

BARBARA-GESPRÄCHE

Payerbach 1997

Der Hauptdolomit als potentieller Trinkwasserspeicher am
Beispiel der Region Reichenhall

H. ZANKL

M. FELLEHNER



Payerbach,
5. Dezember 1997

INHALT

	Einleitung	183
1.	Die geologischen Voraussetzungen	184
2.	Die hydrochemischen Verhältnisse	185
3.	Geohydraulik	186
4.	Zusammenfassung	187
5.	Literatur	187
	Danksagung	187
	Abbildungen	188
	Diskussion	193

Anschrift der Verfasser:

*Univ.Prof. Dr. H.ZANKL
Dipl.Geol. Martin FELLEHNER
Philipps - Universität Marburg/Lahn*

*Hans-Meerwein-Straße
D - 35032 Marburg/Lahn*

Barbara-Gespräche Payerbach 1997	Band 4	"Events und Evolution" "Karsthydrologie und Wasserhaushalt"	Seite 181- 196 Abb. 1 - 5	Wien 2000
-------------------------------------	--------	--	------------------------------	-----------

Der Hauptdolomit als potentieller Trinkwasserspeicher am Beispiel der Region Reichenhall

H. ZANKL

M. FELLEHNER

Einleitung

Im Rahmen der Stärkung der lokalen Infrastruktur des Alpenraumes kommen regionalen Wasserversorgungen eine immer größere Rolle zu. Seit den achtziger Jahren geht der Trend zu Eigenwasserversorgung der Städte und Gemeinden. Hier kommt dem Grundwasser aus noch nicht erschlossenen Festgesteinen eine besondere Bedeutung zu. Der Hauptdolomit – eine der mächtigsten Gesteinseinheiten der nördlichen Kalkalpen – ist zur Zeit verstärkt Ziel hydrogeologischer Untersuchungen. Mit Unterstützung der Stadt Bad Reichenhall wird diese Gesteinseinheit derzeit am Nordrand der Kalkalpen im Umfeld der kalkalpinen Trinkwassergewinnungsanlage „Listsee“, aus dem Hauptdolomit westlich von Bad Reichenhall auf ihre hydrogeologischen und hydrochemischen Eigenschaften hin untersucht. [Abb. 1; Abb. 2].

Hier besteht erstmals die Möglichkeit, Daten aus der seit 14 Jahren laufenden Erschließung und dem Betrieb von Felsbrunnen aus dem Hauptdolomit auszuwerten. Vor der Erschließung war bisher oberflächennahes Quellwasser so wie Wasser aus dem Quartär des Talkessels von Bad Reichenhall genutzt worden.

Bedingt durch eine mögliche hygienische Beeinträchtigung oberflächennaher Quellfassungen für die Trinkwasserversorgung der Stadt Bad Reichenhall (16 500 Einwohner derzeitiger Jahresverbrauch 1,73 mio m³) mußten in den 80'er Jahren neue Grundwasservorkommen erschlossen werden. Da die bisher genutzten Quellaustritte in lokaler und geringmächtiger Moräne über Hauptdolomit lagen, war die Annahme naheliegend, daß hier gespanntes Grundwasser über den Hauptdolomit in die Moräne eingespeist wurde. Daraus

entwickelte sich das Projekt „Trinkwassererschließung im Hauptdolomit des Listseegebietes“. 1986 wurde eine Erkundungsbohrung ca. 100 m nordwestlich des Listsees (ein künstlich angelegter, oligotropher Klarwassersee mit Quellaustritten am Grund) 180m in den Hauptdolomit abgeteuft („Brunnen Listsee,“), die gestützt auf Pumpversuche eine Fördermenge von 50 l/s Trinkwasser in hervorragender Qualität erbrachte. Die Bohrung wurde daraufhin zu einem Felsbrunnen ausgebaut, wobei bis 100 m Teufe ein Vollrohr einzementiert wurde, das höher gelegene Wasserzutritte ausschloß und darunter in einem freistehenden Felsbrunnen (bis 180 m Teufe) mehrere Zuflüsse aus dem Hauptdolomit erfaßt werden konnten.

In den folgenden Jahren wurden zwei weitere Erkundungsbohrungen und drei Pegelbohrungen abgeteuft, die schließlich zum Ausbau von zwei neuen Brunnen führten – „Brunnen Listanger,“ (152 m tief) und „Brunnen Listwirt,“ (145 m tief) [Abb. 3], der 1998 in Betrieb ging. Alle Brunnen fördern Trinkwasser aus dem Hauptdolomit mit einer gesamten maximalen Fördermenge von 80 l/s und einer möglichen jährlichen Gesamtförderung von 2,6 Mio. m³.

Welche Erfahrungen konnten in der 14-jährigen Erkundungs- und Betriebszeit aus dem Projekt Listsee für die Trinkwassererschließung aus dem Hauptdolomit gewonnen werden ? Welche geologischen Voraussetzungen müssen gegeben sein, um erfolgreich eine Trinkwassererschließung aus dem Hauptdolomit anzugehen ? Welche physikalischen und chemischen Eigenschaften des Grundwassers sind zu erwarten ?

Antworten auf diese Fragen sind um so wichtiger, da es sich im Listseegebiet um die erste größere Trinkwassererschließung aus dem Hauptdolomit in Bayern handelt und große Hauptdolomitkomplexe in den Nördlichen Kalkalpen als Grundwasserleiter noch weitgehend ungenutzt sind. Hier können noch große Reserven vermutet werden, die als Ersatz für die gefährdeten Trinkwassergewinnungsanlagen aus den Talauen sowie aus Karstwässern dienen können.

Für die aktuellen Untersuchungen wurde das Datenmaterial der Wassererschließung ausgewertet. Es fand eine detaillierte Geländeaufnahme der geologischen Einheiten sowie der struktureologischen Elemente statt.

Darüber hinaus wurden durch wasserchemische Analysen Aussagen zur Hydrochemie und Herkunft der geförderten Wässer getroffen und die charakteristischen Wässer des lokalen Hauptdolomit - Systems typisiert.

1. Die geologischen Voraussetzungen

Für die Wasserführung im Hauptdolomit sind seine struktureologische Lagerung sowie seine petrophysikalischen Eigenschaften von großer Bedeutung.

Das untersuchte Gebiet wird im Norden durch die alpine Deckengrenze und die Sedimente des Flysch begrenzt. Nach Osten hin bildet der Salzkörper im Talkessel von Bad Reichenhall die Begrenzung und im Süden folgt die Gebietsgrenze dem aufliegenden Hochjuvavikum [Abb. 2].

Im Untersuchungsgebiet, das sich über die Nordseite des Staufen über das Listseegebiet bis zum Thumsee erstreckt, befindet sich der Hauptdolomit in seinem ursprünglichen Verband, d. h. er wird im Liegenden vom ladinischen Wettersteinkalk und den karnischen Raibler Schichten unterlagert. Die stratigraphisch über dem Hauptdolomit folgenden jüngere Ablagerungen sind im engeren Untersuchungsgebiet nicht dokumentiert [Abb. 5].

Petrologisch handelt es sich beim Hauptdolomit um einen sehr reinen Dolomit mit geringem bituminösem Anteil. Der Hauptdolomit bildet einen Kluftgrundwasserleiter.

Das beobachtete Kluftsystem kann man nach seiner Kluftweite in drei Ordnungen unterteilen: Die Klüfte 1. Ordnung sind weit klaffende Spalten, die bis zu 0,5 m Weite erreichen können. Sie durchkreuzen sigmoidal die Bankung des Hauptdolomites, meist im spitzen Winkel zur Bankung orientiert und sind über mehrere Meter klaffend zu verfolgen. Sie enden in spitz zulaufenden Harnischflächen und setzen sich in Ruschelzonen fort. Die Kluftabstände liegen im 10-er Meter Bereich. Die Klüfte sind nicht unmittelbar miteinander verbunden, so daß kein ungehinderter Wasserdurchfluß möglich ist. Sie treten in den Umbiegezone größerer Faltenstrukturen auf, bzw. erscheinen eingespannt in junge Scherungszonen, die den Kalkalpenkörper durchtrennen.

Aus diesen Klüften 1. Ordnung erfolgt der Zufluß des Grundwassers in allen drei Brunnen. Dieser Zusammenhang konnte durch Kamerabefahrungen in den noch nicht ausgebauten Brunnen sowie durch Flowmeter-Messungen dokumentiert werden.

Die Klüfte 2. Ordnung stehen meist senkrecht zu denen der 1. Ordnung. Sie lassen sich über Meter hinweg verfolgen; die Kluftweiten übersteigen selten Millimeterbeträge. Die Kluftabstände liegen im dm - Bereich. Es ist anzunehmen, daß die Klüfte 1. Ordnung über dieses System miteinander in Verbindung stehen. Da diese Klüfte häufig von schmalen Zerrüttungszonen begleitet sind, kann ein Wasserstrom nicht direkt durchfließen, es sind zahlreiche Umlenkungen notwendig, die den geradlinigen Durchstrom behindern. An Zonen, in denen diese Klüfte in Harnische mit tektonischer Striemung übergehen, erweist sich der Hauptdolomit als äußerst geringleitend.

Die Klüfte 3. Ordnung bilden das typische Zerlegungsgefüge des Hauptdolomites, wobei kleine, eben begrenzte Dolomitkörper von 5 bis 10 mm Kantenlänge entstehen. Sie bilden die typische Verwitterungsform des Hauptdolomit („Hauptdolomit-Grus,“). Die Kluftweiten liegen zwischen 10 und 40 µm. Die Kluftflächen sind mit idiomorphen Dolomitekristallen von m-Dimension bewachsen [Abb. 4], die auf ein freies Kristallwachstum im Klufttraum hinweisen. Die Oberflächenstruk-

turen der Kristallflächen deuten auf anhaltendes Kristallwachstum im kapillar festgehaltenem Kluftwasser hin.

Berechnet man die Kluftweiten der 3. Ordnung für das Gesamtgestein, so kommt ein Kluftporenvolumen von ca. 3 % heraus. Dieses Porenvolumen ist weniger für den Durchfluß von Bedeutung, es zeigt seine Wirkung eher bei der Übertragung des hydrostatischen Druckes durch das Kluftwasser im Gesamtsystem und in der Beeinflussung des Chemismus des Grundwassers im Ca:Mg Verhältnis.

Die Austritte eines gespannten Grundwasserkörpers im Listseegebiet sind an eine Ost-West streichende Muldenstruktur der Staufenhöllengebirgsdecke (= Tirolikum) gebunden [Abb. 5]. Diese Mulde wird im Norden vom Wettersteinkalk des Hochstaufer und Zwiesel begrenzt. Der Kammverlauf des Wettersteinkalkes bildet auch die nördliche Begrenzung des Einzugsgebietes für die Brunnen am Listsee. Durch einen nordgerichteten Deckenschub sind die triassischen Einheiten zu einer Synform mit E-W streichender Sattelachse eingemuldet, die nach Osten aushebt (HENRICH, 1983, HENRICH, 1984).

Im Muldenverlauf von West nach Ost sind die tonigen Raibler Schichten und Raibler Rauwacken zunehmend stärker tektonisch ausgedünnt, so daß sie im Listseegebiet nur noch als Scherkörper zwischen dem Wettersteinkalk und dem Hauptdolomit auftreten. Damit können die Karstwässer des Wettersteinkalkes weitgehend ungehindert in den angrenzenden Hauptdolomit übertreten.

Der Hauptdolomit bildet mit ca. 1000 m Mächtigkeit den Muldenkern; von dieser Mächtigkeit sind im Listseegebiet am austreichenden Ostrand der Muldenstruktur höchstens noch 400 m erhalten. Die Mulde ist nach Osten gegen das Becken von Bad Reichenhall steil auf jüngere Schichten des Jura und der Kreide aufgeschoben. Entscheidend für die Lenkung des Grundwasserabflusses ist die Lage von Längsstörungen, die als junge Scherzonen aus dem Saalach-Westbruch fiederartig abzweigen und nach Nordosten über die Kalkalpen hinaus in das Vorland reichen. Diese sinistralen Bewegungs-

zonen sind im Salzkammergut beispielhaft von DECKER et al. (1994) dokumentiert, sie bestimmen auch das jüngste Strukturinventar im Becken von Bad Reichenhall. Hier kommt als besonderes Element der über 1200 m mächtige untertriadische Salinarkörper von Bad Reichenhall hinzu (SCHAUBERGER et al., 1976, ZANKL & SCHELL, 1979). Er gehört in der Stockwerkstektonik den juvavischen Einheiten an. Sein plastisches Verhalten bei tektonischer Beanspruchung bewirkt ein verstärkt ruptuelles Zerlegen der umgebenden rigiden Gesteinskörper. Hierzu zählt im Becken von Bad Reichenhall auch der Hauptdolomit aus der unterlagernden tektonischen Einheit, dem Tirolikum.

Die orographische Lage am Nordrand der Alpen bedingt eine günstige Topoklimatologie, die eine hohe Grundwasserneubildung ermöglicht. Mit Gipfelhöhen bis zu 1700 m bewirkt dieser Gebirgszug den bekannten Nordstau für den Witterungsablauf am Nordrand der Kalkalpen mit den stark erhöhten Niederschlagsmengen bis zu 2000 mm/a, eine wichtige Komponente für die Grundwasserneubildung.

2. Die hydrochemischen Verhältnisse

Die für die Wasserchemie wesentlichen Daten wurden während der Erschließungsphase erhoben und werden im laufenden Betrieb weiterhin kontrolliert. Darüber hinaus konnten in 2 Monatsabständen über 14 Monate hinweg Vergleichswerte aus einer Testquelle im Hauptdolomit des Höllenbachtals 10 km westlich des Listseegebietes gewonnen werden. Hier ist gesichert, daß das Einzugsgebiet ausschließlich im Hauptdolomit gelegen ist. Eine weitere Reihe von Vergleichswerten aus dem gleichen Zeitraum stammt aus der Karstquelle am Wasserloch bei Inzell. Diese Karstquelle wird ausschließlich aus dem Wettersteinkalkkomplex des Inzeller Staufens gespeist.

Die Auswertung der erhobenen Daten ergibt, daß sowohl die Brunnen im Listseegebiet als auch die Quellen eine jeweils charakteristische Mineralisierung aufweisen. Diese ist auf die unterschiedlichen Einzugsgebiete, bzw. die Mischungsverhältnisse der Wässer zurückzuführen.

Erwartungsgemäß ist das Ca : Mg - Verhältnis die deutlichste Determinante für die Herkunft des Wassers. Am deutlichsten hebt sich das Karstwasser aus der Wettersteinquelle bei Inzell ab. Es weist die geringste Gesamtmineralisierung auf, das Ca : Mg - Verhältnis ist mit 5,0:1 am höchsten.

Im reinen Hauptdolomitwasser des Höllenbachs liegt das Ca : Mg-Verhältnis bei 1,9 : 1. Die Ca : Mg - Verhältnisse der Brunnen im Listseegebiet liegen zwischen 2,7:1 und 2,5:1. Dies deutet auf eine Durchmischung von Hauptdolomitwasser mit einem geringeren Anteil von Wettersteinkalkwasser hin. Im Brunnen Listwirt und in geringerem Maße in den Brunnen Listanger und Listsee deuten erhöhte Sulfatwerte (< 70 mg/l) auf den Zufluß von Grundwasser aus den Raibler Schichten hin. Die gipsführenden Raibler Schichten können als Lieferanten für den Sulfatanteil betrachtet werden.

Die charakteristische Mineralisierung jedes einzelnen Brunnens zeigen unterschiedliche Grundwasserströme aus den verschiedenen Einzugsgebieten. Es sind jedoch nicht nur die Wässer der einzelnen Brunnen unterschiedlich zusammengesetzt, auch innerhalb eines Brunnens sind die verschiedenen Zuläufe durch eine deutlich unterscheidbare Mineralisierung gekennzeichnet. Dies ist nur möglich, wenn eine stockwerksartige Trennung der Grundwasserströme vorliegt, die eine gleichförmige Durchmischung verhindert. Diese Annahme wird durch Pump- und Färbeversuche bestätigt, die eine Umläufigkeit zwischen den Stockwerken nicht nachweisen konnten.

3. Geohydraulik

Aufgrund des komplexen Kluftsystems des Hauptdolomites im Untersuchungsgebiet kann man verschiedene hydraulische Beobachtungen machen, die einer besonderen Erklärung bedürfen. So reagieren die umgebenen Quellen sowie die Pegel nicht linear auf die Veränderungen in den Förderungen aus den Brunnen. Einspeisung von Farbstoffen im Bereich der Brunnen sowohl direkt in den Listsee oder in das Festgestein (bzw. Moräne) lassen sich unterhalb der hydraulisch

gesperrten (80 - 100 m) höheren Brunnenräume auch nach 70 - tägigem Pumpversuch nicht nachweisen. Daraus schließen wir, daß der Grundwasserleiter bei der vorgesehenen Entnahmemenge keine Wegsamkeit für oberirdische Zuflüsse und für Grundwasserströme aus den höheren, gesperrten Brunnenbereichen aufweist, bzw. kein Zufluß gegen den aufsteigenden gespannten Grundwasserstrom möglich ist.

Während der Erschließung erfolgte eine Reihe von Pumpversuchen, die umfassende Erkenntnisse zur hydraulischen Beschaffenheit des Hauptdolomit - Grundwasserleiters erbrachten. Wie zu erwarten dokumentieren sich in den Pumpversuchen die Klüfte 1. und 2. Ordnung sowohl in den Absenkungs- als auch in den Wiederanstiegskurven. Pumpversuche, die während der Erschließung in unterschiedlichen Bohrteufen ausgeführt wurden, zeigen, daß der Grundwasserzustrom aus wenigen Großklüften erfolgt, zwischen Ihnen erweist sich der Hauptdolomit als Grundwasserhemmer bzw. Grundwassernichtleiter (DIN 4049). Das Kluftsystem 3. Ordnung mit seinem kapillar festgehaltenem Kluftwasser wirkt demnach als eine hydraulische Sperre. Theoretisch errechnete Durchlässigkeitsbeiwerte (die einen Sammelwert aus den gesamten Bohrungen darstellen) weisen auf Größenordnungen zwischen 10^{-7} bis 10^{-9} hin. Diese Beobachtung deckt sich in etwa mit den in EDEN et al. (1983) veröffentlichten Werten.

Über die Auswertung der Grundwasseranglinien nach Starkniederschlagsereignissen (> 50 mm/d) ist ersichtlich, daß das System einheitlich mit einer Verzögerung von wenigen Stunden hydrostatisch auf Niederschlagsereignisse reagiert. Chemische Analysen weisen darauf hin, daß es sich bei den beobachteten Anstiegen der Grundwasseranglinien nicht um eine direkte Beimengung von Regenwasser in die Brunnen des Untersuchungsgebietes handelt. Es zeigt sich vielmehr, daß der hydrostatische Druck durch eine Erhöhung der Grundwassersäule nach dem Einspeisen von Wasser aus Starkniederschlägen im gesamten System einen spontanen Anstieg erfährt.

Im Gegensatz dazu zeigen die isotopenchemischen Untersuchungen der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte, daß die geförderten Wässer keinem jahreszeitlichen Gang unterliegen. Es ist daher anzunehmen, daß – bedingt durch die komplexe Vernetzung der Grundwasserströme im Kluftsystem – eine Durchmischung des Wassers erst über das Jahresniveau hinaus auftritt.

Das Kluftsystem 3. Ordnung mit seinem kapillar festgehaltenem Kluftwasser wirkt demnach als eine hydraulische Sperre.

4. Zusammenfassung

Die Ergebnisse aus den Untersuchungen zeigen, daß der Hauptdolomit ein ausgezeichneter Grundwasserleiter sein kann. Die für die Grundwasserführung entscheidende Klüftigkeit des Hauptdolomites wird von drei Faktoren gesteuert: 1. Die Anlage einer weitgespannten Muldenstruktur; 2. Das Vorhandensein von Scherzonen der jüngsten alpidischen Gebirgsbewegungen; 3. Eine rupturale Tektonik (wie im Umfeld des Salinarkörpers von Bad Reichenhall).

Es bleibt außerdem festzuhalten, daß die Grundwasserführung im Hauptdolomit nicht mit Karstphänomenen erklärt werden kann.

Im klüftigen Grundwasserleiter orientiert sich der Grundwasserstrom in voneinander hydraulisch getrennten Teilströmen nach den tektonischen Vorzeichnungen. Hydrostatisch ist der gesamte Grundwasserkörper durch das vernetzte System von Klüften verbunden, die eine einheitliche Reaktion auf veränderte Druckverhältnisse zur Folge haben. Eine Durchmischung der Grundwasserströme verläuft langfristig, dies spricht für eine hohe Verweildauer des Grundwassers im Hauptdolomit.

Der Chemismus der Grundwassers wird wesentlich durch den ausgedehnten Kontakt zwischen Wasser und dem Dolomitgestein bestimmt. Dies läßt sich im Ca : Mg Verhältnis nachweisen. Eine leichte Erhöhung der Sulfatwerte läßt sich aus den Raibler Schichten ableiten.

5. Literatur

- DECKER, K., PERESSON, H. & FAUPL, P. (1994): Die miozäne Tektonik der östlichen Kalkalpen: Kinematik, Paläospannungen und Deformationsaufteilung während der „letzten Extrusion“, der Zentralalpen. *Jb. Geol. B.-A.*, 137, 5 - 18, Wien.
- EDEN, D., PRÖSL, K.-H., STICHLER, W. & UDLUFT, P. (1983): Der Einfluß quartärer Deckschichten auf den Wasserhaushalt eines kalkalpinen Einzugsgebietes. *Z. dt. geol. Ges.*, 134, 755 - 772, Hannover.
- HENRICH, R. (1983): Der Wettersteinkalk am Nordwestrand des tirolischen Bogens in den nördlichen Kalkalpen: der jüngste Vorstoß einer Flachwasserplattform am Beginn der Obertrias. *Geol. et Palaeont.*, 17, 137 - 177, Marburg.
- HENRICH, R. (1984): Facies, Dolomitization and Karstification of Lagoonal Carbonates: Triassic of the Northern Alps. *Facies*, 11, 109 - 156, Erlangen.
- SCHAUBERGER, O., ZANKL, H., KÜHN, R. & KLAUS, W. (1976): Die geologischen Ergebnisse der Salzbohrungen im Talbecken von Bad Reichenhall. *Geol. Rundsch.*; 65, 558 - 579, Stuttgart.
- ZANKL, H. & SCHELL, O. (1979): Der geologische Bau des Talkessels von Bad Reichenhall (Nördliche Kalkalpen). *Geol. Jb.*, C 22, 11 - 20, Hannover.

Danksagung

Wir danken Herrn Aicher und Herrn Grinninger von den Stadtwerken Bad Reichenhall für die Hilfsbereitschaft und die freundliche Unterstützung sowie Herrn Dr. Wenger vom Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft für sein reges Interesse.

Dieses Projekt wird mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) unterstützt.

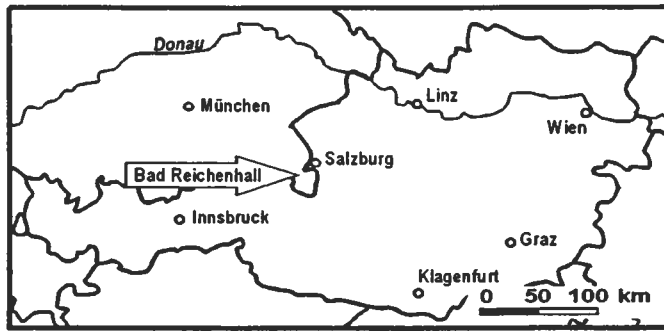


Abb. 1 : Lage des Untersuchungsgebietes.

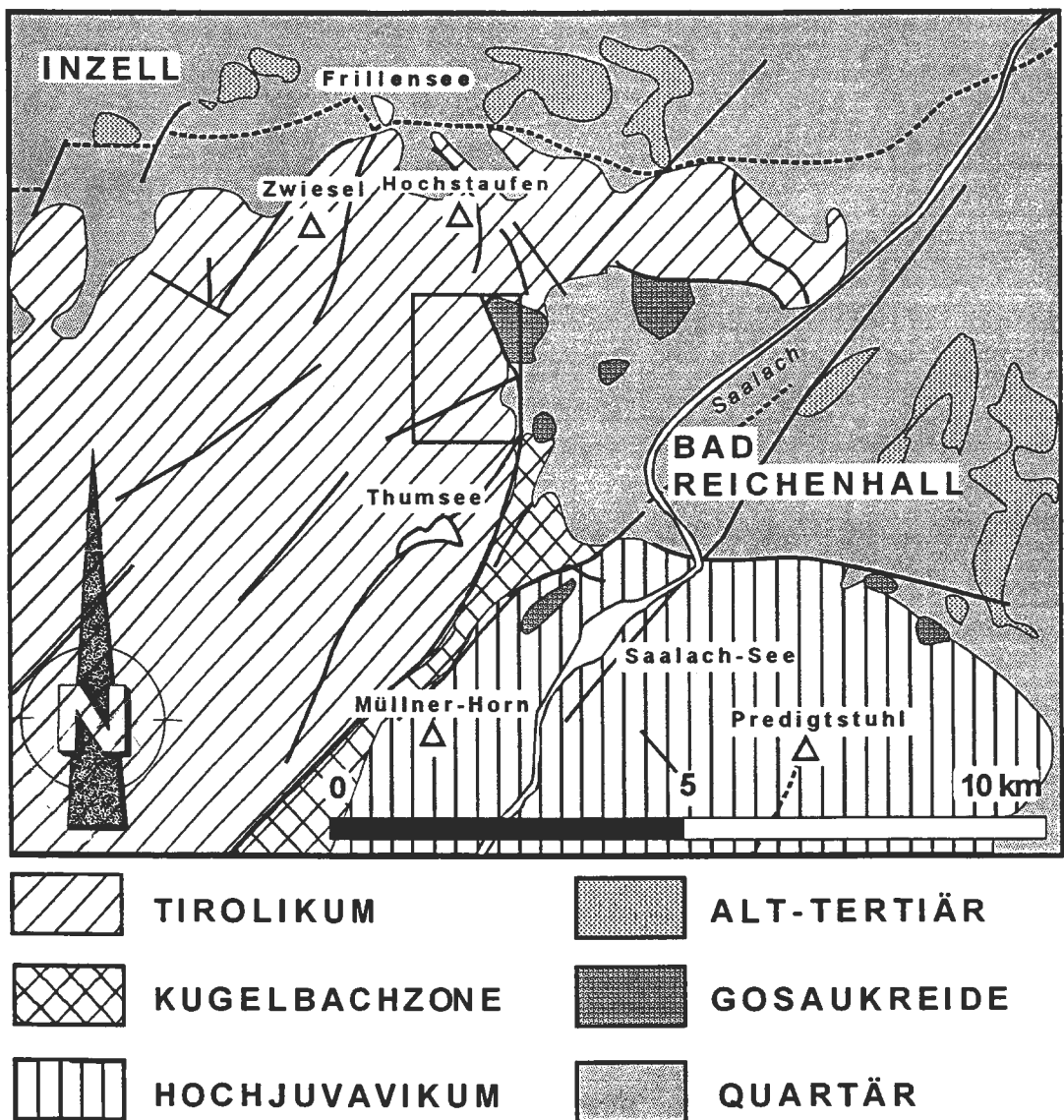


Abb. 2 : Strukturgeologische Übersichtskarte mit eingezeichneter Lage des Untersuchungsgebietes.

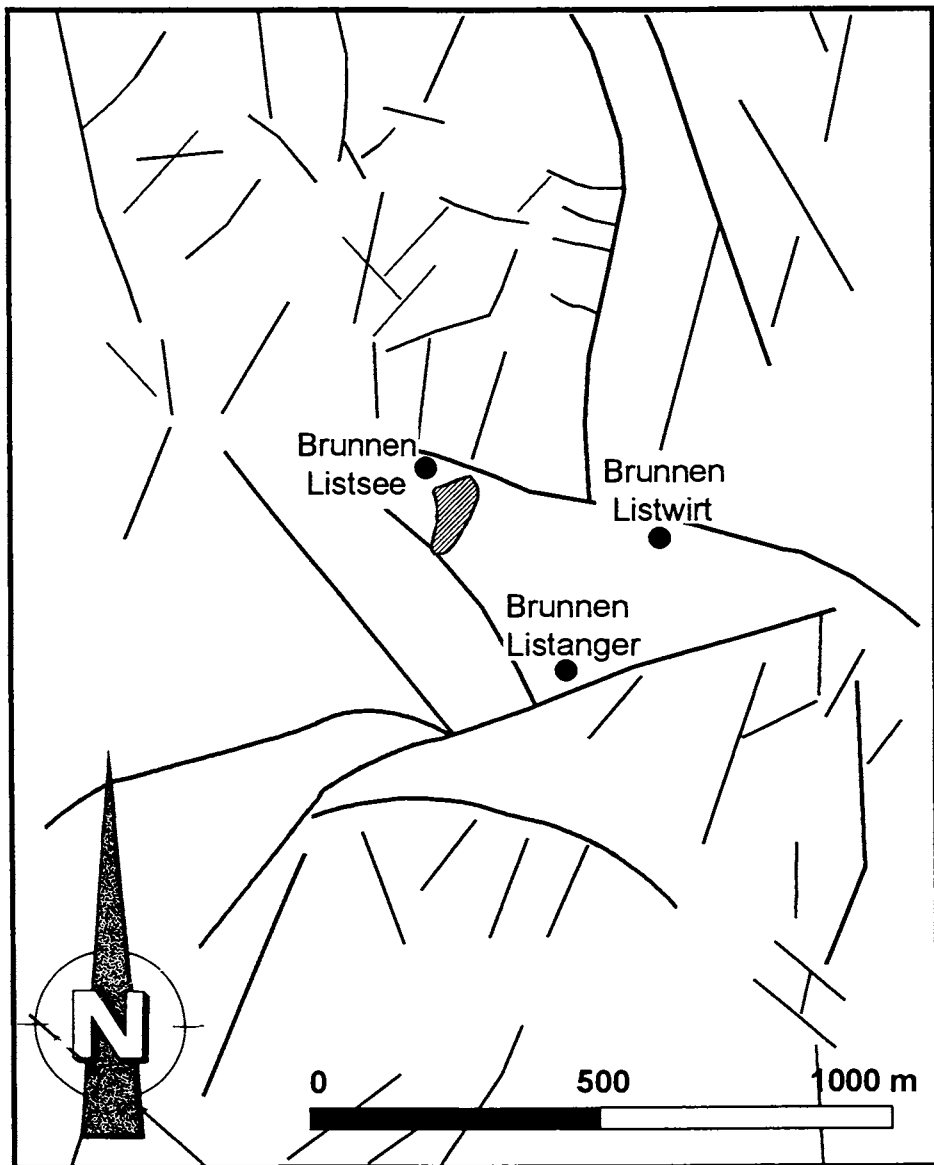


Abb. 3 : Lage der Brunnen im Untersuchungsgebiet mit Darstellung von Luftbildlinearen.



Abb. 5: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer Kluftfläche 3. Ordnung mit idiomorphen Dolomitekristallen

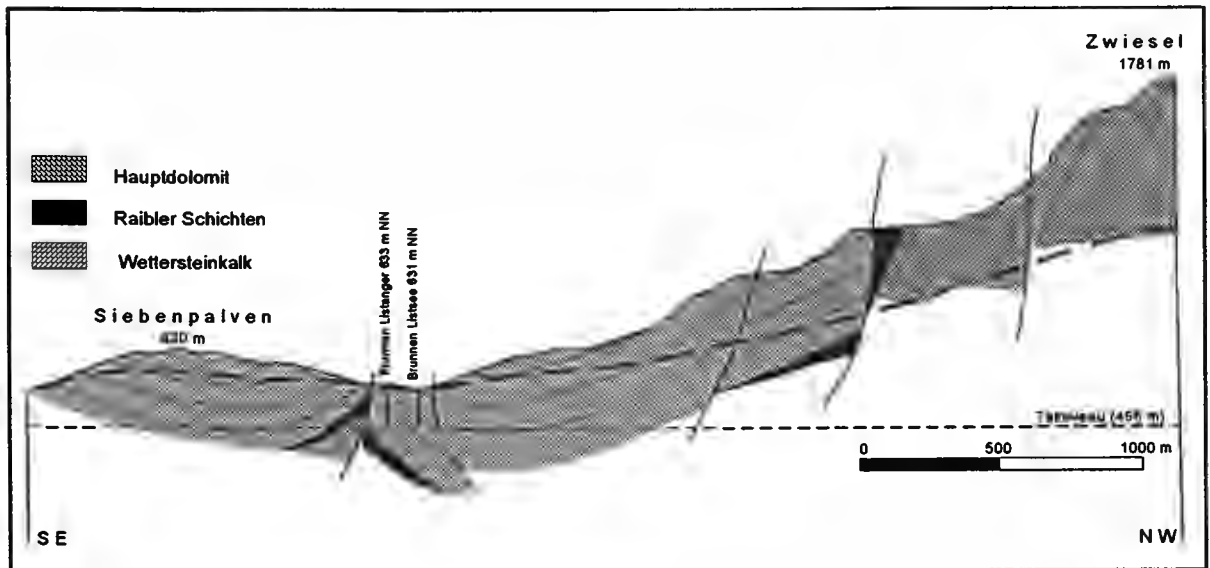


Abb. 4 : Schematischer Profilschnitt durch das Untersuchungsgebiet mit vermuteter Lage des Grundwasserdruckspiegels



Bild: Tiefblick vom Hochstaufen (1781 m NN) nach Südwesten auf das Trinkwassererschließungsgebiet Listsee im Hauptdolomit (600 - 800 m NN). Deutlich heben sich die tektonischen Strukturen als Schlagschatten im bewaldeten Hügelland ab. Der Saalachwestbruch entlang des Saalachtals durchtrennt NE-SW streichend das Tirolikum der Unken Mulde (im Bild rechts oben) mit Sonntagshorn und Ristfeuchthorn vom Hochjuvavikum der Reiteralme (im Bild links oben). Nach Westen hebt das Tirolikum in den Loferer Steinbergen aus. (Foto Fellehner 1996)

DISKUSSION :

Der Hauptdolomit als potentieller Trinkwasserspeicher am Beispiel der Region Reichenhall

RIEHL - H.: Das war ein eindrucksvolles Bild, das Sie da vom Staufen herunter gezeigt haben. (siehe vorhergehendes Bild)

VÖLKL: Das hat mir auch das Herz übergehen lassen, das war ja mein Dissertationsgebiet, ein wunderschönes Bild, und mir liegen jetzt eine Menge Fragen und Bemerkungen auf den Lippen und ich nehme an, sie werden auch aus dem Saale kommen.

RANK: Die erste Frage betrifft nicht die Isotopen. Haben Sie in dem System ohne zu pumpen Druckunterschiede? Oberes und unteres System steht ja unter verschiedenem Druck, haben sie Ausgleichsströmungen?

ZANKL: Wenn wir die drei Brunnen untereinander betrachten, ohne daß wir sie belasten, haben wir bereits ein Gefälle.

RANK: Wenn sie jetzt abgemauert sind, kann man es nicht mehr feststellen. Wenn Sie Flowmetermessung gemacht haben, haben Sie die auch im Ruhezustand gemacht?

ZANKL: Die Flowmetermessungen haben wir in einem Brunnen auch im Ruhezustand gemacht und da hatten wir eine Anströmung von unten.

RANK: Sie haben also von vornherein Druckunterschiede im System?

ZANKL: Ja, von vornherein. Einmal haben wir das testen können und dann haben wir das direkt messen können.

RANK: Und die zweite Frage, das Bild, das vom Tritium abhängt, das hat es in sich, da stimmt etwas nicht.

ZANKL: Das habe ich mir schon gedacht. Die Münchner Werte (IGU, Institut für angewandte Isotopen-, Gas- und Umweltunter-

suchungen, D - 8031 Wörthsee) werden nicht akzeptiert.

RANK: Diese Halbwertszeitgerade ist zu steil, denn dann hätten Sie nur den Zerfall, keine Erneuerung. Sie ist einfach zu steil dafür, in diesen 12,4 Jahren dürfte sie nur die Hälfte aufweisen.

ZANKL: Sie würden sie bei 40 TU ansetzen?

RANK: Wenn Sie links mit 70 TU beginnen müßten Sie oben nach 12 Jahren auf 35 TU sein. Dies ändert die Zustände.

ZANKL: Ich würde eher umgekehrt vorgehen, ich würde sie darunter setzen

RANK: Egal wo, sie muß auf jeden Fall flacher sein, flacher als der Abfall des Tritiums, sonst paßt das System nicht.

ZANKL: Das gebe ich zu, und ich habe diese Daten von den Münchnern so bekommen und es geht ja darum, wie wird das Vermischungsverhältnis gesteuert und wann haben wir sozusagen unser altes Wasser aufgebraucht und sind nur noch angewiesen auf das jährlich dem System zuströmende neue Wasser.

RANK: Und die zweite Frage wäre nach der Messgenauigkeit, ob man diese Einsenkungen z.B. als nach Schneeschmelze interpretieren kann oder ob es nur Meßfehlerschwankungen sind, die ein bißchen über die Meßfehlerschwankungen hinausgehen?

ZANKL: Diese Depression war im Winter 1990-1991, die haben wir in allen drei Brunnen gemessen und eine gleichlaufende Kurve bekommen. Deswegen glaube ich, ist sie jahreszeitlich bedingt.

RANK: Das würde also heißen, daß die alte Komponente überlagernd es doch ein unmittel-

baren direkten Einfluß von Schneeschmelze oder Niederschlägen gibt.

ZANKL: In der Zumischung.

RANK: Ja

ZANKL: Aber in welcher Geschwindigkeit läuft das zu, wie stark ist nun die Anströmung aus dem darauf gepackten Wasser in unser System?

RANK: Die Frage, die da herauskäme, wäre natürlich in Richtung Schutzgebiet. Diese mittlere Verweilzeit beträgt, wie Sie sagten, im Dolomit einige Jahre, 5-10 Jahre oder so etwa. Aber wenn das überlagert wäre, dann wären das ganz kurzfristige Einflüsse, da die Schneeschmelze auch direkt durchkommt. Nicht vollständig, aber ein kleiner Teil.

ZANKL: Eine Zumischung in unserem gepumpten Wasser, aber wie könnten wir den Teil jetzt da herausfiltern?

RANK: Ich möchte den Münchner Kollegen jetzt nicht vorgreifen, aber das kann man schon herausfiltern. Es ist interessant, wenn sie diese Direkteinflüsse haben, haben sie natürlich ein Problem. Wasser kommt direkt durch und damit ist natürlich schon die Schutzgebietsproblematik da, da kann man nicht davon ausgehen, es käme sehr viel später dazu, sondern man muß vom direkten Einfluß überlagernden Wassers und seiner mittleren Verweilzeit ausgehen, aber ich möchte den Münchner Kollegen nicht vorgreifen.

SCHROLL: Der Sauerstoff ist sowas wie ein Höheneffekt?

ZANKL: Wir haben Sauerstoff-Isotopen-Untersuchungen gemacht und die Auswertung ergab, daß unser mittleres Zufuhrniveau bei 1.200m SH liegt.

SCHROLL: Darf ich noch etwas zu diesen Bildern kurz ergänzen. Diese wunderschöne Geschichte mit diesem Dolomit ist es wert, näher angesehen zu werden. Man kann die Bildung wahrscheinlich tadellos beweisen, wenn das im temperierten System gewachsen ist. Dann kann man ja analysieren, man kann den Kohlenstoff-Sauerstoff von den Sauerstoff-Sauerstoffisotopen im Dolomit trennen, das ist

heute durchaus möglich, auch Kleinstmengen genau zu bearbeiten. Auf der anderen Seite ist auch die chemische Zusammensetzung erfassbar, wenn Eisen, Mangan, und anderes eingebaut wird. Wenn man den Sauerstoffgehalt dieses Wassers berücksichtigt, kann man das mit dem Gleichgewichtssystem mit der Temperatur übereinstimmen. Es ist ein sehr interessanter Fall, der meiner Meinung nach grundsätzlich einer strengeren Studie und auch einer Publikation bedürfte.

ZANKL: Genau an der Frage arbeiten wir auch, scheitern im Augenblick aber noch daran, für die Analyse exakt das Material zu bekommen, das die Kluftwände bedeckt. Die sind nur im Bereich von 10-30 μ und bedecken nur die Oberfläche; wenn ich etwas tiefer komme, komme ich bereits auf den normalen Hauptdolomit.

SCHROLL: Das müßte man auch kennen, wir haben dessen Isotopenzusammensetzung, aber ich glaube, man müßte das mit der Laser-methode abkratzen, um eine genügende Menge zu bekommen.

SCHÖPFER: Meine Frage an Sie betrifft die Strukturgeologie. Sie haben gesagt, diese großen Klüfte sind tektonisch, haben Sie Kleinstrukturen in Ihrem Arbeitsgebiet, aus denen man Rückschlüsse ziehen kann auf diese Großstrukturen, daß diese tektonisch sind? Ich bezweifle, daß diese soweit aufgehen können.

ZANKL: Sie können das in Beziehung setzen zu den kleineren Kluftstrukturen, da gibt es eine geometrische Beziehung, zu diesen weitklaffenden Klüften. Die stehen nie senkrecht, sondern haben immer einen Winkel zwischen maximal 40-50° und dann gehen sie bis horizontal runter.

Wir haben alle möglichen Lagen, und das Kluftsystem, das ich als zweites Kluftsystem bezeichnet habe, das geht relativ senkrecht durch diese Strukturen hindurch mit einem Winkel von etwa 60° zum ersten System. Die ganzen Großklüfte stehen in irgend einer Beziehung zu dieser Struktur, zu der Muldenstruktur, aus der wir ja hier unsere Wassergewinnung beziehen

HERBST: Ist die Ordnung der Luftsysteme eine relative Altersabfolge oder ist das nur eine Bezeichnung?

ZANKL: Es ist für uns eine Geländeansprache. Für die direkte Altersbeziehung würde ich sagen, daß dieses Kluftsystem, das uns die Wasserführung gibt, das breite Kluftsystem, sicher eine ganz junge Anlage, im Verhältnis zu den anderen Klüften, im speziellen zu dem kleinen Kluftsystem im Zehntelmillimeterbereich. Das mag sehr viel älter sein.

FINK: Es ist sehr interessant von Ihnen zu hören, daß dieser Dolomitmkörper fast oder überhaupt nicht verkarstet ist. Ich möchte nur als Karst- und Höhlenforscher sagen, im östl. Bereich der Kalkalpen, der Kalkvoralpen, auch in Niederösterreich, sind bedeutende, gewaltige Karstquellen im Hauptdolomit. Da wäre z.B. der Göller mit der Höhlenseige, einer Karstriesenquelle, der Ötscher, bei dem zwar das Geldochsystem im Dachsteinkalk ansetzt, aber über die Grenze Dachsteinkalk/Hauptdolomit sich tief hinein großvolumig in den Hauptdolomit erstreckt. Ich wollte damit sagen, man wird wahrscheinlich so wie immer im Karst nicht verallgemeinern dürfen, Verkarstung ist durchaus im Dolomit und wahrscheinlich auch im Salzburger Bereich sehr wohl bekannt.

ZANKL: Natürlich erhebt sich auch die Frage, wann ist diese Verkarstung eingetreten, wie alt sind diese großen Höhlen und Karstsysteme, sind sie noch aktiv? Das ist eine Frage, die ich immer wieder im Zusammenhang mit den Höhlenuntersuchungen im Nationalpark Berchtesgaden aufgeworfen habe. Die Anlage dieser Höhlen, die immer wieder mit Oberflächenniveaus in Korrelation stehen, geht offensichtlich weit ins Tertiär hinein. Das Höhlensystem ist offensichtlich über die lange Zeit hinweg unter ganz verschiedene Bedingungen hindurch einmal aktiv, einmal inaktiv und weiter wechselnd in Entwicklung gewesen. Die großen Höhlen im Nationalpark sind nur noch im tieferen Bereich aktiv, oben, in den höheren Bereichen, gibt es keine aktiven Höhlen, sondern nur noch Höhlenruinen, etwa am Hagengebirge. Und nur in größerer Tiefe wird dort Wasser gefunden.

VÖLKL: Darf ich an dieser Stelle ein bißchen unterbrechen, es läuft nämlich die Diskussion an einem Mann vorbei, der bei uns in der Mitte sitzt, Dr. HASEKE vom Nationalpark Nördliche Kalkalpen, der genau dieses Kapitel im Salzburger Höhlenbuch mitverfaßt hat, und ich kenne das Gebiet auch gut. Gerade im Bereich des Bildausschnittes, im Müllnerberg, aber auch im benachbarten Lattengebirge, gibt es auch eine ganze Reihe von Höhlen, darunter aktive Wasserhöhlen, die Adventhöhle etwa.

Aber wenn ich auch den Einwand wegen der Klüfte berücksichtige, sind es meines Erachtens eben doch karstmäßig erweiterte Klüfte, die Sie soeben gezeigt haben, die jetzt wieder interessanterweise von einem Dolomitsinter überzogen werden. Ich hätte geglaubt, daß Calcit in den Klüften ausfallen würde. Also dieses Problem interessiert mich ungemein und das wäre wirklich eine Studie wert. Sie haben gesagt Härteklasse 2, sind das Deutsche Härtegrade?

ZANKL: Härteklasse 2, die deutschen Härtegrade liegen zwischen 9° und 12° dH.

VÖLKL: Aber daran sieht man doch auch, daß es Karstwasser ist, es ist sehr wohl ein Karstphänomen.

SCHROLL: Wie ist das Kalzium-Magnesium-Verhältnis?

ZANKL: Kalzium liegt etwa bei 50 mg, Magnesium bei durchschnittlich 20 mg, die Sättigungsintensität für Dolomit ist annähernd erreicht, für Kalzit ganz schwach darüber.

KUSCHNIG: Mich hätte interessiert, wie die Abgrenzung des Schutzgebietes vorgenommen worden ist. Bezeichnet auf der Karte, auf der Sie mit dem blauen Pfeil die Einzugsgebiete eingezeichnet haben, die strichlierte Linie die Grenze des Schutzgebietes?

ZANKL: Wir sahen keine andere Möglichkeit, und dies wurde auch akzeptiert, das Wasserwirtschaftsamt hat auch keine bessere Idee gehabt, als die oberflächliche Wasserscheide als Grenze des Schutzgebietes zu nehmen, wohl wissend, daß die unterirdische nicht dort liegt, wo die oberirdische Wasserscheide liegt. Ich vermute, daß das Einzugsgebiet sehr viel

weiter nach Westen hin reicht und im Norden des Schutzgebietes kann es durchaus sein, daß die unterirdische Wasserscheide weiter nach Süden verlegt ist. Aber wir haben die oberirdische Wasserscheide als Begrenzung des Schutzgebietes genommen.

VÖLKL: Ich darf vielleicht einstreuen, im anschließenden Tiroler Raum, ein paar Kilo-

meter Luftlinie entfernt, haben wir im Hauptdolomit Markierungsversuche gemacht, und nach 5 Jahren war der Farbstoff das erste Mal in der Quelle feststellbar. Man muß da in viel längeren Zeiträumen denken, die Wasserbewegungen im Dolomit sind langsam.

Diskussionsbeiträge von:

Dr. Max FINK

*Metzkergergasse 5
3400 Klosterneuburg*

Paul HERBST

*Inst. f. Geologie
Univ. Salzburg
Georg Kropp Straße 16
A - 5020 Salzburg*

Dr. G. KUSCHNIG

*Wasserwerke d. Stadt Wien
Grabnergasse 4-6
a - 1060 Wien*

Hofrat Dr. Dieter RANK

*Bereich Umwelt
ÖFPZ-Arsenal
Arsenal - Obj. 214
A - 1030 Wien*

Dr. Georg RIEHL - H

*Hauptstraße 70
A - 2801 Katzelsdorf*

Martin SCHÖPFER:

*Inst. f. Geologie
Univ. Salzburg
Georg Kropp Straße 16
A - 5020 Salzburg*

Univ.Prof. Dr. Erich SCHROLL

*Haidbrunnngasse 14
2700 Wr. Neustadt*

MinR Dr. Gerhard VÖLKL

*Bundesministerium für Land- und
Forstwirtschaft
Stubenring 1
A - 1010 Wien*

Univ.Prof. Dr. H.ZANKL

*Philipps - Universität Marburg/Lahn
Hans-Meerwein-Straße
D - 35032 Marburg/Lahn*