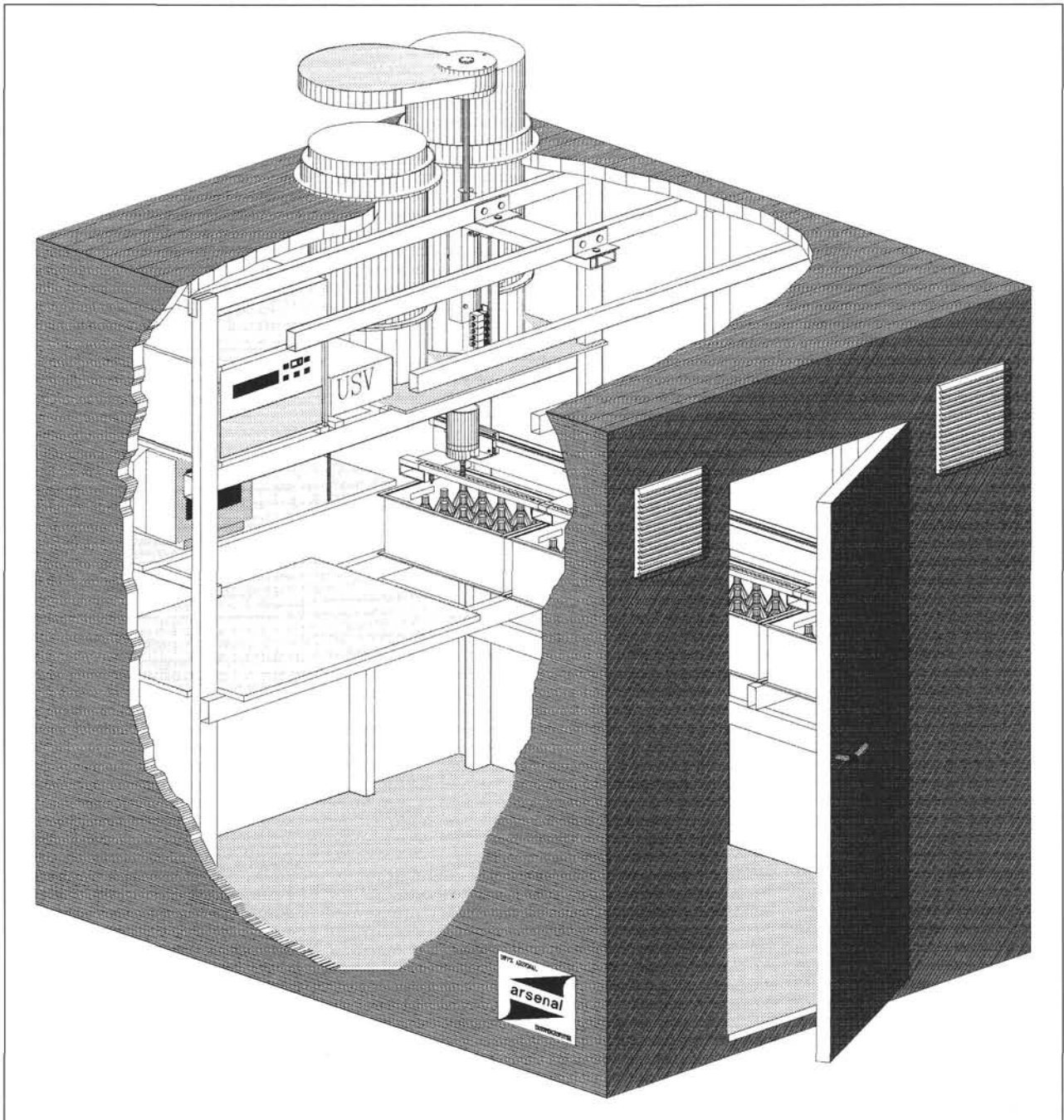


Abb. 12

Niederschlagssammler für Ereignisbeprobungen. Das Gerät erlaubt die fraktionierte Sammlung von Proben während eines Niederschlagsereignisses mit Vorwahl der Sammelzeit bzw. der Sammelmenge. Das Gerät schaltet sich mit Beginn bzw. Ende des Niederschlagsereignisses automatisch aus. Der Sammler wurde am ÖFPZ Arsenal entwickelt und im Kleinstzugsgebiet Höhenhansl eingesetzt (Abmessungen: 3×2×2 m).

ungesättigten Zone spricht. Dieser rasche Anstieg wirft auch die Frage der Mobilisierung dieser Wässer durch Übertragung des vom einsickernden Niederschlagswasser ausgeübten Druckes über Bodenluftpolster auf.

5.2 Ereignis vom 11. 6. 1993

Im Sommer 1993 wurde ein selbstentwickelter automatischer Sammler für die Untersuchung von Niederschlagsereignissen eingesetzt (PAPESCH, RANK 1996). Der Samm-

ler ist in einem Container eingebaut (Abb. 12) und hat sich nach einigen Anfangsschwierigkeiten – Stromausfälle – im Feldbetrieb bewährt. Die Probenbehälter werden nach einem vorgegebenen Programm – Sammelzeit- bzw. Sammelmengenvorgabe – gewechselt und die zugehörigen Messdaten auf einem Datenträger aufgezeichnet. Auffällig ist, dass die durch den automatischen Niederschlagsprobensammler registrierten Niederschlagshöhen kleiner sind als die durch die Messwippen bei den Niederschlagsstationen in der näheren Umgebung gemesse-

nen. Die Ursachen sind noch nicht geklärt. Neben örtlichen Unterschieden in der Niederschlagstätigkeit könnte auch die unterschiedliche Sammelhöhe – beim automatischen Sammler ca. 2 m über Gelände – dafür verantwortlich sein.

Auch bei diesem Ereignis, bei dem der $\delta^{18}\text{O}$ -Wert des Niederschlags um ungefähr 4‰ über dem des Basisabflusses liegt – allen Ereignissen gemeinsam ist ein $\delta^{18}\text{O}$ -Wert des Basisabflusses von -9.1 bis -9.2‰ – und somit ein starkes Eingangssignal vorliegt, weist der

^{18}O -Gehalt des Abflusses ein Maximum als Folge des Niederschlagsereignisses auf (Abb. 13). Allerdings muss auch hier der „Basisabfluss“ während des Ereignisses stark angestiegen sein, sonst hätte dieses Maximum noch wesentlich ausgeprägter ausfallen müssen. Die ^3H -Daten geben in diesem Falle keine Auskunft über eine mögliche Veränderung in der Zusammensetzung des „Basisabflusses“ während des Ereignisses, da sich die ^3H -Gehalte von Niederschlag und Abfluss (beide um 18 TE) – zufällig – nicht signifikant unterscheiden.

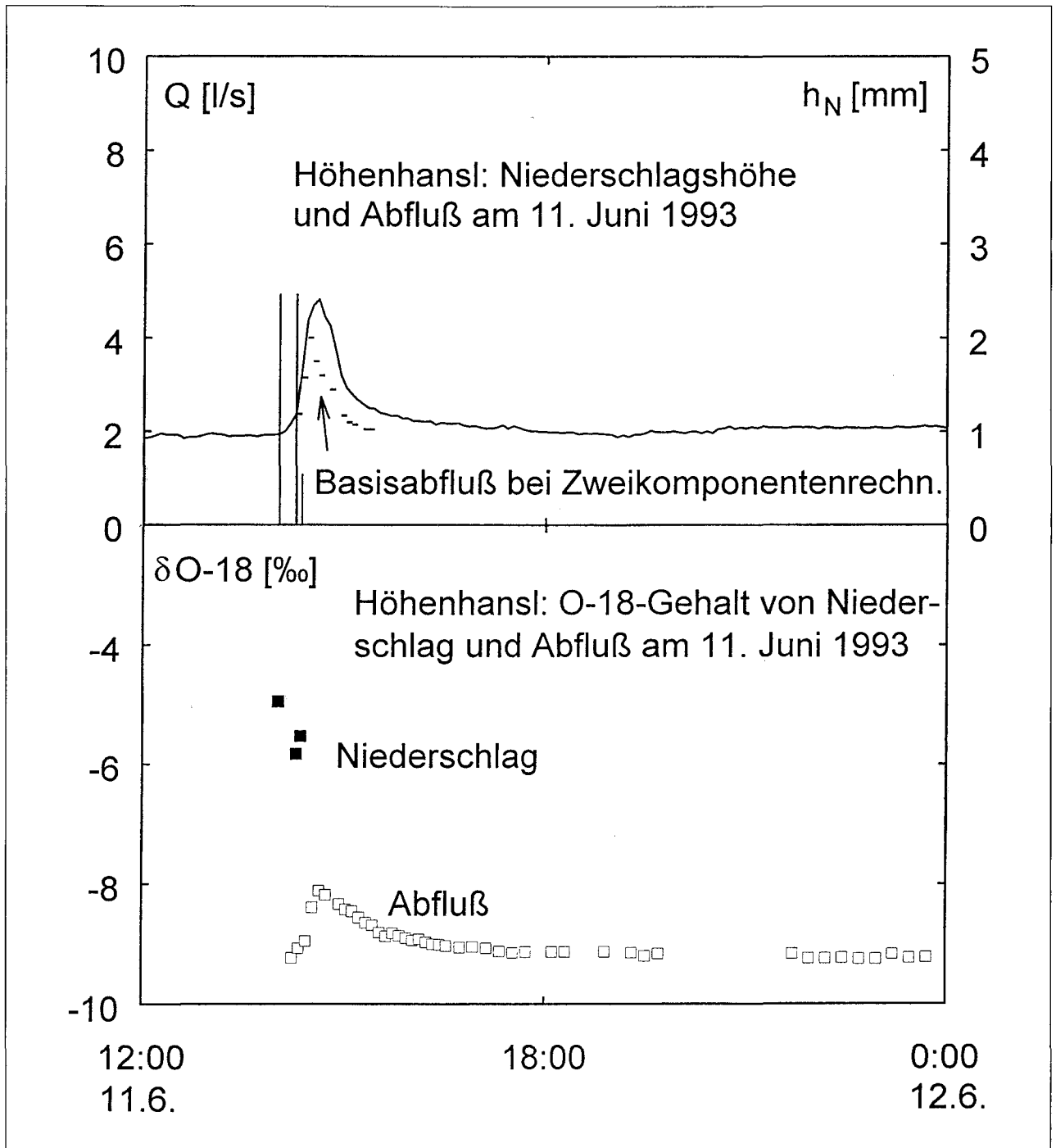


Abb. 13
Kleinstzugsgebiet Höhenhansl/Pöllau: Abfluss und Niederschläge am 11. 6. 1993 sowie „Basisabfluss“, berechnet nach dem Zweikomponentenmodell; ^{18}O -Gehalt von Niederschlag und Abfluss.

5.3 Ereignis vom 23./24. 6. 1993

Der Verlauf der Isotopenverhältnisse während der ersten – kleineren – Abflussspitze (Abb. 14) ist ähnlich zu interpretieren wie bei den Ereignissen vom 18. 8. 1991 und 11. 6. 1993: Anstieg des Basisabflusses während des Ereignisses, der Verlauf des ^3H -Gehaltes weist auf eine Veränderung in der Zusammensetzung des „Basisabflusses“ während des Ereignisses hin. Während der von einem 4 Stunden später einsetzenden Starkregen ausgelösten wesentlich ausgeprägteren Abflussspitze – bis 33 l/s bei 2 l/s

Basisabfluss vor dem Ereignis – verändert sich der ^{18}O -Gehalt zunächst überhaupt nicht. Das heißt, dass während des größten Teils der Abflussspitze keine nennenswerten Mengen von direkt abfließendem Niederschlagswasser am Abfluss beteiligt sind. Erst nach weitgehendem Abklingen der Abflussspitze steigt der ^{18}O -Gehalt an, was auf Anteile von direkt abfließendem Niederschlagswasser hindeuten könnte. Aus dem Verlauf der ^3H -Werte während des Ereignisses folgt wiederum, dass ein großer Teil des „Basisabflusses“ anderer Herkunft ist als das Wasser des Basisabflusses vor dem Ereignis.

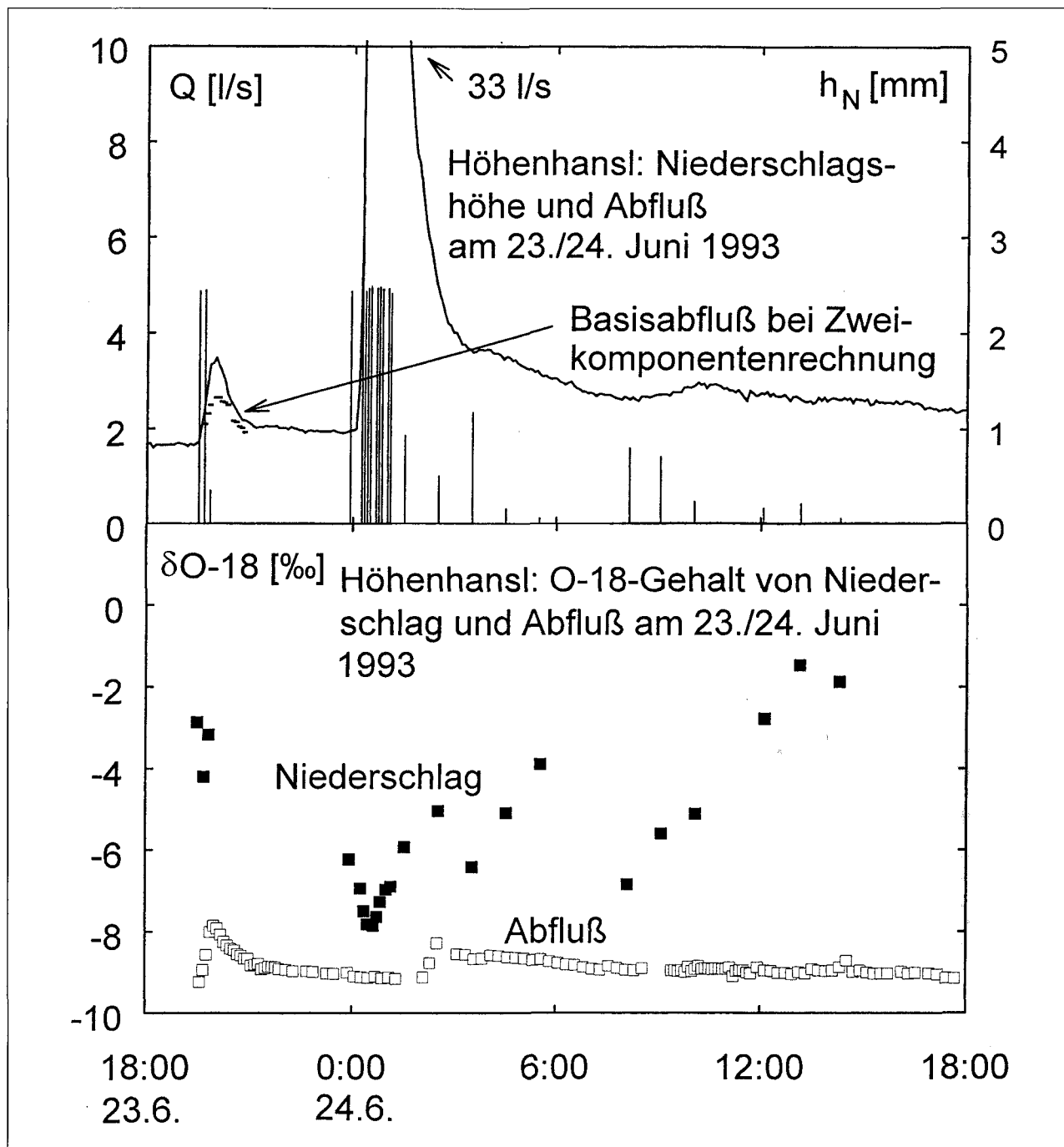


Abb. 14
Kleinstzugsgebiet Höhenhansl/Pöllau: Abfluss und Niederschläge am 23./24. 6. 1993 sowie „Basisabfluss“, berechnet nach dem Zweikomponentenmodell; ^{18}O -Gehalt von Niederschlag und Abfluss.

Auch hier erhebt sich die Frage, welche Rolle neben dem Feuchtegehalt der ungesättigten Zone – „Vorbefeuchtung“ – die Druckübertragung über Bodenluftpolster spielt. Erst durch diese erscheint ein derart umfangreiches Auspressen von im Untergrund gespeicherten Wässern unter dem Einfluss des infiltrierenden Niederschlagswassers möglich.

5.4 Ereignis vom 29. 9. 1993

Bei diesem Ereignis ist die Niederschlagstätigkeit auf einen zwölfstündigen Zeitraum verteilt (Abb. 15). Das hat zur

Abb. 16

Modellvorstellung zur Abflusentstehung bei Starkregeneignissen im Bereich des kristallinen Randgebirges der Oststeiermark. Während im Normalfall das infiltrierende Niederschlagswasser in den Kluftwasserleiter gelangt, bildet sich nach Starkregen bei entsprechend hoher Bodenfeuchte oberhalb des Kluftsystems eine gesättigte Zone aus, aus der jüngerer Wasser unmittelbar den Quellen zufließt. Hierbei dürfte auch die Druckübertragung über „Bodenluftpolster“ eine gewisse Rolle spielen. Der überwiegende Teil der Quellen tritt im Grenzbereich Kluftwasserleiter – Verwitterungsschicht aus.

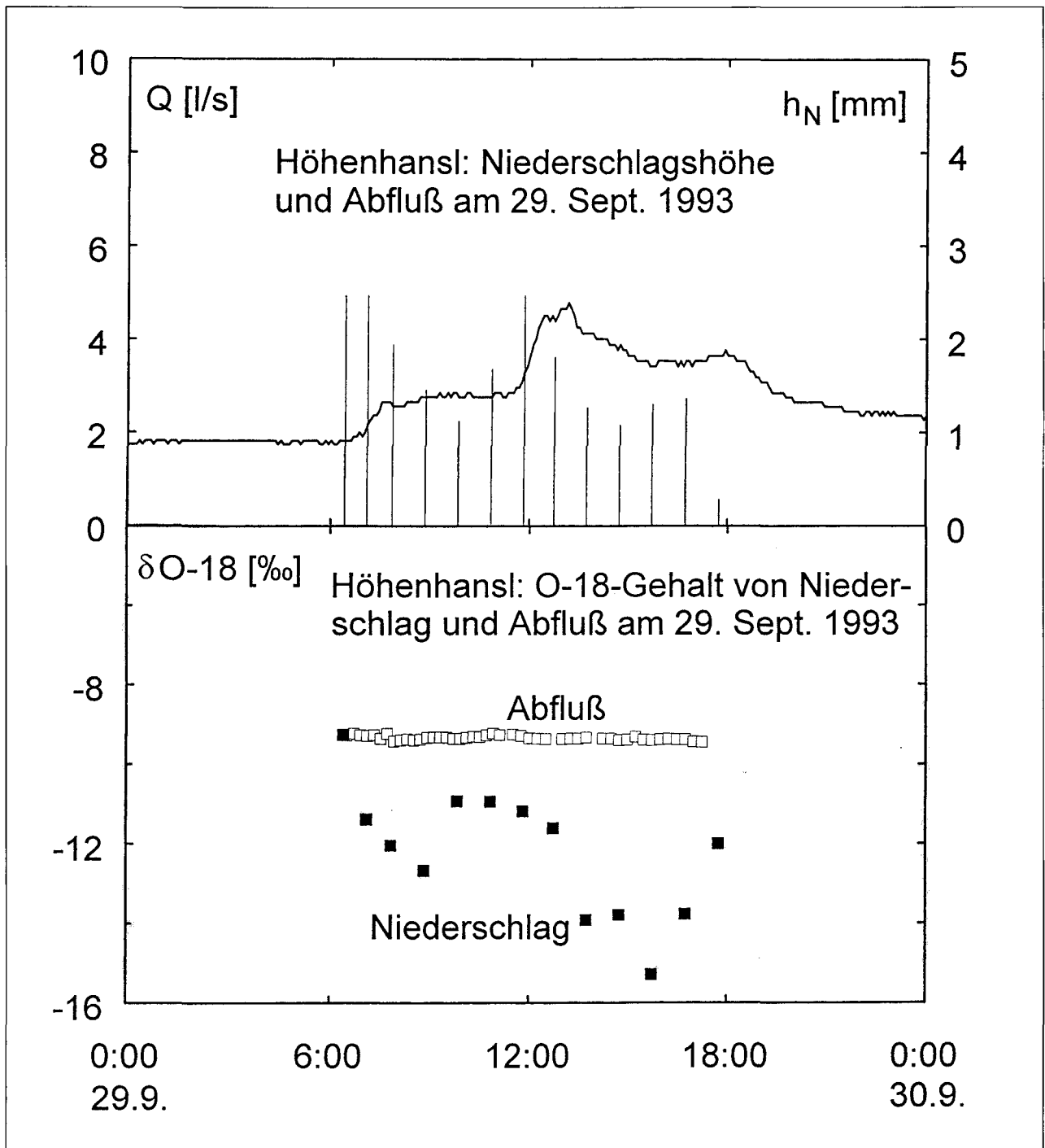
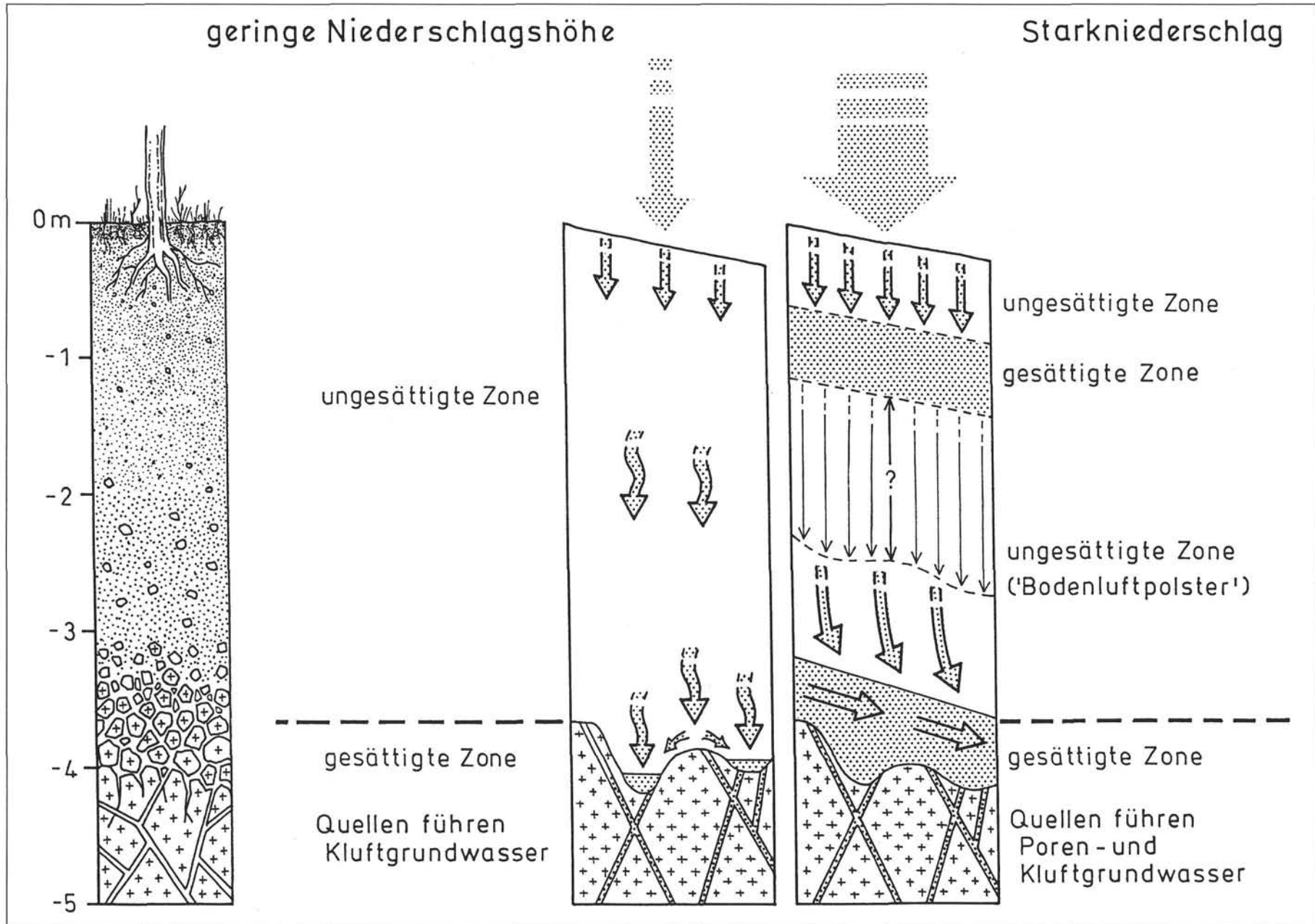


Abb. 15
Kleinstzugsgebiet Höhenhansl/Pöllau: Abfluss und Niederschläge am 29. 9. 1993; ^{18}O -Gehalt von Niederschlag und Abfluss.



Folge, dass auch der Abfluss keine ausgeprägten Spitzen aufweist. Der Verlauf des ^{18}O -Gehaltes im Abfluss macht deutlich, dass direkt abfließendes Niederschlagswasser keinen Anteil am Anstieg des Abflusses auf das Doppelte des Ausgangswertes hat. Die Differenz im ^{18}O -Signal zwischen Niederschlag und Basisabfluss beträgt dabei bis zu 6‰, sodass sich ein möglicher Niederschlagsanteil am Abfluss deutlich abzeichnen müsste. Auch die ^3H -Daten lassen nicht auf einen unmittelbaren Niederschlags Einfluss schließen. Die Zunahme des Abflusses während des Ereignisses ist daher ausschließlich auf einen Anstieg des „Basisabflusses“ zurückzuführen. Dieses Ergebnis lässt weiter den Schluss zu, dass ein größerer Teil des Niederschlagswassers in der ungesättigten Zone gespeichert wird.

6. Modellvorstellung zur Abflussentstehung bei Starkregenereignissen im Bereich des kristallinen Randgebirges der Oststeiermark

Die Erkenntnisse aus den Isotopenuntersuchungen im Pöllauer Becken und im benachbarten Ringkogelgebiet führen zu einer hydrogeologischen Modellvorstellung über die Abflussentstehung bei Starkregenereignissen im Bereich des kristallinen Randgebirges der Oststeiermark. Die Modellvorstellung wird im Folgenden am Beispiel der Reaktion der Ringkogelquellen auf das Niederschlagsereignis am 20./21. 11. 1991 entwickelt.

Ein wesentlicher Anteil des nach starken Niederschlägen am Tag zuvor bei den Ringkogel-Quellen (Kluftquellen) am 21. 11. 1991 austretenden Wassers stammt von einem Starkregen am 4. 11. 1991. Dieses nach kurzfristiger Speicherung abfließende Niederschlagswasser – an dem aber die jüngsten Niederschläge keinen merkbaren Anteil haben – gelangt offensichtlich nicht über das Kluftwassersystem – mittlere Verweilzeit des Wassers um 10 Jahre – sondern über den sonst ungesättigten Bereich der Verwitterungszone zu den Quellen, die meist nahe der Grenzfläche Kluftwasserkörper/Verwitterungsschicht austreten.

Im Normalfall ist die Verwitterungszone ungesättigt (Abb. 16, „geringe Niederschlagshöhe“). Das versickernde Niederschlagswasser vom 4. 11. wird hauptsächlich in der ungesättigten Zone gespeichert und erhöht den Feuchtigkeitsgehalt des Bodens, trägt aber kurzfristig noch nicht entscheidend zu einem Anstieg der Quellschüttung bei (Abb. 9). Unter dem Einfluss weiterer Starkregen (16., 20. 11.) bildet sich oberhalb des Kluftwasserleiters eine gesättigte Zone aus, weil der Kluftwasserleiter aufgefüllt ist bzw. das versickernde Niederschlagswasser nicht so schnell in den Kluftwasserleiter eindringen kann (Abb. 15, „Starkniederschlag“). Dem Gefälle folgend gelangt dieses Wasser kurzfristig in den Bereich der Quellen und vermischt sich erst hier mit dem Wasser des Basisabflusses.

Aus der Tatsache, dass im Abfluss am 21. 11. keine nennenswerten Anteile der jüngsten Niederschlagsereignisse enthalten waren, ist zu schließen, dass die Niederschlagswasser von aufeinanderfolgenden Starkregen als Fronten in den Boden eindringen (Abb. 16). Zwischen den Fronten bilden sich vorübergehend „Bodenluftpolster“ aus, die einerseits die kurzfristige Vermischung des Wassers von aufeinanderfolgenden Starkregen verhindern, anderer-

seits wird über Druckfortpflanzung die Ausbildung einer gesättigten Zone oberhalb des Kluftwassersystems begünstigt und das Wasser zu den Quellen hin „ausgepresst“. Die Druckübertragung durch Bodenluftpolster bewirkt auch, dass bei Starkregen die Quellschüttung ohne nennenswerte Verzögerung stark ansteigt und sich eine Abflussspitze ausbildet (Abb. 11, 13 und 14). Laboratoriumsversuche haben bestätigt, dass Bodenluftpolster eine derartige Druckübertragungsfunktion übernehmen können (BERGMANN et al. 1996).

Aus der Erkenntnis, dass Abflussspitzen bei Niederschlagsereignissen zu einem wesentlichen Teil durch das Auspressen von im Untergrund gespeichertem Wasser entstehen und nicht in erster Linie durch Direktabfluss von Niederschlagswasser, folgt, dass das Niederschlagswasser in größerem Ausmaß in den Boden einsickert als bisher angenommen.

Bei der der Ereignisbeprobung folgenden Messserie im Januar 1992 hatten sich bei den meisten Ringkogel-Quellen wieder die Isotopenwerte des Basisabflusses eingestellt, d. h. die Quellen wurden wieder vorwiegend aus dem Kluftwasserleiter gespeist (Abb. 10).

Ebenso wie diese Ergebnisse einer Ereignisbeobachtung aus dem Ringkogelgebiet weisen auch alle Ergebnisse von Ereignisuntersuchungen im Testgebiet Pöllau darauf hin, dass nach Niederschlagsereignissen Wasser „ausgepresst“ werden, die weder dem Basisabfluss vor dem Ereignis (hauptsächlich Kluftwasser mit höherer Verweilzeit) zuzuordnen sind noch dem aktuellen Niederschlag. Die durch Zufall zu einem besonders günstigen Zeitpunkt – stark unterschiedliche Isotopenverhältnisse bei aufeinander folgenden Niederschlagsereignissen – aufgenommene Messserie bei den Ringkogelquellen erlaubt zusätzlich die Feststellung der Herkunft dieser „dritten“ Abflusskomponente aus der normalerweise ungesättigten Zone. Wegen des Fehlens lokaler Niederschlagsdaten sind allerdings keine quantitativen Aussagen über die Mischungsanteile möglich.

7. Schlussfolgerungen

Isotopenuntersuchungen bei einzelnen Niederschlagsereignissen brachten Fortschritte im Verständnis von Abflussdynamik und Speicherverhalten in einem Gebiet mit Poren- und Kluftwasserleitern. Isotopenmessungen sind bei entsprechend sorgfältiger Ausführung und guter Betreuung der Probenahme- und Registriereinrichtungen im Gelände ein ausgezeichnetes Mittel zur Abflusskomponententrennung bei hydrologischen Ereignissen. Als Eingangssignale werden dabei die kurzfristigen Schwankungen der Isotopenverhältnisse im Niederschlag genutzt. Der Verlauf der Isotopenverhältnisse im Abfluss gibt Auskunft über die Anteile von Basisabfluss und direkt abfließendem Niederschlagswasser sowie über die Beteiligung von anderen Abflusskomponenten und damit über die Speichervorgänge im hydrologischen System. Wichtigste Schlussfolgerung aus den Ergebnissen ist, dass ein Zweikomponentenmodell – Basisabfluss, direkter Abfluss von Niederschlägen – nicht ausreicht, die tatsächlichen Vorgänge bei der Abflussentstehung zu beschreiben, und dass die Wasserbewegung bzw. -speicherung im Untergrund – vor allem in der ungesättigten Zone – unbedingt in die Modellüberlegungen ein-

zubeziehen ist. Deutlich zeichnet sich der Einfluss des Wassergehaltes der ungesättigten Zone, des zeitlichen Abstandes aufeinander folgender Niederschlagsereignisse und der Druckübertragung über „Bodenluftpolster“ ab.

Literaturverzeichnis

- ANTES, G., 1992: Hydrogeologische Untersuchungen im Raum Pöllau, Oststeiermark. – Unveröff. Dipl.-Arb. Formal. Naturwiss. Fak. Univ. Wien, 97 S., 71. Abb., 21 Tab., 7 Kt.-Beil., Institut für Geologie, Wien.
- BERGMANN, H., FANK, J., HARUM, T., PAPESCH, W., RANK, D., RICHTIG, G., ZOJER, H., 1996: Abflusskomponenten und Speichereigenschaften, Konzeptionen und Auswertemethoden. – Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, **48**, 27-45, Wien.
- BRANDL, W., 1954: Schüttungs- und Temperaturmessungen an den Quellen der Wasserleitung von Hartberg am Ringkogel im Jahr 1953 und 1. Halbjahr 1954. – Beitr. Hydrogeol. Steiermark, **7**, 3-7, 1 Taf., Graz.
- FANK, J., HARUM, T., STADLER, H., 1993: Erfassung von Abflussvorgängen in kleinen natürlichen Einzugsgebieten; Speicherverhalten kleiner Einzugsgebiete. – Endbericht 3. Projektjahr, Joanneum Research, Graz.
- HARUM, T. & LEDITZKY, H. P., 1986: Hydrogeologisches Gutachten für die Brunnen I und II des Ring-Gesundheitszentrums Schildbach. – Unveröff. Gutachten, 18 S., 3 Abb., 1 Tab., Graz.
- HÄUSLER, H., 1995: Hydrogeologische Untersuchungen zur Abgrenzung von Schutz- und Schongebieten in der Oststeiermark (Gemeinde Hartberg und Hartberg-Umgebung). – Mitt. Inst. f. Bodenforsch. u. Baugeologie, Univ. f. Bodenkultur, Reihe: Angewandte Geowissenschaften, Baugeol. Seminar, H. 5, 153-199, 4 Abb., 8 Tab., Wien.
- HÄUSLER, H., JUNG, M., 1992: Erhebung des Gefahrenpotentials für die Trinkwassergewinnung der Gemeinden Hartberg und Hartberg-Umgebung. – Projekt-Endbericht, 1. Teil: Naturräumliche Grundlagen. – 54 S., 17 Abb., 5 Beil., Institut für Geologie der Universität, Wien.
- HÄUSLER, H., JUNG, M., BIEBER, G., 1993: Erhebung des Gefahrenpotentials für die Trinkwassergewinnung der Gemeinden Hartberg und Hartberg-Umgebung. – Projekt-Endbericht, 2. Teil: Dauerbeobachtungen. – 61 S., 7 Abb., 7 Tab., Beil. 6-7; Anhang: 71 S., 71 Abb., 27 Tab., Institut für Geologie der Universität, Wien.
- JUNG, M., 1995: Zur Geologie und Geomorphologie von Hartberg und Umgebung (Oststrmk.). – Unveröff. Dipl.-Arb., Formal- u. Naturwiss. Fak. Univ. Wien, 115 S., 79 Abb., 4 Tab., 3 Beil., Institut für Geologie, Wien.
- KOLLMANN, W., 1982: Jahresbericht 1981 und Erläuterungen zur Hydrogeologischen Karte 136, Hartberg. – Unveröff. Manuskript, 46 S., 1 Taf., 1 Kt. 1:50.000, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- MOSER, H., RAUERT, W., 1980: Isotopenmethoden in der Hydrologie. – Borntraeger, Berlin, 400 S.
- NEBERT, K., 1951: Sedimentologisch-stratigraphische Untersuchungen im Jungtertiär südwestlich von Hartberg (Oststeiermark). – Berg- u. Hüttenmänn. Mh., **96**, 9-14, 30-37, 50-57, Wien.
- PAPESCH, W., RANK, D., 1996: Isotopenuntersuchungen zur Erfassung der Wasserspeicherung und der Abflussvorgänge (Teilprojekt zu: Erfassung der Abflussvorgänge in kleinen natürlichen Einzugsgebieten). – Endbericht 90.16/2, Bundesforschungs- und Prüfzentrum Arsenal, Wien.
- RANK, D., 1991: „Umweltisotope“ – Fortschritte in Forschung und Anwendung. – Mitt. österr. geol. Ges., **83**, 91-108, Wien.
- RANK, D., PAPESCH, W., 1997: Conceptual runoff model for small catchments in the crystalline border mountains of Styria as developed from isotopic investigations of single hydrological events. – In: A. Kranjc (Herausgeber): Tracer Hydrology 97, 173-180, BALKEMA, Rotterdam/Brookfield.
- RANK, D., PAPESCH, W., LUST, G., NUSSBAUMER, W., RAJNER, V., 1991: Isotopenhydrologie in Österreich: Stand 1990. – Mitt. österr. geol. Ges., **83**, 109-124, Wien.
- ZOJER, H., BERGMANN, H., FANK, J., HARUM, T., KOLLMANN, W., RICHTIG, G., 1996: Charakterisierung des hydrologischen Versuchsgebietes Pöllau. – Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, **48**, 5-14, Wien.

Manuskript eingegangen am: 28. 06. 1999 ●

Revidierte Version eingegangen am: 19. 03. 2003 ●

Manuskript akzeptiert am: 25. 03. 2003 ●

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Austrian Journal of Earth Sciences](#)

Jahr/Year: 2000

Band/Volume: [93](#)

Autor(en)/Author(s): Rank Dieter, Häusler Hermann, Papesch Wolfgang

Artikel/Article: [Modellvorstellung zur Abflusentstehung bei Starkregenereignissen im kristallinen Randgebirge der Oststeiermark - Erkenntnisse aus Isotopenuntersuchungen. 139-159](#)