Beiträge zur Hydrogeologie / 53 / Seiten 45–60 / Graz 2002

Zur Hydrogeologie der Kalkvoralpen nordöstlich der Enns (Oberösterreich)

Hydrogeological Study in the Calcareous Alps Northeast of the River Enns (Upper Austria)

S. PFLEIDERER[1]), H. REITNER[2]) & M. HEINRICH[3])

Inhalt

Seite

1. Einleitung 46

2. Regionaler Überblick 46
   2.1. Geographie 46
   2.2. Klima 46
   2.3. Geologie 47
   2.4. Tektonik und Strukturgeologie 48
   2.5. Umweltgeochemie 49

3. Hydrogeologische Geländeaufnahmen 49
   3.1. Übersichtskartierung 49
   3.2. Zeitreihen 51

4. Hydrochemische Analytik 52
   4.1. Übersichtskartierung 52
   4.2. Zeitreihen 55

5. Multidisziplinäre Interpretation 55

Zusammenfassung 56

Literatur 57

Summary 59

Dank 60

[1]) Dr. Sebastian PFLEIDERER, Geologische Bundesanstalt, Rasumofskygasse 23, Postfach 127, A-1031 Wien, Österreich. E-mail: spfleiderer@cc.geolba.ac.at

[2]) Cand. geol. Heinz REITNER, Geologische Bundesanstalt, Rasumofskygasse 23, Postfach 127, A-1031 Wien, Österreich. E-mail: hreitner@cc.geolba.ac.at

[3]) Dr. Maria HEINRICH, Geologische Bundesanstalt, Rasumofskygasse 23, Postfach 127, A-1031 Wien, Österreich. E-mail: mheinrich@cc.geolba.ac.at

1. Einleitung

Aufgrund der engen Verflechtung von intensiver Landwirtschaft, Besiedlung und Tourismus gewinnen Fragen der regionalen Wasserversorgung und des Grundwasserschutzes in den nördlichen Kalkvoralpen immer mehr an Bedeutung. Die in den Kalkvoralpen weit verbreiteten Dolomite stellen dabei wichtige Grundwasserkörper dar, die sich durch engscharige Kluftsysteme, geringe Neigung zu Verkarstung und somit durch hohe Verweildauer und Retention des Grundwassers auszeichnen. Durch diese Eigenschaften erfüllen weite Gebiete der Kalkvoralpen für die Wasservorsorge wichtige Anforderungen wie z. B. kontinuierliche Mindestschüttung von Quellen und in hygienischer Hinsicht hohe Filterwirkung für das Grundwasser.

Laut R. BENISCHKE et al. (2001) liegen hydrogeologische Forschungsergebnisse im Grenzgebiet der ober- und niederösterreichischen Kalkvoralpen unter anderem für das Sengsengebirge (P. BAUMGARTNER et al., 1995), für den Nationalpark Kalkalpen (siehe S. ANGERER et al., 1996) sowie für die Ybbstaler und Erlauftaler Voralpen (M. HEINRICH & W. KOLLMANN, 1995, R. SPENDLINGWIMMER, 1984, P. HACKER & E. SCHROLL, 1983) vor. Das Gebiet direkt nordöstlich der Enns ist Gegenstand zweier hydrogeologischer Arbeiten (R. PAVUZA, 1982, H. TRAINDL, 1982) sowie einer multidisziplinären Grundlagenstudie (S. PFLEIDERER, 1999). Diese Grundlagenstudie benutzt verschiedenartige hydrogeologische Untersuchungsmethoden, ergänzt durch quartär- geologische, geochemische, geophysikalische, strukturgeologische und tektonische Neuaufnahmen, um ein Gesamtbild der unterirdischen Abflussverhältnisse zu liefern. Die Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse dieser Studie ist Ziel der vorliegenden Publikation.

2. Regionaler Überblick

2.1. Geographie

Das Arbeitsgebiet liegt im östlichen Teil der oberösterreichischen Kalkvoralpen und erstreckt sich bis zum östlichen Grenzkamm und zur südlichen Landesgrenze (Fig. 1). Im W stellt der Verlauf der Enns zwischen Altenmarkt und Ternberg, und im N der geologische Nordrand der Kalkalpen eine natürliche Grenze dar (Fig. 2). Bezüglich der Morphologie und des Landschaftsbildes können geologisch bedingt zwei Bereiche unterschieden werden. Der südliche Teil des Gebietes zeigt weiträumige, durchgehend bewaldete Gebirgszüge mit Seehöhen bis zu 1700 m ü.A. Tief eingeschnittene, enge Täler, oft ohne oberflächige Wasserführung, und eine dünne Besiedlung sind charakteristisch für diesen Landschaftstyp. Demgegenüber steht der nördliche und nordwestliche Bereich. Kennzeichnend sind hier die sanfteren Geländeformen mit breiten Tälern und zahlreichen kleinen Oberflächengerinnen sowie eine stärkere Besiedlung und intensive Landwirtschaft. Die Enns dient dem gesamten Gebiet als Vorflut. Als größeres Gerinnesystem entwässert die Gaflenz den Ostteil, während der Westteil vom Neustiftbach, dem Pechgrabenbach und dem Laussabach durchflossen wird.

2.2. Klima

Die Klimastation in Weyer, die auf einer Seehöhe von 410 m ü.A. liegt, weist über die Jahre 1968 bis 1993 gemittelt eine Jahressumme von 1363 mm Niederschlag, eine Luft-

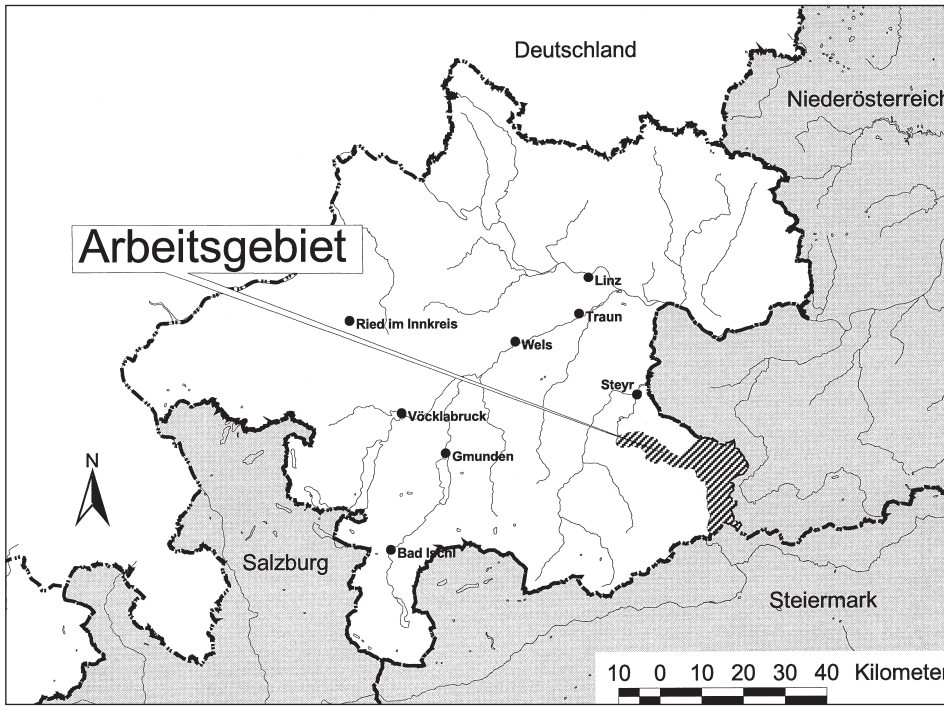

Fig. 1: Lage des Arbeitsgebiets in Oberösterreich zwischen Enns und der Landesgrenze zu Niederösterreich. Location of study area in Upper Austria between the Enns River and the border to Lower Austria.

temperatur von 8,6 °C und eine Differenz der Monatsmittel der Lufttemperatur von 19,8 °C zwischen Januar und Juli auf (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO, 1999). Die zwischen der Nord- und Südhälfte unterschiedlichen Höhenlagen des Arbeitsgebietes wirken sich in der regionalen Verteilung der Niederschläge nur während der Sommermonate aus, die im südlichen Bereich geringfügig höhere Niederschlagsmengen vorweisen (I. AUER et al., 1998). Eine direkte Korrelation zwischen den Seehöhen der im Arbeitsgebiet liegenden amtlichen Messstationen des Hydrographischen Dienstes und der Zentralanstalt für Meteorolgie und Geophysik und den Normalzahlen der Jahressummen der Niederschläge lässt sich nicht nachweisen.

2.3. Geologie

Figur 2 zeigt eine Übersichtskarte (nach W. SCHNABEL, 2001), auf der die geologischen Einheiten hinsichtlich ihrer hydrogeologischen Eigenschaften generalisiert sind. Das Gebiet wird von mächtigen Dolomiten und Kalken der Obertrias (Hauptdolomit, Opponitz-Formation) dominiert (A. TOLLMANN, 1986, H. EGGER & P. FAUPL, 1999), die als großräumige Karstwasserspeicher fungieren (H. TRAINDL, 1982). Lunzer Sand- und Tonsteine, die in Antiklinalkernen an die Oberfläche treten, bilden zumeist die wasserstauende Basis solcher Grundwasserkörper. Die in Muldenkernen eingeschlossenen Rhät- und Jura-Kalke stellen durch ihre geringe Verbreitung und Mächtigkeit nur untergeordnete Aquifere dar, deren Grundwasserneubildung durch aufliegende Neokom-Mergel zusätzlich eingeschränkt wird. Pleistozäne Terrassensedimente und Moränen

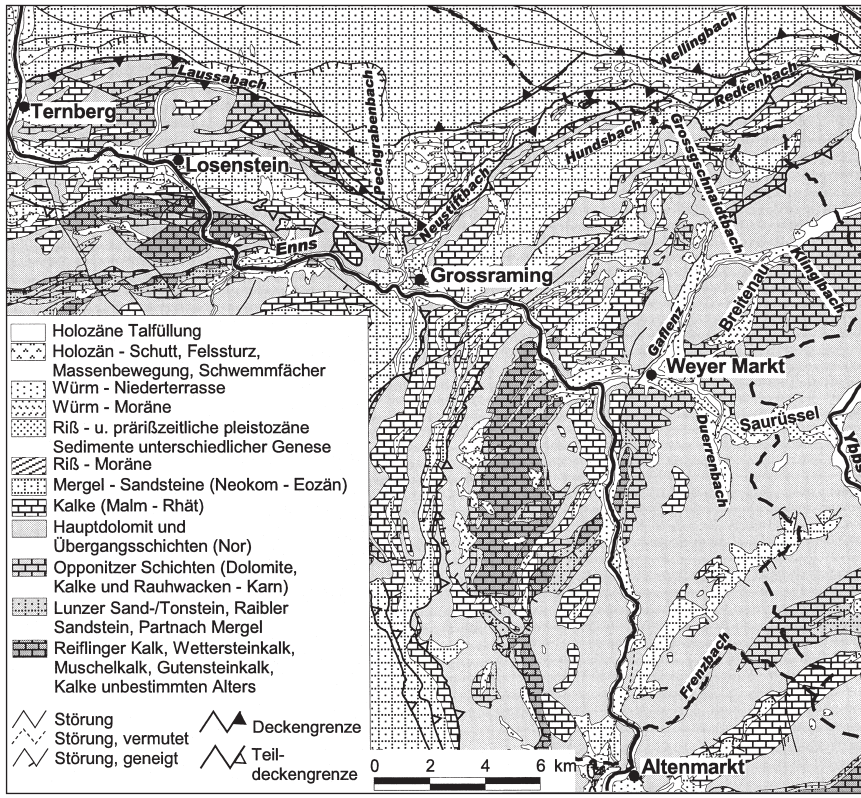

Fig. 2: Geologische Übersichtskarte (nach W. SCHNABEL, 2001; generalisiert).
Geological overview (modified after W. SCHNABEL, 2001).

sind im Ennstal, Gaflenztal, Dürrenbachtal, im Breitenautal sowie am Saurüssel verbreitet (D. VAN HUSEN, 1968, H. REITNER, 2001), erlangen aber trotz ihrer teilweise hohen Durchlässigkeiten nur im Enns- und unteren Gaflenztal wasserwirtschaftliche Bedeutung. Bodengeophysikalische Erkundungen im Gaflenztal nördlich von Weyer (A. RÖMER et al., 1999) ergeben Hinweise auf eine ca. 400 m mächtige Talfüllung pleistozäner Sedimente, die schon seit langem wasserwirtschaftlich genutzt wird.

2.4. Tektonik und Strukturgeologie

Im Bereich südöstlich von Großraming liegt das Frankenfels-Lunzer Deckensystem mit einer Abfolge von weitstehenden, NW-gerichteten Falten, die von Blattverschiebungen unterbrochen werden. Diese Blattverschiebungen können durch die Ausbildung von Kataklasiten und störungsgebundenen Karststrukturen Zonen bevorzugter Grundwasserwegigkeit darstellen (K. DECKER et al., 1998). In den Dolomitbereichen zwischen den Störungszonen ergeben regelmäßige, parallel zu den Faltenachsen streichende Kluft- und Trennflächengefüge hohe Speicherfähigkeit, Retentionsvermögen und Filterwirkung bezüglich Grundwasser.

Das Strukturelement der Weyerer Bögen trennt das Frankenfels-Lunzer Deckensystem von dem nordwestlich anschließenden Ternberg-Reichraminger Deckensystem.

Dieses weist einen engen, N(NE)-gerichteten Faltungs- und Überschiebungsbau auf, der durch Brüche und Blattverschiebungen gegliedert wird. Anstelle großräumig einheitlicher Gebirgszüge treten hier geometrisch komplexe Kleinstrukturen mit sehr abwechslungsreicher Lithologie auf (H. EGGER & P. FAUPL, 1999). Für die unterirdische Entwässerung bedeutet dies zahlreiche Quellaustritte (häufig Schichtquellen) mit geringer Schüttung und kleinem Einzugsgebiet.

Die zwei Deckensysteme werden von der kalkalpinen Randschuppe („Randcenoman") tektonisch unterlagert. Diese stratigraphisch unvollständige und tektonisch kompliziert aufgebaute Schuppe zieht sich als schmaler Streifen entlang des Nordrandes des Arbeitsgebietes (R. W. WIDDER, 1987). Nördlich anschließend und außerhalb des Untersuchungsgebietes bilden Flysch und Klippenzone die Basis der kalkalpinen Decken.

2.5. Umweltgeochemie

Umweltgeochemische Untersuchungen an Bachsedimenten, die als Erosionsprodukte der umliegenden Gebirgszüge die chemische Zusammensetzung der anstehenden Gesteinsserien repräsentieren, ergeben in Summe sehr geringe geogene Schwermetallgehalte im Untersuchungsgebiet (C. KOHLMAIER et al., 1998). Direkte Analytik der anstehenden Gesteine bestätigt dies (H. PIRKL, 1999). Auch technogene Belastungen, beispielsweise aufgrund der früher aktiven eisenverarbeitenden Industrie entlang des Ennstales, liegen in Flusssedimenten nicht vor (G. MÜLLER & W. WIMMER, 1987).

Aufgrund des hohen Angebotes an basenbildenden Ionen (Calcium, Magnesium, Kalium) besteht in den Böden von Kalk- und Dolomiteinzugsgebieten eine hohe Pufferkapazität und ein geringes Versauerungsrisiko. Im Vergleich dazu weisen die terrigenen Sedimentgesteine der Lunzer Schichten und der neokomen Sandstein-Mergel-Abfolge eine verminderte Pufferkapazität und ein höheres Versauerungsrisiko auf (H. PIRKL, 1999). In diesen Gesteinen sind auch einzelne Schwermetallgehalte (Kobalt, Chrom, Kupfer, Nickel) leicht erhöht. Überregionale Bodenzustandsuntersuchungen bestätigen, dass die Versauerung von Waldböden über diesen Gesteinen bereits weit fortgeschritten ist (K. AICHBERGER, 1993).

3. Hydrogeologische Geländeaufnahmen

3.1. Übersichtskartierung

Figur 3 stellt die Geländemessungen von Quellschüttung und elektrischer Leitfähigkeit dar, die in den Jahren 1997 bis 1999 im Zuge einer systematischen Quellkartierung während längerer Trockenwetterperioden durchgeführt wurden. Die bivariate Unterteilung in fünf Klassen erfolgte nach dem Klassifizierungsverfahren der natürlichen Unterbrechungen (G. F. JENKS, 1977), welches sich eignet, Gruppierungen und Muster innerhalb der natürlichen Verteilung der Messwerte zu finden.

Anhand der Werte der elektrischen Leitfähigkeit kann in Kombination mit der geologischen Karte (Fig. 2) der Einfluss einzelner Schichtglieder auf den Grundwasserchemismus abgeschätzt werden. So kommen die Werte > 567 $\mu S \cdot cm^{-1}/25\ °C$ in Quellwässern vor, deren Einzugsgebiete mit gipsführenden Opponitzer Rauhwacken im Zusammenhang stehen. Die niedrigsten Werte (< 267 $\mu S \cdot cm^{-1}/25\ °C$) treten in gipsfreien Opponitzer Schichten, in Hauptdolomit und in Neokom-Mergel auf. Die eindeutige

Identifikation und Unterscheidung sämtlicher stratigraphischer Einheiten ist jedoch anhand der Leitfähigkeitsmessungen an Quellwässern allein nicht möglich.

Die Quellen mit großer Schüttungsmenge (≥ 10 l/s) während Trockenzeiten liegen in Einzugsgebieten, die hauptsächlich aus Hauptdolomit und Opponitzer Schichten zusammengesetzt sind. Dies steht im Zusammenhang damit, dass die Dolomite sich durch geringe Verkarstung und engscharige Kluftsysteme auszeichnen und ein hohes Speichervolumen bzw. Retentionsvermögen besitzen. Bei den Quellen, die von Grundwasser der Opponitzer Schichten gespeist werden, garantieren große Einzugsgebiete mit weiträumig homogener Tektonik und Lithologie die hohe Mindestschüttung während Trockenwetterperioden.

Zahlreiche, kleine Quellen finden sich in den strukturgeologisch und tektonisch komplizierter aufgebauten Bereichen (nordwestlich Großraming, westlich Großgschnaidtbach). Zwischen Losenstein und Großraming überlagert Hauptdolomit tektonisch bedingt neokome Mergel, welche das im Hauptdolomit perkolierende Grundwasser aufstauen und eine Reihe von Schichtquellen verursachen, die teilweise wasserwirtschaftlich genutzt werden. Nur wenige Quellen kommen innerhalb der Ge-

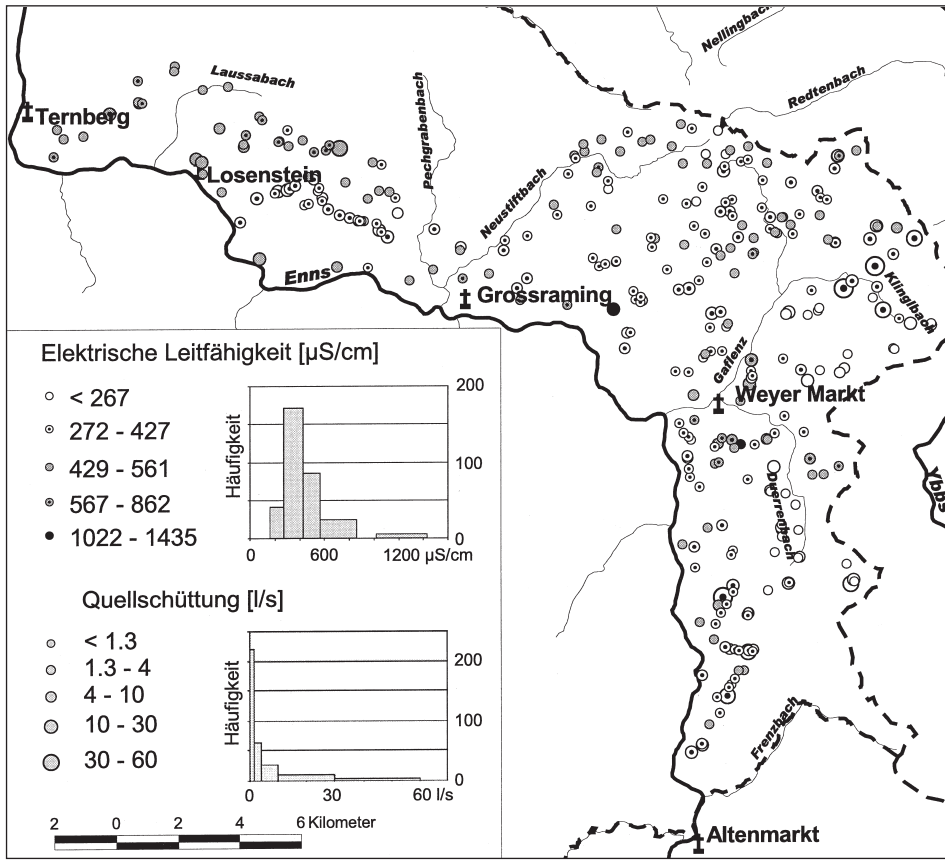

Fig. 3: Räumliche und statistische Verteilung von Quellschüttung und Leitfähigkeit.
Regional and statistical distribution of spring discharge and electrical conductivity.

biete oberflächig anstehender, neokomer Mergel vor, wo die geringen Durchlässigkeiten von tonigen Verwitterungsschichten die Infiltration in den Untergrund einschränken.

3.2. Zeitreihen

Um die zeitliche Dynamik der unterirdischen Abflussverhältnisse abzuschätzen, liegen für einige Quellen monatliche (Februar 1998 bis August 1999) bzw. kontinuierliche (Juli bis August 1999 in Zeitabständen von 15 min) Geländemessungen vor. Bei den Zeitreihen von Schüttung, Wassertemperatur und elektrischer Leitfähigkeit können im Untersuchungsgebiet drei Typen unterschieden werden, nämlich ein von Niederschlagsereignissen kurzfristig beeinflusster, ein jahreszeitlich schwankender und ein solcher mit zeitlich konstanter Dynamik. Das zeitliche Verhalten kann mit der jeweiligen geologischen und tektonischen Situation im Einzugsgebiet der Quellen eindeutig korreliert werden.

Der Niederschlagseinfluss dokumentiert sich durch ein verzögertes Ansteigen der Quellschüttung nach Einsetzen des Regens, wobei die Verzögerungszeit von der Größe des Einzugsgebietes und der Hohlraumverteilung im Grundwasserleiter abhängt. Ein Anstieg der Schüttung bei gleichzeitigem Absinken der Leitfähigkeit heißt, dass eine Mischung von Grund- und Regenwasser zum Quellaustritt gelangt, bevor eine vollständige Equilibrierung des Wasserchemismus erfolgt. Dies bedeutet eine geringe Verweildauer und hoch durchlässige Fließwege entlang von tektonischen Trennflächen, Kataklasit-Zonen und/oder störungsgebundenen Karststrukturen. Figur 4 veranschaulicht eine solche Quelldynamik in einem von verkarstungsfähigen Opponitzer

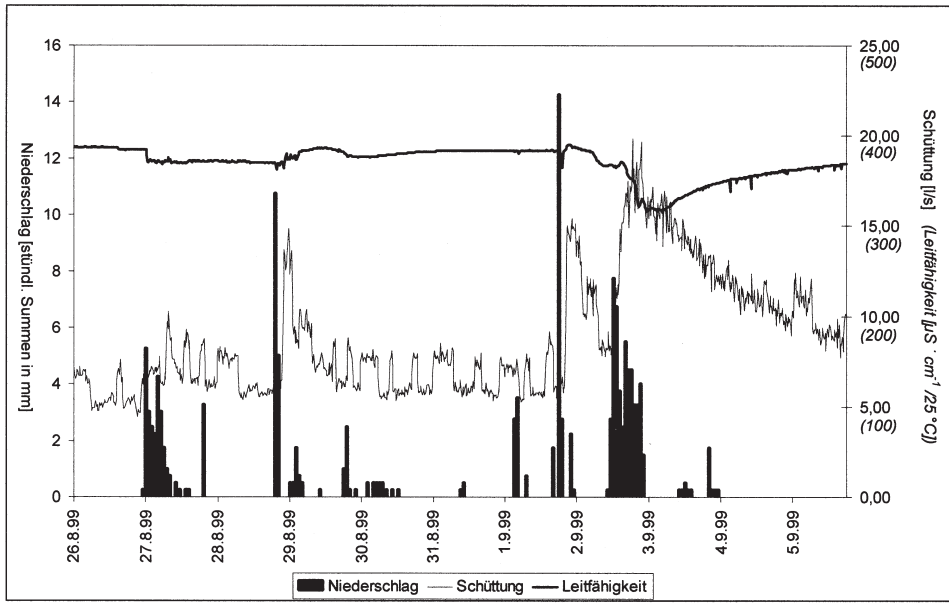

Fig. 4: Quellschüttung und elektrische Leitfähigkeit einer Karstquelle aus der Opponitz-Formation; Korrelation mit Niederschlag.
Discharge and electrical conductivity of a karst spring within the Opponitz formation and correlation with rainfall.

Schichten geprägten Einzugsgebiet im Klinglbachtal. Die in einem Rhythmus von 3–6 h regelmäßigen Schwankungen der Schüttung von ca. 2 l/s sind dabei künstlich durch das automatische Ein- und Abschalten einer Pumpe bedingt, die einen Teil des Wassers oberhalb der Messstelle in regelmäßigen Abständen in das Reservoir einer Trinkwasserversorgungsanlage fördert. Die Zeitreihe kann durch ein Modell von zwei Abflusskomponenten erklärt werden, nämlich ein System von Kleinklüften, welches während trockener Perioden einen Basisabfluss von ca. 7 l/s gewährleistet, und ein System von Karsthohlräumen, welches während eines Niederschlagsereignisses aktiviert wird und innerhalb von 6 h mit Regenwasser vermischtes Grundwasser zur Quelle befördert (S. PFLEIDERER, 1999).

Konstante Werte von Schüttung, Wassertemperatur und Leitfähigkeit ohne zeitliche Dynamik zeigen hingegen Quellen mit gering verkarstungsfähigen, tektonisch ungestörten Dolomiten im Einzugsgebiet, wie z. B. im Dürrenbachtal. Lange Verweilzeiten des Grundwassers, große Speichervolumina und ein großes Retentionsvermögen dieser Gesteine wirken gegenüber den zeitlich variablen Klimaeinflüssen ausgleichend und garantieren eine kontinuierliche Mindestschüttung während Trockenwetterperioden.

Sehr gering schüttende Quellen mit einer jahreszeitlichen Schwankung von Schüttung und Wassertemperatur, jedoch konstanter Mineralisation besitzen im Untersuchungsgebiet kleine, seichte Einzugsgebiete. Derartige Quellen sind vor allem in Gebieten mit Rhät- und Jurakalken oder Neokom-Mergel verbreitet. Kleine Speichervolumen widerspiegeln sich in einem starken Absinken der Schüttungsmenge bzw. Versiegen während der Sommermonate. Diese Quellen kommen daher für Fragen der langfristigen Wasserversorgung nicht in Betracht.

4. Hydrochemische Analytik

4.1. Übersichtskartierung

Zur Bestimmung des Grundwasserchemismus wurde während einer Trockenwetterperiode im Jahre 1998 der Gehalt an Calcium, Magnesium, Natrium, Kalium, Chlorid, Sulfat und Nitrat sämtlicher Quellwässer analysiert. Der Gehalt an Hydrogenkarbonat wurde unter der Annahme eines ausgeglichenen Kationen-/Anionenverhältnisses berechnet. Besser als mit den Messwerten der Leitfähigkeit (Fig. 3) lässt sich anhand der Hauptionengehalte die Herkunft der Quellwässer abschätzen bzw. Wassertyp und Lithologie des Einzugsgebietes korrelieren.

Andere hydrochemische Untersuchungen in den Kalkvoralpen ziehen das Ca/Mg-Verhältnis und den Gesamtionengehalt heran, um zwischen Kalk-, Dolomit- und Sulfatwässern zu unterscheiden (z. B. R. PAVUZA & H. TRAINDL, 1984). Für den vorliegenden Datensatz jedoch lassen sich mit diesen Parametern allein keine eindeutigen Gruppen definieren. Die Abgrenzung von Kalk-, Misch- und Dolomitwässern aufgrund des Ca/Mg-Verhältnisses ist statistisch nicht belegbar, da Ca [mg/l]/Mg [mg/l]-Werte zwischen 0,7 und 12,2 kontinuierlich verteilt sind. Nur die Werte > 14,5 (reine Kalkwässer) setzen sich von dieser kontinuierlichen Verteilung ab. Für die Abgrenzung von Sulfatwässern ist der Gesamtionengehalt schon hilfreicher. In der Häufigkeitsverteilung zeigt sich eine klare Trennung zwischen den Werten < 502 mg/l und > 562 mg/l. Jedoch finden sich in der hoch mineralisierten Gruppe auch Wasserproben mit geringem Sulfatgehalt (ca. 15 mg/l).

Für den vorliegenden Datensatz eignen sich die Gehalte an Ca^{2+}, Mg^{2+} und SO_4^{2-} in Kombination am besten, um hydrochemische Faziestypen zu beschreiben. Die Verhältnisse dieser drei Ionen, für jede Wasserprobe als Kreisdiagramm dargestellt, und die regionale Verteilung der Analysenergebnisse im Arbeitsgebiet veranschaulicht Fig. 5. Die Histogramme in Fig. 5 zeigen, dass eine Klassifizierung der Calciumgehalte statistisch aussagekräftig ist, bei den Sulfatgehalten sich nur die Extremwerte von der Masse der Werte abgrenzen lassen und dass sich innerhalb der Verteilung der Magnesiumgehalte keine deutliche Gruppierung abzeichnet.

Benennt man die Wassertypen (willkürlich) nach den Ionen, deren Gehalte > 10 mval% betragen, so können die in Fig. 6 gruppierten Wässer unterschieden werden. Dargestellt sind die innerhalb einer Gruppe berechneten Mittelwerte der Gehalte an Calcium, Magnesium und Sulfat. Erwartungsgemäß steigt das Ca/Mg-Verhältnis von Kalk- zu Dolomitwasser, während sich die sulfatreichen Wassertypen durch die hohe Summe der drei Ionengehalte auszeichnen. Die in Fig. 6 unterschiedenen Wassertypen korrelieren eindeutig mit der geologischen Karte (Fig. 2). Wässer mit ausgeglichenem Ca/Mg-Verhältnis liegen weitgehend in von Hauptdolomitvorkommen dominierten Gebieten, wäh-

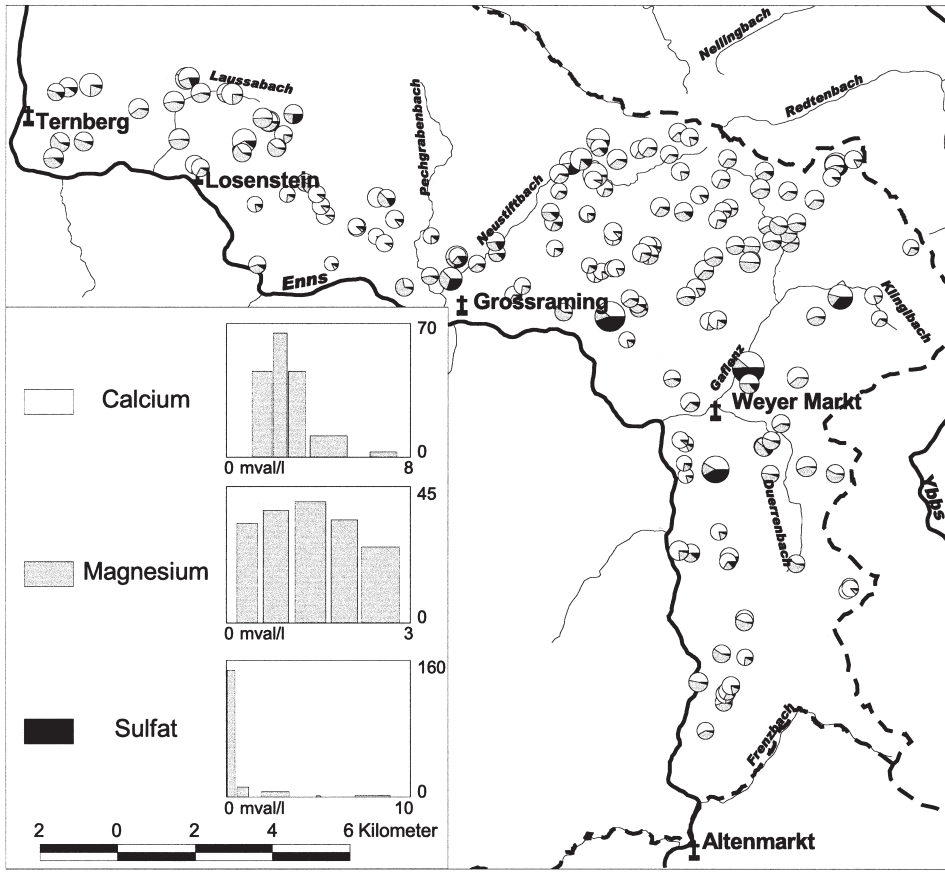

Fig. 5: Verteilung der Ionenverhältnisse Calcium/Magnesium/Sulfat in mval%.
Distribution of ionic ratios for calcium, magnesium and sulfate in meq%.

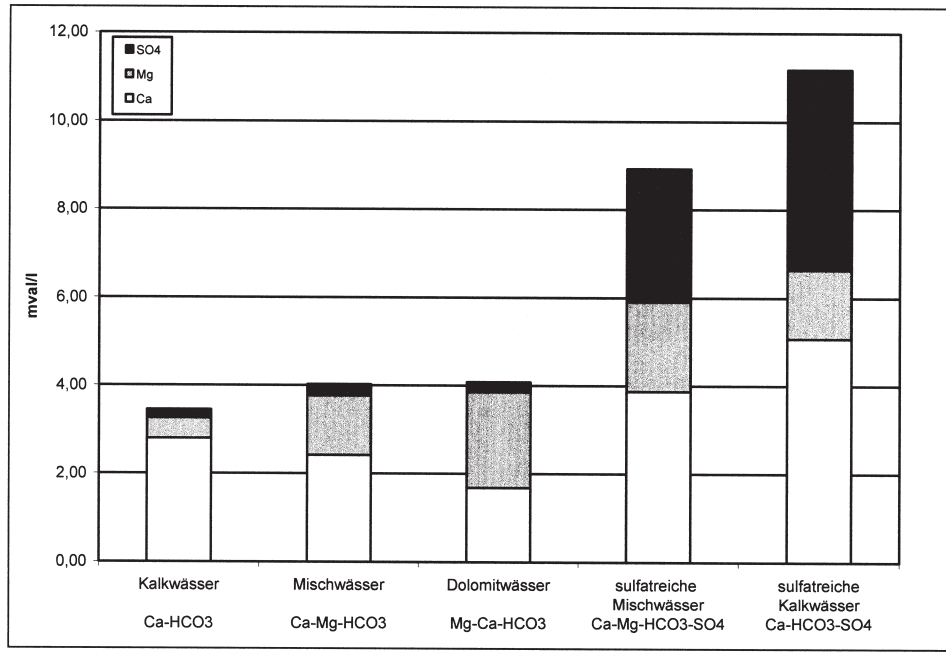

Fig. 6: Mittelwerte der Sulfat-, Magnesium- und Calciumgehalte der verschiedenen Wassertypen. Mean concentration of sulfate, magnesium and calcium ions for different watertypes.

rend sich jurassische und mitteltriassische Kalke eindeutig durch Wässer des Typs Ca-HCO_3 auszeichnen. Die sulfatreichen Misch- und Kalkwassertypen stehen im direkten Zusammenhang mit Rauhwackenvorkommen innerhalb der Opponitzer Schichten.

Die übrigen bei der hydrochemischen Übersichtskartierung bestimmten Ionengehalte zeigen unabhängig vom Wassertyp meist niedrige und eng gruppierte Werte. Die Ausnahme bildet das Nitrat, dessen Konzentration eine weite Schwankungsbreite aufweist. Eine Quelle im Einzugsgebiet des Neustiftbaches liegt im direkten Einflussbereich einer Viehwirtschaft und überschreitet mit ihrem Nitratgehalt die Richtzahl der EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN (80/778/EWG). Tabelle 1 gibt die Mittelwerte, Standardabweichungen und Extremwerte der Nebenionengehalte wieder.

Tab. 1: Mittelwerte, Standardabweichungen und Wertebereiche (Extremwerte) der Nebenionengehalte. Mean, standard deviation and range of minor ion concentrations.

Parameter [mg/l]	Mittelwert ± ½ Standardabweichung	Wertebereich	
		Minimum	Maximum
Natrium	1,9 ± 1,1	0,2	19,0
Kalium	1,0 ± 0,6	0,1	7,4
Chlorid	1,4 ± 0,8	0,3	14,0
Fluorid	0,107 ± 0,040	0,024	0,752
Nitrat	4,7 ± 1,7	0,1	25,6

4.2. Zeitreihen

Ausgewählte Quellen wurden in den Jahren 1997 bis 1999 abschnittsweise monatlich beprobt, um den zeitlichen Verlauf des Grundwasserchemismus zu beurteilen. An Haupt- und Spurenelementen wurden dabei Ca^{2+}, Mg^{2+}, HCO_3^-, SO_4^{2-}, Na^+, K^+, F^-, Cl^-, NO_3^-, H_2SiO_3, Cd, Cr, Cu^{2+}, Pb, Zn^{2+} und Al analysiert. Die bei den Geländemessungen unterschiedenen drei Typen der Quelldynamik lassen sich auch anhand der Zeitreihen der Ionengehalte nachvollziehen. Quellen ohne zeitliche Dynamik von Schüttung und Leitfähigkeit zeigen erwartungsgemäß auch im Chemismus zeitlich konstante Werte.

Bei den im Chemismus von Niederschlagsereignissen kurzfristig beeinflussten Quellen fällt besonders die ausgeprägte Reaktion der Gehalte an Ca^{2+} und HCO_3^-, bei sulfatreichen Quellwässern auch an SO_4^{2-} auf. Dieser Effekt ist dadurch bedingt, dass Regenwasser im Vergleich zu den Quellwässern einen sehr geringen Gehalt an diesen Lösungsstoffen besitzt. Stoffe, die in eigens analysierten Regenwasserproben in ähnlichen Konzentrationen vorkommen wie im Basisabfluss der Quellen (z. B. Natrium, Kalium, Fluorid), zeigen im Mischwasser während eines Niederschlagsereignisses hingegen keine Schwankungen. Der Nitratgehalt einer Quelle im Gaflenztal variiert zeitlich parallel mit Quellschüttung und Niederschlag, was auf einen Düngemittelaustrag der im Weidegebiet liegenden Quelle hinweist. Die Spurenelemente Cadmium, Chrom, Kupfer und Blei zeigen zeitlich konstante, sehr geringe Mengen. Einzige Ausnahme bilden die nahe der empfohlenen Richtzahl liegenden Aluminiumgehalte, die während der Monate März/April des Jahres 1999 sogar die zulässige Höchstkonzentration laut EU-Trinkwasserrichtlinie (80/778/EWG, 1980) überschreiten. In dieser Jahreszeit steigen auch die sonst geringen Zinkgehalte deutlich an. Eine mögliche Erklärung bietet die Schneeschmelze, die in versäuerten Böden diese Elemente in Lösung bringt und Konzentrationsanstiege im Quellwasser bewirkt (H. PIRKL, 1999).

Im Untersuchungsgebiet weisen Quellen, deren Schüttung und Wassertemperatur im jahreszeitlichen Rhythmus schwanken, keine chemischen Änderungen vor. Niederschlagsreiche Monate lassen die Schüttungsmengen zwar ansteigen, jedoch belegen die chemischen Analysen und Tritiumzeitreihen, dass die Quellen während dieser Perioden älteres, chemisch ausgeglichenes Grundwasser fördern. Vermutlich bedingt die gering durchlässige Lithologie in den Einzugsgebieten dieser Quellen lange Verweildauern und damit eine konstante Mineralisierung der Grundwässer.

5. Multidisziplinäre Interpretation

Als zusätzliche geowissenschaftliche Disziplinen wurden zur Charakterisierung der unterirdischen Abflussverhältnisse im Untersuchungsgebiet die Tektonik und Strukturgeologie sowie die Isotopenhydrologie einbezogen. Hydrologisch relevante Trennflächen und Strukturen, die im Gelände nach tektonisch/strukturgeologischen Methoden erkannt und interpretiert werden können, sind beispielsweise kleinmaßstäbliche Kluftsysteme im Hauptdolomit, die das Speicherverhalten und die Wasserwegigkeit bestimmen, sowie kartenmaßstäbliche Störungen, die – durch Verkarstung als Fließwege oder durch die Ausbildung von Störungsletten als Barrieren – für die Grundwasserbewegung ausschlaggebend sind (K. DECKER et al., 1998). Neben der Ableitung der allgemeinen hydrogeologischen Eigenschaften des Arbeitsgebietes aus der tektonischen

Situation (siehe Kap. 2.4.) bietet dieser Ansatz Hilfe bei der Abschätzung von Fließrichtungen und der Abgrenzung hydrologischer Einzugsgebiete. Im Arbeitsgebiet konnten bei manchen Quellen, deren Dynamik auf hoch durchlässige Fließwege entlang von tektonischen Störungen zurückzuführen ist, diese Störungen kartiert und bei der Festlegung des Einzugsgebietes berücksichtigt werden. In Breitenau (nordöstlich Weyer) und östlich von Losenstein ergeben sich dabei hydrologische Verbindungen zwischen Bereichen, die oberirdisch durch orographische Wasserscheiden getrennt sind. Der in der Praxis häufig benutzte Ansatz, Quelleinzugsgebiete in erster Annäherung entsprechend der orographischen Einzugsgebiete anzunehmen, kann durch hydrologisch orientierte, tektonisch/strukturgeologische Untersuchungen entscheidend erweitert werden.

Isotopenhydrologische Untersuchungen, die begleitend zur hydrochemischen Analytik an ausgewählten Quellen durchgeführt wurden, untermauern die Aussagen bezüglich Quelldynamik und bieten zusätzliche Information bei der Beschreibung des Aquifers und der Lokalisierung der Infiltrationsgebiete. Wie in den Zeitreihen der Elementgehalte (Kap. 4.2.), lassen sich auch anhand von monatlichen ^{3}H- und $\delta^{18}O$-Werten Quellen, die von Niederschlagsereignissen kurzfristig beeinflusst sind, von solchen mit jahreszeitlichen Schwankungen unterscheiden. Die Tritiumzeitreihen lassen den von Niederschlagsereignissen unbeeinflussten Basisabfluss erkennen und die mittlere Verweildauer des entsprechenden Grundwassers berechnen (D. RANK & W. PAPESCH, 1999). Bestimmungen der Speichervolumina als Produkt von mittlerer Verweildauer und Schüttungsmenge des Basisabflusses bestätigen die oben erwähnten Unterschiede zwischen dem südöstlichen Bereich des Arbeitsgebietes, der großräumige Wasserspeicher aufweist, und dem nordwestlichen Teil, der aufgrund kleinräumig wechselnder Lithologie und komplizierter Tektonik zahlreiche kleinere Aquifersysteme beinhaltet. Mit den Bestimmungen der $\delta^{18}O$-Werte, interpretiert im Hinblick auf die mittlere Höhe des Einzugsgebietes, kann die Lage der Infiltrationsgebiete der Quellen näher definiert werden (D. RANK & W. PAPESCH, 1999, S. PFLEIDERER et al., 2001).

Als Beispiel, wie Isotopenhydrologie und Tektonik den hydrogeologischen und -chemischen Beobachtungen entscheidende Hilfestellung leisten können, dient eine Quelle östlich von Losenstein, deren Quellaustritt und orographisches Einzugsgebiet in Mergelkalken der Kössen-Formation liegt. Messungen des Jahresniederschlags und Berechnungen des Basisabflusses anhand der Zeitreihen lassen jedoch auf ein weit größeres Eintragsgebiet schließen, als es die Morphologie des Geländes vorgibt. Zusätzlich widerspricht der Grundwasserchemismus der geologischen Situation im orographischen Einzugsgebiet und deutet auf eine dolomitische Zusammensetzung des Grundwasserleiters hin. Sowohl die aus $\delta^{18}O$-Werten abgeleitete mittlere Höhe des Einzugsgebietes als auch die tektonisch/strukturgeologische Situation legen eine Dotation der Quelle aus dem nördlich anschließenden Hauptdolomitvorkommen nahe, obwohl dieses jenseits der orographischen Wasserscheide liegt.

Zusammenfassung

Die vorliegende Grundlagenstudie bearbeitet die Hydrogeologie der oberösterreichischen Kalkvoralpen östlich der Enns unter Benutzung eines multidisziplinären Ansatzes. Einmalige und periodisch wiederholte hydrogeologische und -chemische Untersuchungen werden durch tektonisch/strukturgeologische und isotopenhydrologische

Arbeiten ergänzt, was die Aussagekraft der Ergebnisse hinsichtlich der Abschätzung von Aquifereigenschaften, Grundwasserfließrichtungen und Quelleinzugsgebieten wesentlich erweitert.

Die im Arbeitsgebiet weit verbreiteten Hauptdolomitvorkommen stellen für die regionale Wasserversorgung wichtige Grundwasserkörper dar, die sich durch engscharige Kluftsysteme, geringe Neigung zu Verkarstung und somit durch hohe Verweildauern bzw. Retention des Grundwassers auszeichnen. Diese Eigenschaften garantieren eine kontinuierliche Mindestschüttung und in hygienischer Hinsicht eine hohe Filterwirkung für das Grundwasser. Hingegen bilden meist störungsgebundene Karststrukturen besonders innerhalb der Opponitz-Kalke und -Rauhwacken Zonen hoher Durchlässigkeit, was sich bei betroffenen Quellen durch eine starke zeitliche Dynamik der Schüttung und der chemischen Zusammensetzung des Quellwassers ausdrückt.

Das Ca/Mg-Verhältnis erweist sich wegen seiner kontinuierlichen Häufigkeitsverteilung für das Arbeitsgebiet insgesamt als ungeeigneter Parameter, kalkige und dolomitische Quellwässer hydrochemisch zu unterscheiden. Sulfatreiche Wässer lassen sich jedoch statistisch eindeutig erkennen und stehen im direkten Zusammenhang mit Rauhwackenvorkommen innerhalb der Opponitz-Formation. Benennt man die Wassertypen willkürlich nach den Ionengehalten > 10 mval%, ohne dass diese Prozentzahl für den Datensatz statistisch belegbar ist, so korrelieren sämtliche Wassertypen eindeutig mit der geologischen Karte.

Die Zeitreihenanalyse ermöglicht eine Typisierung der Quelldynamik, die mit der jeweiligen geologischen und tektonischen Situation im Einzugsgebiet der Quellen eindeutig korreliert werden kann. Von Niederschlagsereignissen kurzfristig beeinflusste Quellen stehen im direkten Zusammenhang mit kartierbaren Störungs- und Verkarstungszonen und treten hauptsächlich in Kalk- und Rauhwackengebieten auf. Konstantes zeitliches Verhalten zeigen hingegen Quellen mit gering verkarstungsfähigen, tektonisch ungestörten Dolomiten im Einzugsgebiet. Quellen mit jahreszeitlichen Schwankungen der Schüttung und der Wassertemperatur bei geringer Variation im Chemismus besitzen kleine, seichte Einzugsgebiete und kommen in Neokom-Mergeln oder in Bereichen mit komplexer Struktur und abwechslungsreicher Lithologie besonders im Nordteil des Arbeitsgebietes vor.

Die Kombination aus Jahresganglinien der Quellschüttung, hydrochemischen Faziesbestimmungen, Ableitung der Seehöhe der Eintragsgebiete aus $\delta^{18}O$-Werten und tektonisch belegbaren Wasserwegsamkeiten ergibt für manche Quellen (östlich von Losenstein und im Breitenautal) Hinweise, dass orographische Einzugsgebietsgrenzen überschritten werden. Der multidisziplinäre Ansatz zur Charakterisierung der Grundwassersituation erweist sich in hohem Maße als zielführend und notwendig, um eine solide Basis für weiterführende wasserwirtschaftliche Erwägungen sowie für die Abschätzung von Gefährdungsrisken zu erarbeiten.

Literatur

AICHBERGER, K. (1993): Oberösterreichischer Bodenkataster, Bodenzustandsinventur 1993.– Amt der OÖ Landesregierung, Linz.

ANGERER, S., A. GÄRTNER & H. HASEKE (1996): Atlas der Hydrologie 1 : 20 000, Nationalpark Kalkalpen.– 35 S., Molln.

AUER, I., R. BÖHM, H. DOBESCH, N. HAMMER, E. KOCH, W. LIPA, H. MOHNL, R. POTZMANN, C. RETITZKY, E. RUDEL & O. SVABIK (1998): Klimatographie und Klimaatlas von Oberösterreich.– Beiträge zur Landeskunde von Oberösterreich, II. Naturwissenschaftliche Reihe, **2** u. **3**, Linz/Wien.

BAUMGARTNER, P., R. BENISCHKE & R. LAHODINSKY (1995): Karstwasservorkommen Sengsengebirge – Krumme Steyerling: Erhebung von Grundlagen Teil II.– Unveröff. Bericht, Bund-/Bundesländer-Rohstoffprojekt O-A-008j/92, 21 S., Graz/Linz/Traunkirchen.

BENISCHKE, R., P. SACCON, H. STADLER, S. EDER, W. GENSER, F. RIEPLER, R. MAYER & M. NAHOLD (2001): Datenzusammenstellung, Unterlagenauswertung zur Untersuchung des natürlichen Wasserdargebotes des östlichen Teiles der Nördlichen Kalkalpen (Niederösterreich, Oberösterreich, Steiermark, Wien).– Projektendbericht, 110 S., Graz/Wien/Linz.

DECKER, K., M. HEINRICH, P. KLEIN, A. KOÇIU, P. LIPIARSKI, H. PIRKL, D. RANK & H. WIMMER (1998): Karst springs, groundwater and surface runoff in the calcareous Alps: assessing quality and reliance of long-term water supply.– In: KOVAR, K., U. TAPPEINER, N. E. PETERS & R. G. CRAIG (Hrsg., 1998): Hydrology, Water Resources and Ecology in Headwaters. Proceedings of the HeadWater'98 Conference, Meran, Italy, April 1998.– IAHS Publ., No. **248**, 149–156, Hannover.

EGGER, H. & P. FAUPL (1999): Geologische Karte der Republik Österreich 1 : 50 000, Blatt Großraming.– Wien.

EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFTEN (80/778/EWG): Richtlinie des Rates vom 15. Juli 1980 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch.– Amtsblatt Nr. L 229/11 vom 30. 8. 1980, Brüssel, Belgien.

HACKER, P. & E. SCHROLL (1983): Hydrogeologie im Einzugsgebiet der Erlauf und des Ötschers – Hydrogeologie oberes Erlaufgebiet.– Unveröff. Bericht, Bund-/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-A-006e/82F, 77 S., 25 Abb., 3 Blg., Wien.

HEINRICH, M. & W. KOLLMANN (Hrsg., 1995): Wasserhöffigkeit und Wasserqualität sowie deren langfristige Sicherung in kalkalpinen Einzugsgebieten am Beispiel eines N-S-Streifens in den niederösterreichischen Kalkalpen zwischen Ybbsitz und Göstling.– Unveröff. Bericht, Auftragsforschung Proj. N-A-006p/1994, 264 S., illustr., 6 Anhänge, 12 Blg., Wien.

HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO (Hrsg., 1999): Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 1996.– **104**, BM f. Land- und Forstwirtschaft, Wien.

JENKS, G. F. (1977): Optimal data classification for choropleth maps.– Occasional Paper No. **2**, 25 S., Dept. of Geography, University of Kansas, Lawrence, Kansas.

KOHLMAIER, C., H. NEINAVAIE & H. PIRKL (1998): Flußsedimentgeochemie Oberösterreich, Fraktion < 180 µ, Primärdokumentation und erste Auswertungsschritte, Teil I und II.– Unveröff. Bericht, Büro GEOÖKO – Dr. H. Pirkl, Eisenerz.

MÜLLER, G. & W. WIMMER (1987): Schwermetalle in Sedimenten OÖ Fließgewässer.– Amtlicher OÖ Wassergüteatlas, **14**, Linz.

PAVUZA, R. (1982): Karsthydrogeologie der Kalkvoralpen im Gebiet Waidhofen/Ybbs – Opponitz – Weyer.– Unveröff. Diss., Formal- u. Naturwiss. Fak. Univ. Wien, 196 S., Wien.

PAVUZA, R. & H. TRAINDL (1984): Karstverbreitungs- und Karstgefährdungskarten Österreichs im Maßstab 1 : 50 000, Blatt 70 – Waidhofen/Ybbs.– 57 S., 8 Blg., Verband österreichischer Höhlenforscher, Wien.

PFLEIDERER, S. (Hrsg., 1999): Geohydrologische und hydrogeologische, geochemische und tektonische Grundlagenstudie in den oberösterreichischen Kalkvoralpen nordöstlich der Enns.– Unveröff. Bericht, Bund-/Bundesländer-Rohstoffprojekt O-A-30/97-99, 121 S., illustr., 2 Anhänge, Wien.

PFLEIDERER, S., H. REITNER, D. RANK & M. HEINRICH (2001): Using GIS to define recharge areas in shallow karst.– Zur Veröffentlichung eingereicht bei Journal of Hydrology, Amsterdam.

PIRKL, H. (1999): Zusammenführung und Interpretation geochemischer Analysen für den Bereich der OÖ Kalkalpen östlich der Enns.– Anhang zum Endbericht Bund-/Bundesländer-Rohstoffprojekt O-A-30/97-99, 15 S., 6 Blg., Wien.

RANK, D. & W. PAPESCH (1999): Isotopenhydrologische Untersuchungen.– In: PFLEIDERER, S. (Hrsg., 1999): Geohydrologische und hydrogeologische, geochemische und tektonische Grundlagenstudie in den oberösterreichischen Kalkvoralpen nordöstlich der Enns.– Unveröff. Bericht Bund-/Bundesländer-Rohstoffprojekt O-A-30/97-99, 59–71, Wien.

REITNER, H. (2001): Zur Hydrogeologie der Eisenwurzen S von Weyer (OÖ/NÖ).– Unveröff. Diplomarbeit in Vorbereitung, Univ. Wien.
RÖMER, A., G. HÜBL & R. ARNDT (1999): Bodengeophysikalische Messungen zur Unterstützung geologischer Kartierungen sowie von hydrogeologisch- und rohstoffrelevanten Projekten.– Unveröff. Projektbericht, ÜLG-35/98, 40 S., illustr., Wien.
SCHNABEL, W. (2001): Geologische Karte Niederösterreich 1 : 200 000, Blatt 4814 Linz (vorläufiger Stand).– Wien.
SPENDLINGWIMMER, R. (1984): Beiträge zur Geologie und Hydrogeologie des oberen Erlauftales (NÖ, STMK).– Unveröff. Diss., Formal- u. Naturwiss. Fak. Univ. Wien, Wien.
TOLLMANN, A. (1986): Geologie von Österreich. Band III: Gesamtübersicht.- 718 S., Wien (Deuticke).
TRAINDL, H. (1982): Hydrogeologie der Kalkvoralpen im Raum Waidhofen/Ybbs – Weyer.– Unveröff. Diss., Formal- u. Naturwiss. Fak. Univ. Wien, 224 S., Wien.
VAN HUSEN, D. (1968): Ein Beitrag zur Talgeschichte des Ennstales im Quartär.– Unveröff. Diss., Formal- u. Naturwiss. Fak. Univ. Wien, 165 S., Wien.
WIDDER, R. W. (1987): Zur Stratigraphie, Fazies und Tektonik der Grestener Klippenzone zwischen Ma. Neustift und Pechgraben/O.Ö.– Unveröff. Diss., Formal- u. Naturwiss. Fak. Univ. Wien, 161 S., Wien.

Summary

The research study covers the hydrogeology of the Calcareous Alps northeast of the river Enns using a multidisciplinary approach. Singular and periodically repeated hydrogeological and hydrochemical measurements are complemented by observations on tectonics, structural geology and isotope hydrology. This significantly improves the interpretation of results in terms of aquifer properties, groundwater flow directions and catchment areas.

The study area is dominated by the occurrence of dolomitic rocks (Hauptdolomit) which represent important aquifers used for regional water supply. These rocks are characterized by regular, closely spaced fracture patterns and little karstification, resulting in a high retention capacity and residence times of groundwater. These properties ensure a continuous flow and good filtering effects against bacteriological contamination. However, in limestone areas, and particularly in gypsum-bearing evaporitic layers (Rauhwacke) of the Opponitz formation, fault-related karstification has resulted in zones of high permeability. Karst springs in these areas show large and quick variations of discharge and chemical composition with time.

The calcium-magnesium ratio of spring water samples displays a highly continuous frequency distribution and cannot be used to distinguish clearly between calcareous and dolomitic groundwater types within the study area. However, sulfate-rich waters can be easily identified statistically and are always related to the occurrence of gypsum-bearing rocks within the Opponitz formation. If water types are determined by major ions surpassing 10 meq% without this cut-off being statistically justified, there is a good correlation between the hydrochemical facies and the geology.

Time series analysis allows to distinguish springs on the basis of their dynamics. The different types of springs correspond to distinct geological and tectonical environments within the catchment areas. Springs which quickly respond to rain events are linked to fault and/or karst zones occuring mainly in limestone and cellular dolomite areas. Springs which display no variation in discharge and hydrochemical composition with time have catchment areas dominated by dolomites with regular, closely spaced fracture patterns and little karst features. Annual variations of spring discharge and water temperature and no shifts in the chemical composition are characteristic for springs with small, shallow catchment areas. This type of springs appears mainly in the northern part of the study area, in regions dominated by marl or in areas of complex tectonic structures and variable lithology.

The combination of year-long time series of discharge, hydrochemical facies determination, calculation of the altitude of infiltration areas based on oxygen isotope analyses and occurrence of tectonically derived high permeability zones indicates that groundwater flow towards two springs (east of Losenstein and in the Breitenau valley), crosses orographic water divides. The multidisciplinary approach to characterize the hydrogeological environment proves to be very important and necessary to provide a basis for subsequent assessment of groundwater vulnerability and supply.

Dank

Unser Dank gilt den Projektmitarbeitern P. KLEIN, W. DENK und L. PÖPPEL für die Hydrochemie, K. DECKER für die Strukturgeologie und Tektonik, D. RANK für die Isotopenhydrologie, H. PIRKL für die Umweltgeochemie, H. BRÜGGEMANN für die Quartärgeologie, H. WIMMER für die Möglichkeit der Realisierung des Projektes, sowie der OÖ Landesregierung und dem BM für Bildung, Wissenschaft und Kultur für die Finanzierung.

Stichwörter: Obertrias-Karbonate, Aquifereigenschaften, Strukturgeologie, Hydrochemie, Quelldynamik
Keywords: Upper Triassic carbonates, aquifer properties, structural geology, hydrochemistry, spring dynamics