

Institut für Geothermie und Hydrogeologie



| | |
|--|---------|
| Bibliothek der Geologischen Bundesanstalt Wissenschaftliches Archiv | |
| Inv.Nr.: | A 20284 |
| Standort | R |
| Ordnungs-Nr.: | |
| Vertraulichkeit | 3 |
| AZ: | |

No 806

RegioKAT NEU
Grund- und Trinkwasserwirtschaft

**Regional-
archiv**

Nr.: 1573

| | | |
|----------|--|---------|
| 26.08 KL | | 4 MU |
|----------|--|---------|

8/89 *Zi. Refat Wehner*

**"Messung von Isotopen, Edelgasen und Spurenelementen
an Grundwässern der Böhmisches Masse und deren
Grenzbereich im Molassebecken"**

A 20284-R



INSTITUT
FÜR GEOTHERMIE UND
HYDROGEOLOGIE

LEITER
UNIV.-PROF. DR. HANS ZOJER



**Betreuung der institutseigenen
Wasseranalysen:**

R. Benischke

Projektleitung und Bearbeitung:

Prof.Dr. J. ZÖTL

Graz, Oktober 1989

B/89

zi Rudolf Wehinger

**"Messung von Isotopen, Edelgasen und Spurenelementen
an Grundwässern der Böhmisches Masse und deren
Grenzbereich im Molassebecken"**



A-8010 GRAZ, AUSTRIA
ELISABETHSTRASSE 16/II
TEL. (0316) 8020/373 od. 377
FAX (0316) 8020/321
TELEBOX 75310224-JOAN A

INHALTSVERZEICHNIS

| | Seite |
|---|-----------|
| Zusammenfassung | |
| Vorbemerkung | |
| 1. Geologie und Morphogenese..... | 1 |
| 2. Hydrogeologie..... | 5 |
| 2.1. Aquifere..... | 5 |
| 2.2. Die Quellen..... | 5 |
| 2.2.1. Die Qualität des Quellwassers..... | 6 |
| 2.2.2. Die Umweltisotope | 8 |
| 2.3. Radiologische Messungen und Edelgase..... | 10 |
| 2.4. Spurenelemente..... | 12 |
| 3. Der Nordrand des Molassebeckens am Kontakt zum Südböhmischen Pluton im Bereich Prambachkirchen..... | 18 |
| 3.1. Die Untersuchung artesischer Wässer zur Frage der Hydrogeologie des kristallinen Untergrundes..... | 18 |
| 3.2. Meßergebnisse der artesischen Wässer Prambachkirchen 2 und 8 | 21 |
| 4. Vergleich der Untersuchungsergebnisse aus dem Südböhmischen Pluton und dem Nordsaum des Molassebeckens..... | 25 |
| Schlußfolgerungen..... | 26 |
| Literatur..... | 28 |

Zusammenfassung

Die Morphogenese des Südböhmischen Plutons führte im oberösterreichischen Anteil am Böhmischem Massiv (Mühlviertel, Sauwald) zum gegenwärtigen großräumigen Erscheinungsbild einer dreizonalen Gliederung des Gebietes in eine unterste, durch die Entwicklung des Donaulaufes geprägte Terrassenlandschaft, eine hochgelegene alte Abtragungs-Fastebene und eine durch jüngere tektonische Bewegungen zwischen den beiden Bereichen liegende Zone einer durch aktivierte Erosion gezeichneten Mittelgebirgslandschaft mit beachtlicher Reliefenergie.

Dieser Mittelgebirgsbereich weist durch seinen Wechsel von tief eingeschnittenen Tälern, kleinen Flächen von Erosionsterrassen und Verebnungsresten besondere hydrographische und hydrogeologische Züge auf. Die diesbezüglich wesentlichen Elemente sind unregelmäßige Verebnungsreste kleinster bis mittlerer Dimension mit entsprechender voneinander unabhängiger Wasserführung und dementsprechender Vielfalt von Quellaustritten mit meist geringer Schüttung. Erst eine geologisch-morphologische Detailkartierung läßt die Bindung von Quellaustritten an das Kluftnetz der Granite erkennen.

Die aus diesen geologisch-morphogenetischen Gegebenheiten resultierenden Schwierigkeiten werden in den Kapiteln 2.1. und 2.2. eingehend behandelt. Die ebenfalls durch die hydrogeologischen Verhältnisse beeinflusste Qualität des Grundwassers ist im Kapitel 2.2.1. nachzulesen.

Zur besseren Kenntnis und Steuerung der hydrogeologischen Probleme wurden Messungen der Umweltisotope (Kap. 2.2.2.), radiologische Daten, die Messungen von Edelgasen (Kap. 2.3.) und eine Untersuchung von Spurenelementen im Wasser (Kap. 2.4.) herangezogen.

Ein besonderer Schwerpunkt des Projektes liegt in der Beurteilung der hydrogeologischen Probleme im Kontaktbereich des Südböhmischen Plutons zum Nordsaum des Molassebeckens.

Als geeigneter lokaler Untersuchungsbereich ergab sich das Gebiet um Prambachkirchen (eingehend begründet in Kap. 3).

Die Untersuchung der hier aufgeschlossenen artesischen Wässer erfolgte mit modernsten hydrochemischen Methoden (Heliumuntersuchungen; Kap. 3.1. und 3.2.).

Der Vergleich der Untersuchungsergebnisse aus dem Südböhmischen Massiv und dem Nordsaum des Molassebeckens ergab durch Bohrdaten und Analysen, daß die im letztgenannten Bereich erschlossenen artesischen Wässer eindeutig aus dem granitischen Grundgebirge stammen. Der Unterschied zu dem durch die Abtragung freigelegten Südböhmischen Pluton liegt in einer respektablen Speicherkapazität des überdeckten Bereiches.

Die praktischen Schlußfolgerungen betreffen schon im Anteil am Böhmischem Massiv vor allem den Trinkwasserschutz und die Anlage von Mülldeponien.

Diese Probleme sind im Kontaktgebiet Molasse-Kristallin noch von gravierender, da hier viel größere Wasserspeicher bis zur noch nicht bekannten Abgrenzung zum Inneren des Molassebeckens betroffen sind.

Vorbemerkung

Die Forschungsgesellschaft Joanneum hat seitens des Amtes der Oberösterreichischen Landesregierung, Landesbaudirektion, Unterabteilung Wasserwirtschaft, den Auftrag erhalten, das Projekt

"Isotopen-, Edelgasuntersuchungen und Messung von Spurenelementen an Grundwässern der Böhmisches Masse und deren Grenzbereich zum Molassebecken"

durchzuführen und deren Ergebnisse zu interpretieren (Auftragsschreiben vom 1.12.1988).

Die Bearbeitung erfolgte am FGJ-Institut für Geothermie und Hydrogeologie in Graz.

Zielrichtung der Untersuchung war die Identifizierung von im grundgebirgsnahen Bereich des Molassebeckens erschlossenen artesischen Wässern und Klärung ihres Einzugsgebietes im Böhmisches Massiv, wobei Folgerungen für den Schutz dieser Wässer durch Vergleiche mit im Kristallin entspringenden Wasseraustritten mit Rückschlüssen auf Fragen der Grundwasserergänzung, Speicherung und Verweildauer sowie Hinweise auf Schutzgebiets- und Deponieprobleme angestrebt wurden.

Die Aufträge für Edelgasmessungen (Helium), radiologische Untersuchungen (Radon), Messung der Umweltisotope und der Spurenelemente wurden an anderen (z. Teil ausländischen) Institutionen durchgeführt. Damit verbundene Termenschwierigkeiten der Datenlieferung erschwerten die rechtzeitige Abfassung des Berichtes. Zu Dank verpflichtet für die freundschaftliche Zusammenarbeit fühlt sich der Verfasser dem GSF-Institut für Hydrologie in München (Dr. Stichler, Dr. Weise) und Herrn Dr. Friedmann vom Radiuminstitut in Wien. Der für Forschungszwecke gewährte Rabatt des Arbeitskreises für Spurenanalyse (Prof. Knapp) in Graz sei dankbar vermerkt, ohne ihn hätte die notwendige Reihenanalyse an nur zwei Wasseraustritten durchgeführt werden können.

Durch die Anwendung neuer Arbeitsmethoden ergab sich für den Auftrag der Stellenwert eines Pilotprojektes.

1. Geologie und Morphogenese

Schon das älteste "Grundgebirge" im geologischen Aufbau Österreichs, der Anteil an der Böhmisches Masse, ist entgegen früherer autochthonischer Vorstellungen ein von einem Deckenbau beherrschtes Orogen mit Schubweiten bis zu 100 km (A. TOLLMANN, 1985; Details betreffend das vor-devonische bzw. vor-variszische Geschehen s. TOLLMANN l.c. bzw. G. FUCHS & A. MATURA, 1980, p. 111 - 132).

Der oberösterreichische Anteil am Böhmisches Massiv gehört praktisch (mit Ausnahme des nordwestlichsten Zipfels) zur Gänze dem variszisch aufgedrungenen südböhmischen Pluton an (Fig. 1). Im Nordwesten (Süd-Böhmen) und im Osten (Waldviertel) schließen ältere Gneisgebiete an den Granitpluton an.

Die variszische Orogenese muß im Bereich der heutigen Südböhmischen Masse ein Hochgebirge gebildet haben, das wesentlich gewaltiger war als heute die Alpen. Dementsprechend die Mächtigkeit der Abtragung. Der älteste variszische Granit ist der Weinsberger Granit (Unterkarbon, ca. 340 Mio Jahre, O. THIELE, 1987). C. KURAT (1965) hat für die Intrusion eine Tiefe von 15 - 20 km angenommen, das ist auch ein Mindestmaß der erfolgten Abtragung des Gebirgszuges auf heute weite Flächen der landschaftsbildenden Oberfläche. Da wir im Weinsberger Granit jüngere Intrusionsgesteine (Diorit, Granodiorit, Quarzdiorit), vor allem große Gänge von Mauthausener Granit (Intrusion vor ca. 250 Mio Jahren) vorfinden, und der Mauthausener Granit selbst große Landschaftsbereiche bildet, dürfte ein Abtrag von mehr als 20 km Mächtigkeit vorliegen.

In nach-variszischer Zeit wurde das Gebirge weitgehend eingeebnet. Mit der Heraushebung der Alpen, der Absenkung des Molassetroges und dem damit verbundenen Rückzug der Tethys (Wechsel von marinen zu Süßwasserablagerungen) kam es auch zu einer neuerlichen Aufwölbung des Böhmisches Massivs und Bewegungen an alten und Bildung neuer Bruchzonen. Hand in Hand ging damit die Belebung neuer Erosion. Die Bildung und Veränderung der heutigen linksseitigen Zuflüsse zur Donau hält bis zur geologischen Gegenwart an, bezeugt durch den Wechsel von Weitung und oft klammartigen Gefällsstufen. Noch im oberen Pliozän war der Oberlauf der Moldau jener der Feldaist. Während der Südsaum der Böhmisches Masse durch Donauterrassen geprägt ist, im oberen Bereich (zwischen 800 und 1.000 m Seehöhe) die alten Plateaureste noch immer eine Fastebene mit etwas höheren Restbergen beherrschen, liegt dazwischen ein ausgesprochenes Mittelgebirge mit beachtlicher

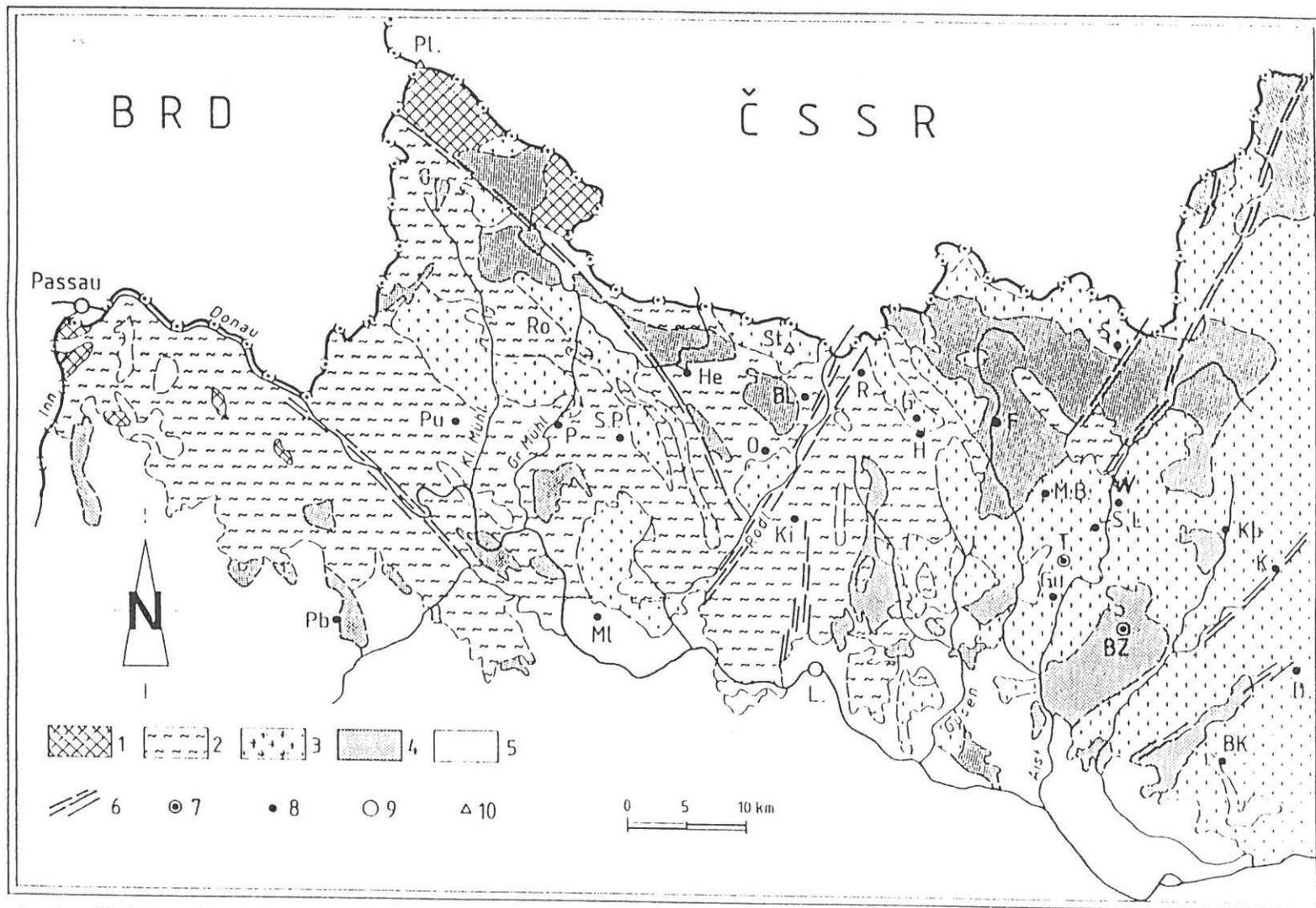


Fig. 1: Geologische Skizze des oberösterreichischen Anteiltes an der Böhmischem Masse (hpts. nach W. FUCHS und O. THIELE). 1 = Vor-variszische Metamorphite und vor-devonische Plutonite (Schiefergneis, Paragneis, Migmatite etc.; 2-4: Variszische Plutonite und Migmatite; 2 = Schiefergneis; 3 = Weinsberger Granit und Granitgneis; 4 = fein- und mittelkörniger Granit, d.s. Mauthausener, Freistädter, Schärdinger, Peuerbacher Granit; 5 = Nachvariszische Sedimente (inkl. Quartär); 6 = Hauptstörungen; 7 = Radonquelle >10 nCi/l; 8 = Orte radonhaltiger Wässer mit 1-10 nCi/l und Entnahmestellen für die Bestimmung von Spurenelementen; 9 = Bezirkshauptorte; 10 = markanter Berg (Pl. = Plöckenstein, 1.378 m; Sternstein, 1.125 m). Ortsnamen: BK-Bad Kreuzen, BL-Bad Leonfelden, BZ-Bad Zell, D-Dimbach, F-Freistadt, Gu-Gutau, G-Guttenbrunn, He-Helfenberg, H-Hirschbach, K-Königswiesen, Kb-Kaltenberg, Ki-Kirchschlag, L-Linz, M-Mühlacken, MB-Maria Bründl b. St. Oswald, O-Oberneukirchen, P-Pürnstern, Pb-Prambachkirchen, Pu-Putzeleinsdorf, R-Reichenthal, Ro-Rohrbach, SL-St. Leonhard, SP-St. Peter a. Wimberg, T-Tannbach b. Gutau, W-Weitersfelden.

Reliefenergie, zahlreichen kleinen Gräben und äußerst selektiver Erosion. Hier ist der Wechsel von dünner Verwitterungskruste, ja nacktem Fels, und mehr oder minder tiefen Verwitterungstaschen bzw. -mulden die Regel (s. hydrogeologische Folgen).

Die im Verlauf der Heraushebung belebten Störungen beeinflussen den Verlauf der größeren Oberflächenabflüsse z. Teil sehr wesentlich (Donau, Rodl, Stampfenbach-Waldaist, Kleine Naarn, vgl. Fig. 1 und geol. Karte 1:50.000, Blatt 34-Perg), nicht aber die kleinen Quellabflüsse. Diese folgen dem Kluftnetz, insbesondere den Hauptkluftlinien (vgl. Fig. 2 und 3, beides Ausschnitte aus der typischen Mittelgebirgszone mit dem Zentralraum Bad Zell). Damit sind wir bei den gegebenen Bedingungen für die hydrogeologischen Verhältnisse.

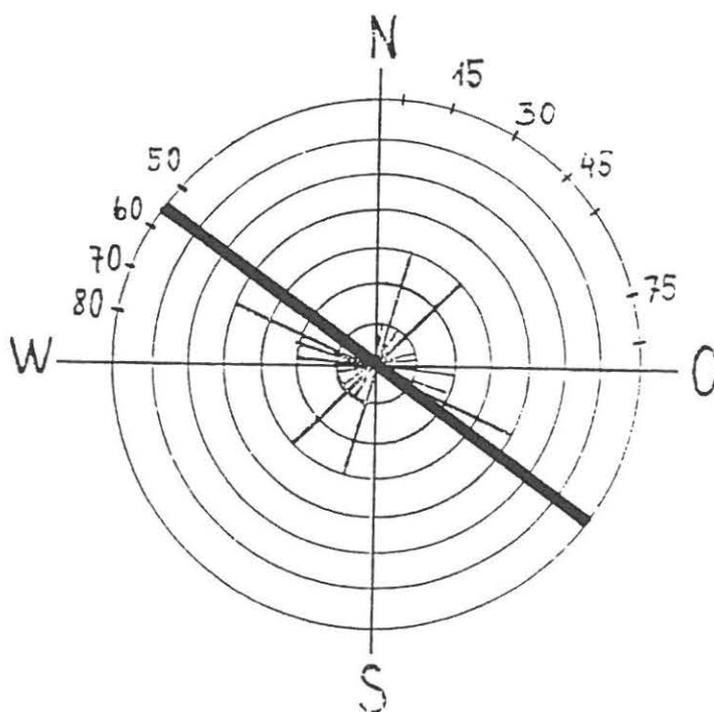


Fig. 2: Kluftsysteme im Raum Bad Zell nach ihrem Häufigkeitsgrad

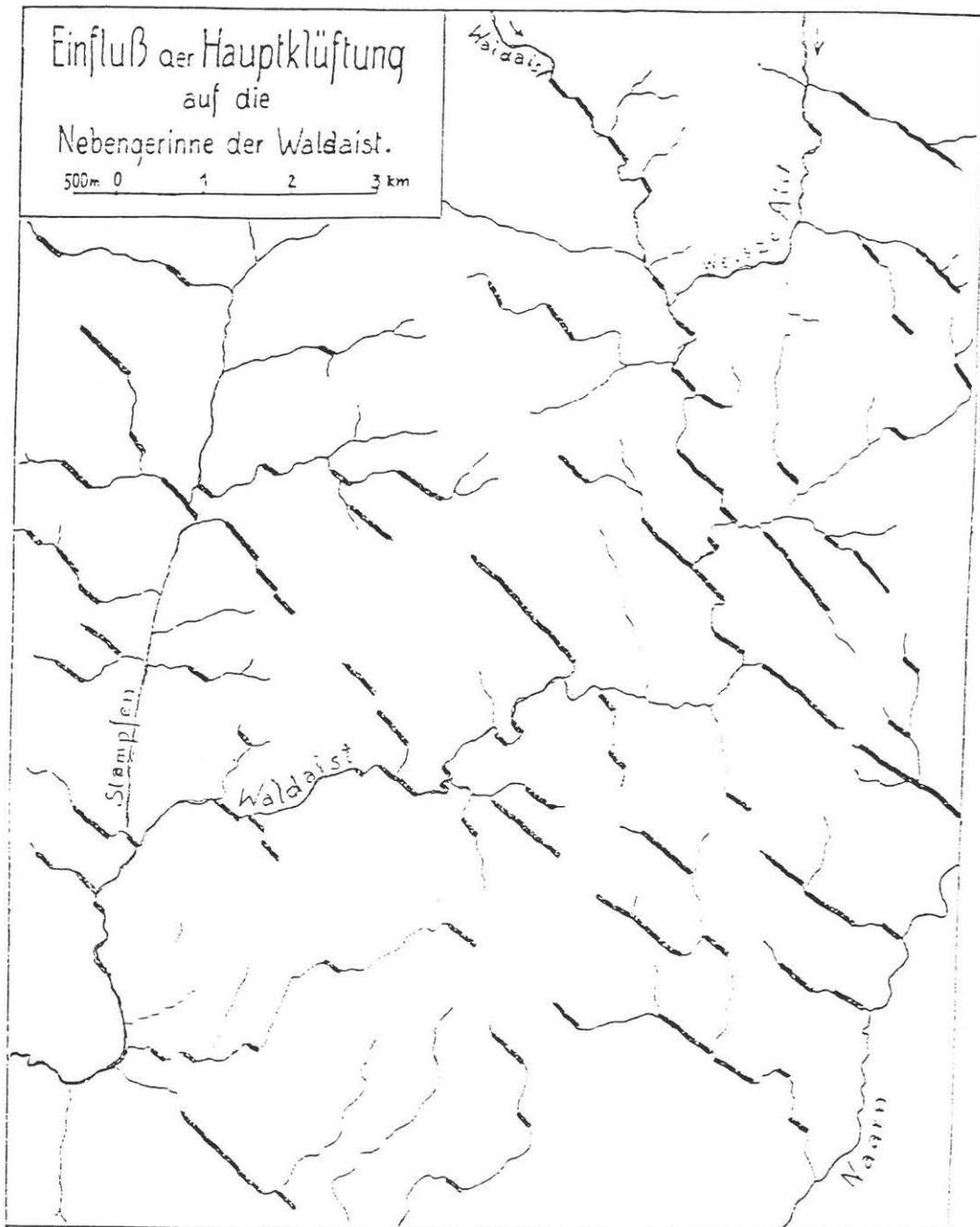


Fig. 3

2. Hydrogeologie

2.1. Aquifere

Soweit Verebnungen, meist Erosionsreste tertiärer Flußsysteme oder Erbflächen alter Plateaus eine tiefergreifende Verwitterungsschwarte (C-Horizont) mit besonders im Weinsbergergranit und anderen grobkörnigen Feldspat führenden Graniten vorliegen, kommt es zu tiefergreifenden Bereichen unregelmäßig verteilter Grundwasserwannen und -säcken, die zur Versorgung von Einzelhöfen ausreichen, falls nicht extreme Trockenperioden auftreten. Auch hier läßt sich bei geologischer Detailkartierung ein Einfluß des Kluftsystems erkennen, weil entlang von Klüften die Verwitterung tiefergriff und zwischen diesen unterirdischen Auflockerungsgräben, weniger verwitterte Partien als "Härtlinge" zum Teil bis an die Oberfläche aufragen.

Ein über größere Flächen zusammenhängender Grundwasserkörper mit gleichem Grundwasserspiegel existiert nur zum Teil in Ebenen der Peneplain, wo auch große Teiche und Moore den hydrologischen Charakter des Untergrundes dokumentieren.

In den Talböden der Donauzuflüsse hängt es vom Anteil der tonigen Verwitterungsprodukte in den Sedimenten der spärlichen kesselartigen Weitungen ab, ob lokale Grundwasserkörper nutzbar sind. Eines dieser seltenen Beispiele sind Brunnen in einer pleistozänen Akkumulation im Aisttal zwischen Bad Zell und Gutau, die mit der Ergiebigkeit von 20 l/s eine klaglose zentrale Versorgung eines Marktes und der am Leitungsweg liegenden Gehöfte ermöglicht.

Nichts ist kennzeichnender, als daß die Lösung des Problems der Wasserversorgung des oberösterreichischen Anteiles am Böhmischem Massiv erst durch eine landesweite Versorgungsschiene, gespeist mit Wässern aus dem Donaauraum und Quellbereichen im nordwestlichsten Teil wenigstens für die bevölkerungsreichste und wirtschaftlich aktivste Zone im Süden des Massivs gesucht wurde. Nach wie vor aber stehen weite Bereiche der mittleren und nördlichen Zone vor mannigfachen Problemen.

2.2. Die Quellen

Die gut geklüfteten Granite bringen es mit sich, daß das versickerte Niederschlagswasser und in den Kluftwegen unter der Verwitterungsschwarte kleiner Verebnungen gespeicherte Wasser dort, wo die Hauptkluft im Hangbereich ausstreicht, als Quelle wieder zutage tritt. Diese Quellen liegen in dem

stark gegliederten Mittelgebirge in verschiedenster Höhenlage, sind zahlreich, aber naturgemäß von geringer und witterungsabhängiger Schüttung. Ihre Fassung und Zuleitung für bäuerliche Einzelhöfe ist noch heute meist mangelhaft, für Ortschaften versucht man sich mit der Zusammenführung mehrerer Quellen zu behelfen.

2.2.1. Die Qualität des Quellwassers

Die Qualität des Quellwassers manifestiert sich grundsätzlich in zwei Komponenten

- der natürlichen Beschaffenheit des Wassers und
- dem Schutz des Wassers gegen Verunreinigung.

Die natürliche Beschaffenheit des Wassers wurde lange Zeit in erster Linie nach der Gesamtmineralisation beurteilt, man unterschied "weiches" (gering mineralisiertes) und "hartes" (stark mineralisiertes Wasser) und fand sich mit den damit gegebenen gottgewollten Vor- und Nachteilen ab, nicht zuletzt weil andere Gottesgaben, wie minder stark gegorene Fruchtsäfte das Übelste verhinderten. Erst technische Einbrüche in die bäuerliche Beschaulichkeit, veterinärmedizinische und letztlich auch humanmedizinische Erkenntnisse führten zögernd zu neuen Wegen.

Die chemische Analyse erwies sich als notwendig und zeigte, daß das Grund- bzw. Quellwasser der oberösterreichischen Böhmisches Massiv extrem "weich" bzw. gering mineralisiert ist, wie man zwar schon lange weiß, aber an Hand zweier Beispiele illustriert werden soll (Tab. 1 und 2).

Tab. 1: Wasseranalyse der Quelle Tannbach 1

| | KATIONEN | | | ANIONEN | | | |
|------------------|----------|--------|--------|-------------------------------|--------|-------|-------|
| | mg/l | mval/l | mval% | mg/l | mval/l | mval% | |
| Na ⁺ | 8,81 | 0,38 | 40,9 | Cl ⁻ | 1,55 | 0,04 | 4,3 |
| K ⁺ | 0,95 | 0,02 | 2,15 | SO ₄ ²⁻ | 5,59 | 0,12 | 12,9 |
| Mg ²⁺ | 1,74 | 0,14 | 15,05 | NO ₃ ⁻ | 29,26 | 0,47 | 50,5 |
| Ca ²⁺ | 7,72 | 0,39 | 41,9 | HCO ₃ ⁻ | 18,3 | 0,30 | 32,3 |
| Summe | 19,22 | | 100,00 | Summe | 54,70 | | 100,0 |
| pH: 6,4 | | | | | | | |

Wassertypus: Kalzium-Natrium-Nitrat-Hydrogenkarbonat-Wasser

Tab. 2: Wasseranalyse Grinnerquelle Bad Zell (Vergleich 1983 - 1988)

| Bundesstaatliche Anstalt für Experimentelle Pharmakologie, Wien | | | | | | | |
|---|-------|--------|-------|-----------------------------------|-------------|--------|-------|
| Probennahme: 7.9.1983 | | | | | | | |
| KATIONEN | | | | ANIONEN | | | |
| | mg/l | mval/l | mval% | | mg/l | mval/l | mval% |
| Na ⁺ | 8,02 | 0,3489 | 28,76 | Cl ⁻ | 6,24 | 0,1752 | 14,51 |
| K ⁺ | 0,67 | 0,0171 | 1,41 | SO ₄ ²⁻ | 13,58 | 0,3868 | 32,04 |
| Mg ²⁺ | 3,10 | 0,255 | 21,02 | <u>NO₃⁻</u> | <u>23,5</u> | 0,379 | 31,4 |
| Ca ²⁺ | 11,82 | 0,590 | 48,64 | HCO ₃ ⁻ | 15,9 | 0,260 | 21,53 |
| | 23,61 | | 99,83 | | 59,22 | | 99,48 |

| Institut für Geothermie und Hydrogeologie, Graz | | | | | | | |
|---|-------|--------|-------|-----------------------------------|--------------|--------|-------|
| Probennahme: 12.11.1988 | | | | | | | |
| KATIONEN | | | | ANIONEN | | | |
| | mg/l | mval/l | mval% | | mg/l | mval/l | mval% |
| Na ⁺ | 7,84 | 0,34 | 23,9 | Cl ⁻ | 4,72 | 0,13 | 9,7 |
| K ⁺ | 1,18 | 0,03 | 2,1 | SO ₄ ²⁻ | 19,17 | 0,40 | 30,1 |
| Mg ²⁺ | 3,49 | 0,29 | 20,4 | <u>NO₃⁻</u> | <u>35,21</u> | 0,57 | 42,9 |
| Ca ²⁺ | 15,19 | 0,76 | 53,5 | HCO ₃ ⁻ | 14,0 | 0,23 | 17,3 |
| Summe | 27,60 | | 99,9 | Summe | 73,10 | | 100,0 |
| GH = 2,94 °d.H. | | | | KH = 0,64 °d.H. | | | |
| pH: 6,25 | | | | | | | |

Fe²⁺, Mn²⁺HPO₄²⁻, HASO₄²⁻ sind in der Kleinen Heilwasseranalyse 1983 nur in Spuren nachgewiesen. An Kieselsäure (H₂SiO₃) wurden 28 mg/l gemessen. Die gelösten Gase O₂ (6,8 mg/l) und CO₂ (40,6 mg/l) entsprechen den Werten eines durchlüfteten Bodens.

Wassertypus: Kalzium-Natrium-Magnesium-Sulfat-Nitrat-Hydrogenkarbonat-Wasser

Das Gesagte ist zunächst ein alter Hut. Die Wirtschaftsindustrie vermag sich durch Aufhärtung des Wassers und Waschmittel zu helfen, schmecken tut das Wasser scheußlich.

Eine nähere Betrachtung bringt jedoch auch weiteres zutage. Nimmt man den Vergleich bei Tabelle 2 genau unter die Lupe, so zeigt sich, immer beim direkten Quellabfluß gemessen, keine starke, aber immerhin meßbare Erhöhung im Anionenbereich. Ein natürlicher Vorgang? Schade ist nur, daß die Aufhärtung praktisch ausschließlich bei den Anionen und da nahezu nur beim Nitrat liegt.

Damit wieder zurück zu ernsten Worten, zum Schutz der Qualität des Wassers gegen die Verunreinigung.

Noch hat die Nitratbelastung nicht das Ausmaß wie in den seit Jahren schonungslos beibehaltenen Maismonokulturen der südlichen Steiermark erreicht. Die Beachtung von Schutzgebieten aber ist keineswegs immer gewährleistet. Diese ist aber umso notwendiger als wir es mit geringer Verweilzeit, d.h. raschem Durchfluß der unterirdischen Wässer und damit raschem Transport von Verunreinigungen zu tun haben, die Selbstreinigung durch die Filter- und Adsorptionsfähigkeit des Bodens aber sehr langsam vor sich geht.

2.2.2. Die Umweltisotope

Einen Beweis für den raschen Durchfluß liefert der mit den Niederschlägen konform verlaufende sinkende Tritiumgehalt des Quellwassers. Im Zuge der Projektbearbeitung wurde auch die Grinnerquelle in Bad Zell auf den Gehalt der Umweltisotope beprobt, nicht zuletzt deshalb, weil von dieser Quelle auch Tritiumwerte aus dem Jahre 1983 vorlagen, was für Wässer aus dem Granitpluton selten ist (vgl. Tab. 3).

Tab. 3 Meßwerte der Umweltisotope T, ²H und ¹⁸O

| Ort | Jahr | Tritium (TU) | Deuterium (² H) | Oxygen-18 (¹⁸ O) |
|----------|------|--------------|-----------------------------|------------------------------|
| Bad Zell | 1983 | 64,1 | nicht gemessen | nicht gemessen |
| Bad Zell | 1989 | 28,0 | -84,5 ‰ | -11,95 ‰ |
| Tannbach | 1989 | 35,0 | -81,6 ‰ | -10,96 ‰ |

Das schwere Radioisotop ^3H (Tritium) entsteht bekanntlich aus energiereichen Nukleonen der kosmischen Strahlung in den obersten Zonen der Stratosphäre, die Konzentration wird in Tritiumeinheiten (TU = Tritium Unit) gemessen. Eine TU entspricht dem Verhältnis von 10^{18} leichten Wasserstoffatomen (^1H) zu einem überschweren (^3H). Im atmosphärischen Wasser liegt das Tritium in der Molekülform HTO vor. Der natürliche Tritiumgehalt der Niederschläge lag vor den Atombombentests bei 4 bis 6 TU.

Durch die H-Bombentests gelangten große Mengen von Tritium (und radioaktivem Kohlenstoff, d.h. Carbon-14) in die Atmosphäre. Der höchste HTO-Gehalt erreichte im Sommermaximum 1963 in Wien 5.500 TU (1 TU = 0,11815 Bq/kg).

Mit dem Regenwasser gelangt das Tritium in den Oberflächenabfluß und auf dem Sickerweg in das Wasser im Untergrund. In den Sechziger und Siebziger Jahren war der Tritiumgehalt des unterirdischen Wassers eine ideale Meßgröße für die Feststellung der Verweildauer bzw. des Mischverhältnisses "alter" und "junger" Wasser.

Mittlerweile ist durch den Übergang zu unterirdischen Atomtests und die relativ kurze Halbwertszeit des Tritiums von 12,26 Jahren der Tritiumgehalt der Niederschläge wesentlich gesunken.

Vom Geotechnischen Institut der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt, Arsenal, Wien werden jährlich die Monats- und Jahresmittel des Tritiumgehaltes der Niederschläge und Oberflächengewässer publiziert (vgl. D. RANK, V. RAJNER, G. LUST, 1988). Dabei sind zu verfolgen:

- ein allgemeiner ^3H -Aktivitätsrückgang (1986 auf 1987 ca. 10 %) im Niederschlag,
- eine Beeinflussung der Werte durch die Höhenlage der Meßstation, und letztlich
- eine von Osten nach Westen gestaffelte (Zunahme) der Meßwerte.

Für das Böhmisches Massiv gibt es nur eine einzige Meßstelle (Zwettl-Edelhof a. Kamp, 575 m Sh). Dennoch sind einige Rückschlüsse im Vergleich zwingend:

- auch von 1983 bis 1989 zeichnet sich ein allgemeiner ^3H -Aktivitätsrückgang von ca. 10 % ab. Da sich dies in Grundwasserdaten ausdrückt, ist eine rasche Reaktion des seichtliegenden unterirdischen Wassers schlüssig.

- Die Entnahmeorte Tannbach und Bad Zell liegen nur etwa 10 km Luftlinie voneinander entfernt und haben etwa gleiche morphologische aber verschiedene geohydrologische Bedingungen (Tannbach - Weinsberger Granit, Bad Zell - Mauthausener Granit). Weitgehend gleiche meteorologische Verhältnisse vorausgesetzt, könnten die etwas abweichenden Isotopenwerte verschiedene Versickerungsbedingungen begründen.

Zur allgemeinen Erläuterung sei bemerkt, daß der Tritiumgehalt des Grundwassers ein Mischungswert einzelner Niederschläge mit recht verschiedenen Werten ist. Liegt ein ausgedehnter Porengrundwasserkörper in Schotterterrassen vor, so entspricht der T-Gehalt etwa dem Jahresmittel des T-Gehaltes der Niederschläge. Große Karstwasserquellen des Seichten Karstes (etwa der Kalkhochalpen) haben in der Regel einen den Jahreszeiten entsprechenden Mittelwert der Isotope. Die untiefen, geringmächtigen und oberflächennahen unterirdischen Wässer im Verwitterungs- und Kluftbereich des Südböhmischen Plutons widerspiegeln aufgrund der raschen Versickerung der Niederschläge oft nur Isotopen-Mischungswerte von Witterungsperioden. Dies freilich innerhalb des generellen Trends des weltweiten Tritiumaktivitätsrückganges.

Die etwas weitläufigen Ausführungen betreffend die Isotopenhydrologie dienen vor allem der Betonung der Verletzlichkeit des Grundwassers durch Vorgänge an der Oberfläche (Düngung und chemischer Verunreinigung jeglicher Art und auch kleiner Mengen) im Bereich der Granite des Böhmisches Massivs.

Was den Schutz der Einzugsgebiete anbelangt, kommt man m.E. auch heute noch für die Abgrenzung eines Schutzgebietes um eine lokale Detailkartierung und sowohl hydrochemische als auch isotopenhydrologische Untersuchung nicht herum.

2.3. Radiologische Messungen und Edelgase

Fig. 1 zeigt eine ungewöhnliche Häufung von radioaktiven Quellen. Dabei wurden nur Wasseraustritte ab einer relativ starken Radioaktivität (über 1 nCi/l) eingezeichnet, knapp darunter liegende Werte sind noch zahlreicher. Mehrere pCi/l haben nahezu alle Quellen des Südböhmischen Plutons.

Bei der Betrachtung der Radioaktivität müssen wir vom Grundelement Radium ausgehen.

Radium (Ra) ist ein Produkt der Uran-Thoriumreihe, ein seltenes Element, dessen radioaktive Halbwertszeit (Zerfallszeit) bei 1.580 Jahren liegt. Ra kommt in verschiedenen Mineralverbindungen vor. Es wurde 1898 vom Ehepaar Curie in der Pechblende entdeckt. Die Strahlungswerte des im Wasser gelösten Radiums liegen im Böhmisches Massiv durchwegs im pCi-Bereich (d.h. 10^{-12} Curie/l).

Radon (^{222}Rn) ist ein gasförmiges Tochterelement des Radiums. Diese "Radiumemanation" hat nur eine kurze Halbwertszeit von 3,825 Tagen. Strahlungswerte im nCi-Bereich sind häufig, zwei Meßpunkte von mehr als 10 nCi/l sind Fig. 1 zu entnehmen, sie sind als "Radonheilwässer" einzustufen.¹

F. SCHEMINZKY hat zahlreiche Radium- und Radonmessungen an Quellen, insbesondere im alpinen Bereich durchgeführt. Aufgrund der meist geringen Werte hat er sich in seinen letzten Heilwasser-Analysen für einen Verzicht auf die Ra-Messungen und eine Beschränkung auf die Radon-Messungen ausgesprochen. Von hydrogeologischer Sicht ist dies zu bedauern, da das Verhältnis von Ra/Rn-Werten durchaus von Interesse ist, und zwar auch vom praktischen Blickwinkel.

Radium wird nur an der direkten Kontaktfläche Gestein/Wasser gelöst. Die vom Wasser aufgenommene (gelöste) Menge von Radium hängt nach H. FRIEDMANN

- vom Ra-Gehalt des Gesteins,
- von der chemischen Zusammensetzung des Gesteins (leichter oder schwerer löslich),
- von der Aggressivität des Wassers (Chemismus, Temperatur etc.), und diversen anderen Parametern, die je nach dem Wassertyp und seiner Bewegung von mehr oder weniger Bedeutung sind (Fließgeschwindigkeit, Mischungsverhältnis verschiedener Wässer u.a.) ab.

Die Mobilität des Radons ist wesentlich für die Konzentration der Radium-Emanation im Wasser, Boden und in der Luft bestimmend. Es kann sowohl aus größeren Tiefen als auch aus dem Gestein des Grundwasserleiters stammen. Im Raum des Südböhmischen Plutons ist in beiden Fällen das Kluftsystem des Gesteins von Einfluß, weil von ihm sowohl die Tiefe und Richtung der Auflockerung des Muttergesteins der lokalen Grundwässer auch aus tiefergreifenden Klüften als Gas- und Wasserwege abhängen. In den meisten Fällen sind dies für die Planung von Mülldeponien ungünstige Bedingungen, die von Fall zu Fall durch Detailuntersuchungen geklärt werden müssen.

¹Die Einstufung von Mindeststrahlungen von 10 nCi/l (= 27,5 Mache-E.) für Bäderkuren entspricht einem Vorschlag von F. SCHEMINZKY an den Obersten Sanitätsrat, der m.W. nie verbindlich wurde und in der Höhe der Werte wohl eine gewisse Schutzfunktion für Gastein hatte.

Die Gehalte an den stabilen Edelgasisotopen wie Neon, Argon, Krypton und Xenon könnten generell als Indikatoren für die atmosphärischen Komponenten am Gasgehalt eines Grundwassers dienen. So wurden über Neommessungen hohe Gehalte atmosphärischer Gase in gespannten Grundwässern nachgewiesen, die sich durch starke Druckspiegelschwankungen auszeichnen (J. RUDOLPH, 1981; S. WEISE, 1988). Auch für die Altersbestimmung der unterirdischen Wässer können die stabilen Edelgasisotope durch Rückschlüsse auf die klimatischen Bedingungen zur Zeit der Neubildung der Wässer dienlich sein (E. MAZOR, 1972). Die komplizierte Meßtechnik und die damit verbundenen hohen Kosten verhinderten bisher eine breite Anwendung dieser Isotopenmethode.

S. WEISE (1988) betont die besondere hydrologische Bedeutung der Messung des Heliums.

Das Verhältnis der einzigen beiden natürlich vorkommenden stabilen Isotope Helium-3 (^3He , Tritiumabkömmling) und Helium-4 (^4He = Kind des Uranium- und Thoriumzerfalls) unterscheidet sich um Größenordnungen je nachdem ob das Helium im Wasser durch atmosphärische, Erdkrusten- oder Erdmantel-Einflüsse, d.h. die Dominanz von atmosphärischen, radiogenem bzw. magmatischem Helium beherrscht wird.

Der Versuch, die Annahme des Anteiles von Radon aus der Entgasung im Wege tieferreichender Klüfte mit Hilfe der Heliummessung zu beweisen, scheiterte im Bereich des Granitplutons, weil die lokalen Grundwässer so seicht liegen, daß sie voll durchlüftet sind, wie die bei der Probennahme durchgeführten Sauerstoffmessungen, die eine volle Sauerstoffsättigung des Wassers ergaben, zeigten. Um trotzdem zu einer Aussage zur oben gestellten Frage zu gelangen, wurde der Versuch unternommen, tieferliegendes, durch eine Deckschicht gespanntes Wasser im Granitpluton für eine Helium-Messung zu beproben (s. Abschnitt 3.1.).

2.4. Spurenelemente

Die chemische Analyse, d.h. der Gehalt an Kationen und Anionen, gibt uns, wie im Abschnitt 2.2.1. beschrieben, Auskunft über die natürliche Beschaffenheit des Wassers und die Klassifizierung bzw. den Wassertypus. Der Typus, z.B. Kalzium-Natrium-Hydrogenkarbonat-Wasser (Tab. 1) sagt nichts über das Ausmaß der Mineralisierung aus, sondern wird durch die Reihenfolge der über 20 mval% liegenden Kationen und Anionen bestimmt. Wie wohl die Begriffe "weich" (ungefähr bis 6° d.H. = deutsche Härtegrade) "mittelhart" (7 - 14 °d.H.) und "hart" (> 14 °d.H.) noch heute in Angaben für technische Geräte (Waschmaschinen, Boiler) gebraucht werden, spielt die Mineralisierung erst wieder im humanmedizinischen Bereich eine Rolle. Für "Mineralwasser" besteht insofern eine gesetzlich geregelte Mindestgrenze betreffend die im Wasser gelösten Stoffe, als die Bezeichnung nur

für Wässer mit mindestens 1 g/l der Kationen- und Anionensumme gebraucht werden darf. Was die Hauptionen bzw. ihre Grenzwerte anbelangt, darf auf das im Druck befindliche ÖWWV-Regelblatt "Nutzung und Schutz von Quellen in nicht verkarsteten Bereichen" hingewiesen werden.

Zu vermerken ist, daß in den Gemeinden und Wohngebieten des oberösterreichischen Anteiles an der Böhmisches Masse, deren Wasserversorgung aus örtlichen Wasservorkommen erfolgt, auf den zu geringen Magnesiumgehalt zu achten ist. Wird der zu geringe Magnesiumgehalt des Wassers nicht ausreichend durch Nahrungsmittel ergänzt, so kann nach ärztlicher Beratung durch Magnesiumtabletten die Ergänzung des Tagesbedarfes erfolgen. Zur Bekämpfung von Koronarsklerose und Angina pectoris wird die Magnesiumzufuhr bereits verabreicht bzw. vorbeugend verwendet.

Damit sind wir an der Grenze des Überganges der normalen Wasseranalyse und den Beziehungen von Geologie und Medizin durch die Untersuchung des Wassers auf sehr geringe Mengen von Elementen, d.h. "Spurenelementen" angelangt.

Der bekannteste Fall dieser Beziehung ist wohl Fluor.

Nach der Erkenntnis des Zusammenhanges von Fluormangel und Zahnkaries erfolgte 1945 in den USA erstmals der künstliche Zusatz von Fluorid zum Trinkwasser.

Nach einem langen Streit für und wider diese Maßnahme wurde in Österreich im Auftrag der Österreichischen Arbeitsgesellschaft für Volksgesundheit über das Bundesministerium für Soziale Verwaltung eine flächendeckende Untersuchung des Fluoridgehaltes aller Trinkwasservorkommen als Basis der Organisation einer Fluorprophylaxe durch eine Tablettenmedikation durchgeführt. Diese systematische großräumige Dokumentation ist meiner Meinung nach erst dem Einfluß des Mediziners Professor Fellingner zu verdanken. Die Ergebnisse wurden 1973 publiziert. Die Maßnahme hätte eine größere Beachtung verdient und könnte nach wie vor als Initiative für ähnliche Maßnahmen auf dem Gebiet der Lenkung, Selektion und großräumigeren Untersuchung von Spurenelementen dienlich sein.

Für den Anteil Österreichs an der Böhmisches Masse sind im östlichen und nördlichen Waldviertel Fluorgehalte von 0,25 bis 0,74 mg/l in Wässern gemessen worden. In zwei Fällen eines Fluoridgehaltes von 0,99 mg/l liegen die Werte nahe der medizinischen Zusatztablette von 1 mg/l. G. FUCHS & B. SCHWAIGHOFER (1978) betrachten die für die hohen Fluoridgehalte des Wassers maßgeblichen Fluorite in Kluffüllungen im nördlichen Waldviertel als hydrothermales Produkt.

Im Bereich des Südböhmischen Plutons sind die bisher gemessenen Fluoridwerte niedrig:

| Orte | mg/l F ⁻ : |
|---------------------|-----------------------|
| Bad Zell | 0,07 |
| Kaltenberg | 0,13 |
| Fleischanderl Lehen | 0,65 |
| Prambachkirchen 2 | 0,07 |
| Prambachkirchen 8 | 0,14 |

Die Liste der heute meßbaren Spurenelemente ist lang und kostspielig. Die Auswahl ist immer auch noch ein Suchen nach ihrer geologischen Aussagekraft und ihrem medizinischen Stellenwert.

Fluorverbindungen weisen, wie schon angedeutet, zwar meist (abgesehen von Mineralen auf zweiter Lagerstätte) auf Tiefenursprung hin, können aber auch sedimentärer Genese sein (vgl. M.A. GÖTZINGER, 1984).

Eisen, als Gehalt an Eisensalzen für Heilzwecke bekannt, kann ebenso wie Mangan allen Tiefen der Erdkruste entstammen, beide sind aber auch ob ihrer Nebenerscheinungen (tintiger Geschmack, Ausflockungen) eher unerwünscht.

Blei, Kupfer, Zink, Molybdän, Zinn und Kobalt finden wir in Wässern von Gesteinen die Erze dieser Elemente enthalten, sie sind wie Lithium, Strontium, Caesium, Rubidium, Barium, Borsäure, Arsen u.a. "Kinder der Tiefe", wie sie J. STINI in seiner blumenreichen Sprache bezeichnete. Ihrer aller Bestimmung sind finanzielle Schranken gesetzt. So wurde auch nach medizinischen Fakten gesucht.

Ein hierzu maßgeblicher Anstoß kam aus der erst in jüngster Zeit erkannten breiten Wirkung des Spurenelementes Selen.

Selen kommt in der Natur vorwiegend in Form von Seleniden vor, z.B. als Beimengung in isomorphen Sulfiden wie Kupferkies, Pyrit und Zinkblende. In einigen seltenen Mineralien (z.B. Berzelianit, Naumanit, Clausthalit) ist Selen ein Hauptbestandteil. Es ist also ein Produkt aus der Tiefe. Bei der industriellen Verarbeitung von Kupfer-, Eisen- und Zinksulfiden fällt Selen im Flugstaub bzw. Bleikammerschlamm an und wird wirtschaftlich gewonnen (Elektroindustrie: Halbleiter, Photoelektrik, Sperrschichtphotozellen etc.).

Durch Kontaktschäden von in Kupferschmelzen tätigen Arbeitern wurde man zunächst mit den negativen Komponenten der Toxizität des Selen konfrontiert.

Dieselbe Erfahrung, allerdings über natürliche Bedingungen, brachten chronische Erkrankungen von Tieren und Menschen, durch hohe Selenkonzentrationen in Pflanzen von Weidegebieten bzw. pflanzlicher Nahrung. Besonders extreme Fälle von Selenvergiftung dieser Art beschreiben YANG et al. (1983) aus der chinesischen Provinz Hubei. Fälle chronischer Selenerkrankung werden auch aus den USA, Venezuela und anderen Ländern beschrieben.

Die weiträumigen Untersuchungen kamen aber auch den Folgen eines Selenmangels auf die Spur. Es hängt mit der Größe und Vielfalt geologischer Verhältnisse zusammen, daß die wichtigsten Erkenntnisse wieder aus der VR China kommen. Es steht nunmehr fest, daß die unter dem Namen "Keshankrankheit" bekannte endemische Kardiomyopathie, der jährlich Tausende von Kindern und Frauen zum Opfer fielen, mit Selenmangel zusammenhängt.

Diese aufsehenerregenden Forschungsergebnisse zogen und ziehen noch immer intensive Folgestudien nach sich, zu deren wichtigsten Untersuchungen die medizinische Bedeutung dosierter Selenzufuhr für die Resistenz des menschlichen Körpers gegen Viruserkrankungen zählt. Weiters wurden einschneidende Erkenntnisse gewonnen, aus denen hervorgeht, daß Selen ein wichtiger Antagonist gegen Vergiftungen durch Blei, Kadmium und Quecksilber ist.

Nun ist bekannt, daß Selen - abgesehen vom industriellen Weg - über den Boden und die Nahrung (bzw. über medizinische Anwendung in Form von Ampullenfüllungen) in den menschlichen Körper gelangt. Metallisches Selen ist im Wasser nur schwer löslich. In Deutschland wurden bereits bundesweit tausende Proben von Böden und Pflanzen untersucht, das Resultat ist im ganzen ein empfindlicher Selenmangel, wobei bundesweit der Selengehalt des Bodens nach Süden hin abnimmt.

Die Obergrenze für den Selengehalt des Blutes im ÖWWV-Regelblatt (1989) ist mit 0,01 mg/l angegeben. Die von unseren Wasserproben gemessenen Werte liegen bisher alle unter 0,05 µg/l (0,00005 mg), sodaß weitere Messungen im Bereich des S-Böhmischen Plutons eingestellt wurden. Neu in die Analysenreihe soll dafür Quecksilber aufgenommen werden, nachdem Einzelmessungen des Cadmiums nahe und über dem Toxizitätswert auftraten.

Es war nicht zuletzt der geringe Selengehalt und das damit fehlende Gegengewicht zu Cadmium, was uns veranlaßte, letzterem besonderes Augenmerk zu schenken.

Cadmium tritt als seltenes Metall meist vergesellschaftet mit Zinkmineralien (Zinkblende) auf, Cd-Salze und -Dämpfe sind giftig. Cadmiumoxyd (CdO) ist ein unlösliches braunes Pulver, die Cadmiumhalogenide (Cadmiumchlorid, CaCl_2 ; Cadmiumbromid, CdBr_2 und Cadmiumjodid, CdJ_2) sind alle im Wasser leicht löslich.

Der Zusammenhang von Cadmium mit der Entstehung von Tumoren bei Tieren ist veterinärmedizinisch nachgewiesen (Proc. Am. Assoc. Cancer Res. 26, 122 (483), 1985).

Bei Männern wird von einem erhöhten Risiko für Prostata-Krebs berichtet, wenn ein beruflicher oder umgebungsbedingter Kontakt mit Cadmium (-verbindungen) gegeben ist.

Damit sei nochmals auf die Selenarmut unseres Arbeitsgebietes verwiesen. Selen gilt als essentielles Spurenelement der chemischen Krebsprophylaxe. Es hemmt die wachstumsfördernden Effekte des Cadmiums für die Krebszellen und bietet zweifellos Schutzeffekte gegen cadmiumbezogene Krebsgenese.

Die Cadmiumwerte liegen bei den im Bereich des Südböhmischen Plutons gezogenen Wasserproben sehr gestreut.

Eine Übersicht über die im Arbeitsgebiet gemessenen Spurenelemente gibt Tab. 4.

Zur Interpretation der in Tab. 4 ausgewiesenen Werte der Spurenelemente ist auszusagen, daß die erhöhten, aber noch nicht die Grenzwerte erreichenden Pb-Werte Lehen/Fleischanderl und Gutau Brunnenwasser auf alte Rohrleitungen zurückzuführen sind, das ungespannte Brunnenwasser Gutau wird nicht mehr genutzt. Kupfer, Zink und Bor sind zu vernachlässigen. Für Strontium konnte ich keine Richtwerte finden. Cadmium und Fluor wurden bereits besprochen. Betreffend Cadmium könnten seichtliegende Grundwässer und Quellen durch Klärschlammdeponierung gefährdet sein, desgleichen gilt auch für Zinn (Sn), das aber in den nachgewiesenen Spuren keine nennenswerte Größe ist. Selen weist das Gebiet als ausgesprochenen Mangelbereich aus. Strontium wäre von Interesse, weil Strontium-Salze ob ihrer entzündungsverhindernden Wirkung in der Medizin Anwendung finden.

Caesium kommt wie viele Alkalimineralien in der Natur nur in Verbindungen vor (Caesiumhydrid, Caesiumhydroxyd, Caesiumchlorid, Caesiumsulfat), die in vieler Hinsicht den Kaliumverbindungen ähneln.

Eine Reihe von Spurenelementen kann aufgrund ihrer steten geringen Konzentration bei späteren Untersuchungen im Südböhmischen Pluton vernachlässigt werden (z.B. Kupfer, Bor, Jod, Selen, Aluminium, Arsen, Zinn, Rubidium, Barium und Caesium).

Tab. 4: Werte der Spurenelemente in Wasserproben (Quellen) aus dem Südböhmischen Pluton und artesischen Wässern der unmittelbar angrenzenden Molassezone

| Ort | Pb | Cu | Zn | B | Sr | Cd | J | F | Se | Al | As | Sn | Rb | Ba | Cs | µg/l |
|-----------------------------|--|----|----|-----|-----|-----|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Pluton, frei austr. Quellen | Fleischanderl/ Lehen | 36 | 3 | 70 | <10 | 153 | 1,5 | <20 | 650 | n.g. |
| | Gutau/ Brunnenwasser ungespannt | 40 | 4 | 25 | 60 | 160 | 2,5 | n.g. | n.g. | <5 | 70 | <5 | <10 | <20 | 65 | <20 |
| | Qu. Tannbach 1 | <5 | <2 | <20 | <10 | 50 | 0,2 | n.g. | n.g. | <5 | 31 | <5 | <10 | <20 | <20 | <20 |
| | Qu. Bad Zell | 11 | 3 | <20 | <10 | 92 | n.g. | <20 | 75 | n.g. |
| | Qu. Kaltenberg | 15 | 2 | 20 | <10 | <80 | <u>3,4</u> | <20 | 135 | n.g. |
| Arteser Molasse | artesische Brunnen Molasserand nahe Grundgebirge | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Prambachkirchen 2 | <5 | <2 | <20 | <10 | 140 | 1,1 | n.g. | n.g. | <5 | 12 | <5 | <10 | <20 | 25 | <20 |
| | Prambachkirchen 8 | <5 | <2 | <20 | <10 | 90 | 0,4 | n.g. | n.g. | <5 | 12 | <5 | <10 | <20 | 28 | <20 |

Für andere Elemente ist zu überlegen, ob bei besonderer Gefährlichkeit (oder Nützlichkeit) und bei den wenigen Proben mit schwankenden Werten eine flächendeckende Untersuchung zu empfehlen wäre (Cd, Sr).

3. Der Nordrand des Molassebeckens am Kontakt zum Südböhmischen Pluton im Bereich Prambachkirchen

Der Südrand des Sauwaldes ist geomorphologisch stark gegliedert. Fingerförmig greifen junge Talfüllungen und Terrassenreste in das rasch an Höhe gewinnende Granitgebiet zurück, gegen das Becken nach Süden vorragende Grundgebirgsrücken haben direkten Kontakt mit tertiären Schottern und Schlier. So hat auch der Molassesaum ein teilweise recht lebendiges Relief.

Dort, wo der Schlier vorherrscht, mangelt es an gutem seichtliegendem Grundwasser. Da Bohrungen relativ untief auf gespanntes Grundwasser stießen, finden sich hier am Nordsaum des Molassebeckens zahlreiche artesischen Brunnen.

3.1. Die Untersuchung artesischer Wässer zur Frage der Hydrogeologie des kristallinen Untergrundes

Bei den hohen Kosten der Messungen von Edelgasen und Spurenelementen im Wasser war die Selektion der zu beprobenden artesischen Brunnen eine wichtige Entscheidung.

Geprüft wurden die vorliegenden Rohaufnahmen von Artesern 1981/82. Kriterien für die Auswahl waren vor allem eine für die Kristallinwässer geringe Mineralisierung und ein saurer pH-Bereich der Wässer. Dabei ergab sich folgendes Prüfungsergebnis (Tab. 5):

Die Lage der für die Beprobung von Artesern geprüften Gemeindegebiete ist Fig. 4 zu entnehmen.

Die Wahl für die Beprobung fiel auf die artesischen Brunnen Prambachkirchen Nr. PBK 2 und PBK 8.

Tab. 5: Auswahl Kriterien für die Neon- und Heliumuntersuchungen und Messung von Spurenelementen an artesischen Wässern am Grenzaum des Molassebeckens zum Böhmischem Massiv (Sauwald).

| Gemeinde | Anzahl d. Arteser insgesamt | pH < 7/Nr. | Tiefe in m | Schüttung in l/s | Temperatur °C | Leitfähigkeit my/S/cm 20° C | pH-Wert |
|-------------------|--------------------------------|------------|---------------|---------------------|------------------|--------------------------------|---------|
| Michaelnbach | 8 | 1 (MIC 7) | 56 | n.m. | n.m. | 544 | 6,65 |
| St. Marienkirchen | 10 | 3 (SMK 2) | 23 | n.m. | n.m. | 825 | 6,96 |
| | | (SMK 8) | 64 | n.m. | n.m. | 1.178 | 6,97 |
| | | (SMK 9) | 22 | n.m. | 10,6 | 1.299 | 6,30 |
| Waizenkirchen | 6 | 1 (WAI 4) | ? | 3,0 | n.m. | 635 | 6,95 |
| Prambachkirchen | 11 | 8 (PBK 1) | ? | 8,0 | 14,0 | 397 | 6,94 |
| | | (PBK 2) | ? | ca. 10,0 | 12,8 | 317 | 6,84 |
| | | (PBK 3) | ? | n.m. | 11,3 | 575 | 6,87 |
| | | (PBK 4) | ? | 0,05 | 11,7 | 589 | 6,84 |
| | | (PBK 8) | 38 | ca. 0,5 | n.m. | 308 | 6,57 |
| | | (PBK 9) | 22 | n.m. | n.m. | 568 | 6,54 |
| | | (PBK 10) | 18 | 1,5 | n.m. | 403 | 6,61 |
| | | (PBK 11) | 25 | n.m. | 12,5 | 364 | 6,84 |

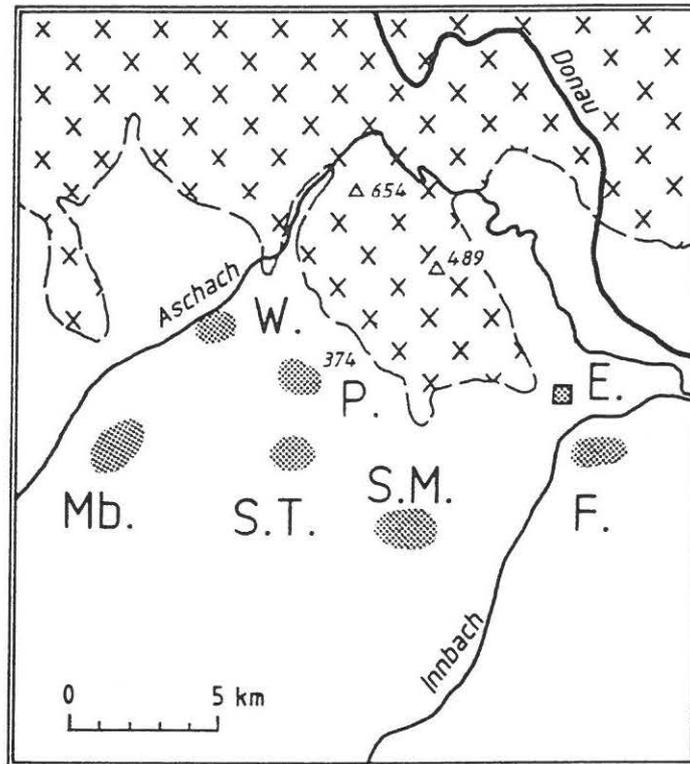


Fig. 4: Ungefähre Lage der im Bericht genannten Gemeinden mit artesischen Brunnen im südlich an den Granitpluton grenzenden Bereich des Molassebeckens. Kreuz-Signatur = Böhmisches Massiv, strichliert = ungefähre Grenze Kristallin-Molassebecken, E = Eferding, F = Fraham, Mb = Michaelnbach, P = Prambachkirchen, S.M. = St. Marienkirchen, S.T. = St. Thomas, W = Waizenkirchen.

3.2. Meßergebnisse der artesischen Wässer Prambachkirchen 2 und 8

Beide Brunnen haben gering mineralisiertes Wasser und einen pH-Bereich im sauren Milieu (Tab. 5).

Die Tritiumwerte betragen für PBK 2: 0,95 + 0,2 und PBK 8: 1,7 + 0,2 TU.

Die stabilen Isotope der Wässer Prambachkirchen haben die Werte (vgl. Fig. 5)

PBK 2 Deuterium - 71,8 ‰
 Oxygen-18 - 9,9 ‰
 PBK 8 Deuterium - 71,9 ‰
 Oxygen-18 - 9,86 ‰

Die Radonmessungen ergaben für

PBK 2 $^{222}\text{Rn} = 0,57 \text{ nCi/l} (= 21 \text{ kBq/m}^3)$
 PBK 8 $^{222}\text{Rn} = 6,3 \text{ nCi/l} (= 230 \text{ kBq/m}^3)$

Die chemische Analyse ist Tab. 6 zu entnehmen.

Tab. 6: Analysenwerte der artesischen Wässer Prambachkirchen (PBK) 2 und 8

Prambachkirchen 2

| | KATIONEN | | | ANIONEN | | | |
|------------------|----------|--------|--------|-------------------------------|--------|-------|--------|
| | mg/l | mval/l | mval% | mg/l | mval/l | mval% | |
| Li ⁺ | 0,01 | 0,001 | 0,03 | F ⁻ | 0,07 | 0,004 | 0,12 |
| Na ⁺ | 8,74 | 0,38 | 11,66 | Cl ⁻ | 1,73 | 0,05 | 1,55 |
| K ⁺ | 0,93 | 0,02 | 0,61 | SO ₄ ²⁻ | 19,77 | 0,41 | 12,73 |
| Mg ²⁺ | 11,08 | 0,91 | 27,91 | NO ₃ ⁻ | 1,24 | 0,02 | 0,62 |
| Ca ²⁺ | 39,08 | 1,95 | 59,82 | HCO ₃ ⁻ | 167,2 | 2,74 | 85,09 |
| Mn ²⁺ | <0,005 | | | | | | |
| Summe | 49,89 | 3,26 | 100,00 | Summe | 199,94 | 3,22 | 100,00 |

Prambachkirchen 8

| KATIONEN | | | | ANIONEN | | | |
|------------------|-------|--------|--------|-------------------------------|--------|--------|--------|
| | mg/l | mval/l | mval% | | mg/l | mval/l | mval% |
| Li ⁺ | 0,01 | 0,001 | 0,03 | F ⁻ | 0,14 | 0,01 | 0,31 |
| Na ⁺ | 7,53 | 0,33 | 10,09 | Cl ⁻ | 4,76 | 0,13 | 4,0 |
| K ⁺ | 1,57 | 0,04 | 1,24 | SO ₄ ²⁻ | 26,90 | 0,56 | 17,23 |
| Mg ²⁺ | 11,64 | 0,96 | 29,36 | NO ₃ ⁻ | 5,24 | 0,08 | 2,46 |
| Ca ²⁺ | 38,96 | 1,94 | 59,33 | HCO ₃ ⁻ | 150,7 | 2,47 | 76,0 |
| Mn ²⁺ | <0,05 | | | | | | |
| Summe | 59,76 | 3,27 | 100,00 | Summe | 187,74 | 3,25 | 100,00 |

Die gemessenen Spurenelemente sind Tab. 4 zu entnehmen

Die bei den artesischen Wässern Prambachkirchen 2 und Prambachkirchen 8 gemessenen Helium- und Neon-Isotopengehalte ergaben folgende Werte:

Interpretation der an den Proben Prambachkirchen 2 und Prambachkirchen 8 gemessenen Helium- und Neonisotopengehalte (S. Weise):

Meßwerte:

| | | Prambachkirchen 2 | Prambachkirchen 8 |
|----------------------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|
| ³ He/ ⁴ He | (10 ⁻⁶) | 0,442 + 0,008 | 1,515 + 0,017 |
| ⁴ He-Gehalt | (10 ⁻⁸ Nml/g) | 17,7 + 1,9 | 5,91 + 0,12 |
| ²⁰ Ne-Gehalt | (10 ⁻⁷ Nml/g) | 2,18 + 0,09 | 2,05 + 0,06 |
| ²¹ Ne | (%) | 0,2 + 2,5 | 0,4 + 0,8 |
| ²² Ne | (%) | 0,2 + 2,0 | 0,5 + 0,6 |
| ⁴ He-Überschuß | (10 ⁻⁸ Nml/g) | 12 | 0,7 |
| | (berechnet) | | |

Neon

Die beiden Prambachkirchener Proben zeigen ²⁰Ne-Gehalte, die nicht allein mit der Löslichkeit atmosphärischen Neons im Gleichgewicht erklärt werden können. Der ²⁰Ne-Überschuß, der etwa 15 - 30 % des Löslichkeitsgleichgewichtswertes beträgt, dürfte höchstwahrscheinlich auf

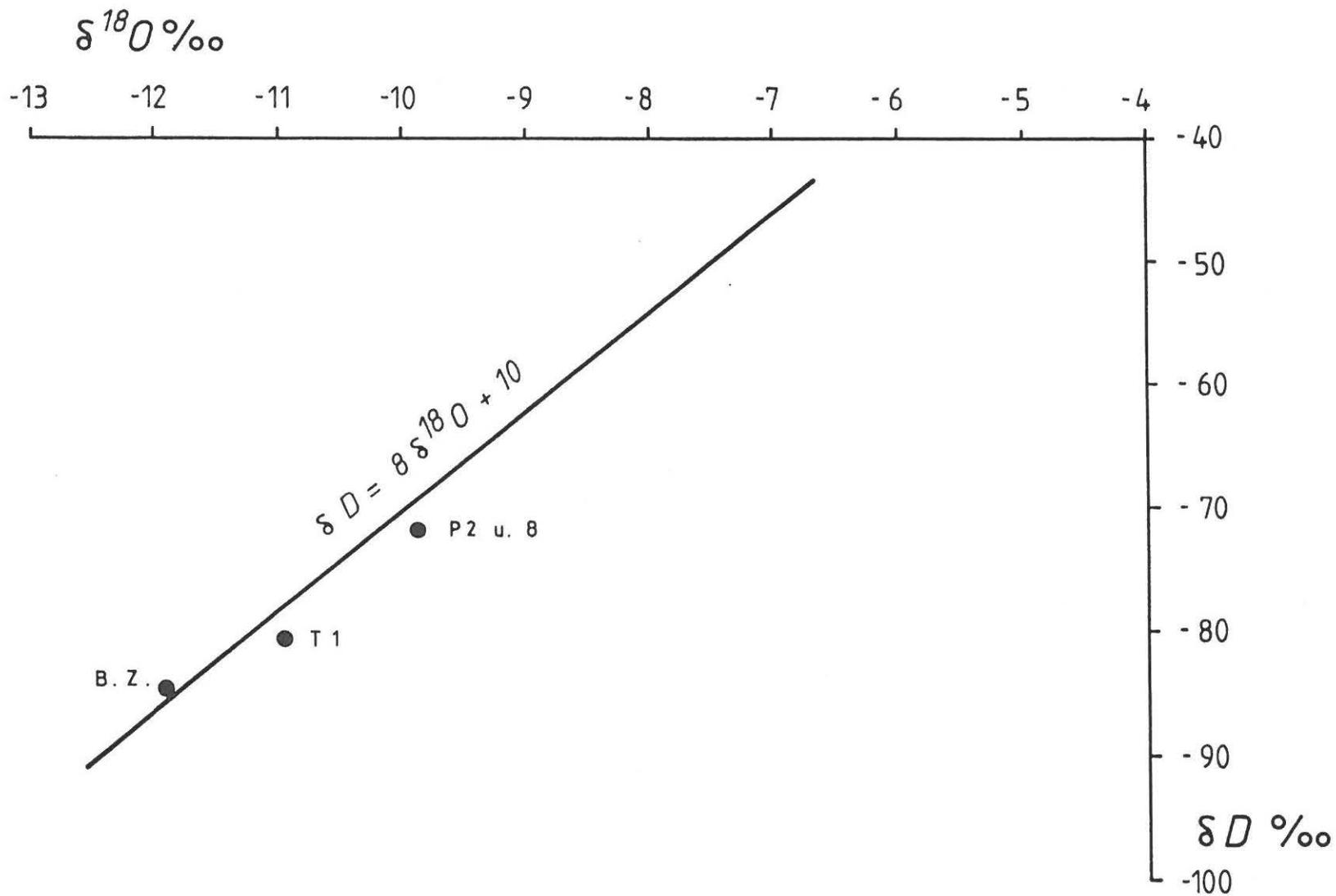


Fig. 5: Das Verhältnis der Deuterium- und Oxygen-18-Werte der artesischen Brunnen Prambachkirchen 2 und 8 am N-Rand des Molassebeckens und der Radonquellen Tannbach 1 und Bad Zell im freiliegenden Südböhmischen Pluton.

Luftüberschußgehalte zurückzuführen sein. Sofern probennahmetechnische Gründe auszuschließen sind, deutet dieser Wertebereich eher auf klüftige als poröse Grundwasserleiter hin. Dem höheren ^{20}Ne -Gehalt entsprechend gilt dies insbesondere für die Probe Prambachkirchen 2.

Die Gehalte der anderen Neonisotope ^{21}Ne und ^{22}Ne weichen nicht von atmosphärischen Verhältnissen ab, was auch nur für sehr alte Grundwässer zu erwarten gewesen wäre.

Helium

Beide Proben zeigen auch erhöhte ^4He -Gehalte, die zu einem Teil sicherlich radiogenen Ursprungs sind (d.h. sich aus der natürlichen Radioaktivität des Uraniums und Thoriums im umliegenden Gestein ergeben). Dieser Anteil ist im Falle von Prambachkirchen 8 nahe der Nachweisgrenze. Da große Mengen radiogenen Heliums im Grundwasser kristalliner Aquifere (und von solchen wird für die Grundwässer Prambachkirchen 2 und 8 hier ausgegangen) nicht ungewöhnlich sind, dürfte mit der Probe Prambachkirchen 8 eher junges Grundwasser vorliegen. Für diese Annahme spricht auch der überhöhte $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Wert (ca. 10 % über dem Gleichgewichtswert), der wahrscheinlich auf den Zerfall des sogenannten Bombentritiums zurückzuführen ist. Das Auftreten von Mantelhelium, das ebenfalls zu erhöhten $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Werten führen kann, erscheint für die Probe weniger wahrscheinlich.

Die Probe Prambachkirchen 2 weist einen zwar gegenüber Prambachkirchen 8 wesentlich höheren Anteil radiogenen Heliums auf, jedoch kann auch aus diesem Wert nicht zwangsläufig ein hohes Grundwasseralter abgeleitet werden. Dem $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Wert zufolge sind aber größere Anteile jungen, bombentritiumhaltigen Grundwassers unwahrscheinlich. Weiterhin bestätigt der niedrige $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Wert die Annahme, daß der Heliumüberschuß radiogenen Ursprungs ist, aber nicht dem Erdmantel entstammt.

Ich habe Herrn Dr. Weise zu danken, daß er die Interpretation der Edelgasmessungen übernommen hat. Die hydrogeologischen Folgerungen wurden dadurch wesentlich erleichtert.

4. Vergleich der Untersuchungsergebnisse aus dem Südböhmischen Pluton und dem Nordsaum des Molassebeckens

1. Der geologische Typus der Wasseraustritte ist grundsätzlich verschieden. Bei den Quellen im Bereich des abgedeckten Plutons handelt es sich um frei ausfließendes, direkt von den Niederschlägen gespeistes Grundwasser kleinerer, meist nicht direkt zusammenhängender, oberflächennaher Aquifere.

Die untersuchten grundgebirgsnahen Bohrungen im Molassebecken erschlossen gespanntes Grundwasser mit etwas längerer Verweildauer und z.T. beachtlicher Speicherkapazität aus dem Kristallin.

2. Der Chemismus zeigt grundsätzliche Gemeinsamkeiten, wobei die zahlreichen Austritte kleiner Schüttung aus den individuellen Miniaquifern durch die, auf das mval % der Ionen beruhende, Benennung zunächst einen wechselnden Typus vortäuscht, der bei der geringen Mineralisierung letzten Endes nichts aussagt, z.B. Tannbach 2: Natrium-Kalzium-Sulfat-Nitrat-Wasser, Tannbach 1: Kalzium-Natrium-Nitrat-Hydrogenkarbonat-Wasser, Bad Zell: Kalzium-Natrium-Magnesium-Nitrat-Sulfat-Wasser), alles Wasser mit einer Gesamthärte um 2 d. Härtegrade.

Im Reservoir der artesischen Wässer kommt durch Mischung und längere Verweildauer der grundsätzliche Charakter der Wässer klar als Kalzium-Magnesium-Hydrogenkarbonat-Typus zutage. Die Mineralisierung ist durch die längere Verweildauer etwas höher (6 bis maximal 8 d. Härtegrade), der pH bleibt im sauren Bereich.

3. Die stabilen Isotope Deuterium und Oxygen-18 entsprechen in allen Fällen der mittleren Höhe des Einzugsgebietes (Fig. 5). Die Abweichungen von der Craig'schen Linie $\delta D = 8 \delta^{18}O + 10$ liegen im Bereich der Meßgenauigkeit. Deutlich kommt in Fig. 5 die niedrigere Höhe des Einzugsgebietes der artesischen Wässer im Sauwald und die stärkere Abweichung der Isotope in den höher gelegenen Einzugsgebieten von Tannbach 1 und Bad Zell zum Ausdruck
4. Grundsätzlich verschieden ist der Tritiumgehalt der Wässer. Er belegt sowohl die Mischung verschieden alter Wässer als auch den größeren Speicherraum des von der Molasse überdeckten Grundgebirges.
5. Die Interpretation des Neon- und Heliumgehaltes bestätigt die Herkunft der untersuchten artesischen Wässer aus dem Kristallin, die Annahme der vorwiegenden Kluftwasserführung und die im folgenden gezogenen Schlußfolgerungen.

Schlußfolgerungen

Im Bereich des untersuchten Anteiles im Südböhmischen Pluton sind die hydrogeologischen Verhältnisse an die durch die Kluftsysteme gegebenen Bedingungen geknüpft. Die bereits erläuterten Gegebenheiten unregelmäßiger und in der Regel nicht zusammenhängender kleiner Grundwasserkörper und Quellen mit geringer und stark schwankender Schüttung sind die Ursache einer Reihe von Problemen.

1. Trotz der überregionalen Versorgungsschiene sind zahlreiche Ortschaften und der größte Teil der Streusiedlungen in ihrer Wasserversorgung an die Erfassung örtlicher Grundwasserbrunnen und Quellen gebunden.

Für die Abgrenzung von Schutzgebieten dieser nicht nur für bäuerliche Einzelobjekte sondern auch zentrale Versorgungen von Märkten und Dörfern lebensnotwendigen Wasservorkommen fehlen vielfach noch wichtige Voraussetzungen wie

- genauere hydrogeologische Aufnahmen der engsten und weiteren Umgebung mit gezielten Aufschlüssen, Wasseranalysen, Messung von Radium- und Radongehalt und Spurenanalysen und zwar nicht nur der zur Versorgung gedachten oder schon genutzten Quellen, sondern auch der ungenutzten Wasseraustritte.

Messungen von Spurenelementen wurden bisher kaum vorgenommen, sind aber, wie aus dem Bericht ersichtlich, besonders betreffend Cadmium, Strontium, Zink, Fluor und Blei notwendig.

Die Richtigkeit dieser Anregung der Einbeziehung aller Wasseraustritte in die Messungen beweist der positive Fall Bad Zell. Die Messungen an der ursprünglich für die Installation eines Bades vorgesehenen "Heilquelle" ergab nicht die dafür notwendige Radonkonzentration. Ohne gezielte Hinweise schlug ein Teilnehmer des Untersuchungsteams vor, die Anwesenheit zu Messungen an anderen Quellen zu nutzen. Das verblüffende Ergebnis war, daß die Quellen der damaligen Ortswasserleitung einen beachtlich hohen Radongehalt hatten, der über die notwendige Radioaktivität zur Bezeichnung "Radonwasser" beachtlich hinausging. So erhielt die damalige Marktgemeinde mehr oder minder zufällig die Basis für den Kurbetrieb und die heutige Ortsbezeichnung "Bad Zell".

2. Betreffend die Schutzgebietsfrage ist weiters darauf hinzuweisen, daß in dem Bereich gegen die meist als Abgrenzung dienenden "Härtlinge", d.h. aus dem Verwitterungsbereich durchstoßenden Gesteine, jegliche Düngung bedenklich ist. Die Verwitterungskrume ist hier meist so dünn, daß die versickernden Niederschlagswässer die Verunreinigung durch künstlichen und tierischen Dünger sofort zum Grundwasser weitertransportieren.

Auch hier kann auf Bad Zell verwiesen werden, wie trotz der sehr aufgeschlossenen und umweltbewußten Gemeindeverantwortlichen ein Vergleich der Nitratwerte älterer und jüngster Analysen eindeutig deren Zunahme und damit eine Beeinflussung aus weiterer Umgebung belegt. Die Nitrate sind eine nur schwer reparable Belastung.

3. Aus dem Gesagten ergibt sich, daß für etwaige Anlagen von Mülldeponien im starken Relief der mittleren Höhenzone generell sehr ungünstige Bedingungen vorliegen. Für kleinere Deponien sortierten ungiftigen Mülls müßten dieselben Voruntersuchungen wie für die Fassung für Trinkwasserquellen, verstärkt durch beweisführende Bohrungen und Aufschlüsse durchgeführt werden. Giftmüllanlagen sind in diesem Gebiet nicht denkbar. Der Bevölkerung müßte aber auch sehr klar gemacht werden, daß dies auch für hausgemachte wilde Deponien gilt.

Zu diesen Aussagen kommen im Grenzgebiet zur Molasse im untersuchten Gebiet verschärfte Bedingungen. Die nachgewiesene Tatsache, daß das Einzugsgebiet durch Bohrungen in der Molasse geschaffener artesischer Brunnen mit z. Teil beträchtlicher Schüttung in dem durch die Donau vom Hauptmassiv abgetrennten aber mit diesem völlig identen Gebiet des Sauwaldes liegt, macht hier die Anlage jeglicher Art von Deponien am Grenzsäum Kristallin - Molasse unmöglich. Es ist klar erwiesen, daß jede Verunreinigung des Untergrundes eine nicht reparable Schädigung gebirgsnaher artesischer Wässer mit relativ großer Speicherkapazität zur Folge haben würde (s. Kapitel 3 und 4).

Abschließend sei die schon im Kapitel 2.4. "Spurenelemente", angedeutete Überlegung zur Diskussion gestellt, ob man nicht eine flächendeckende Untersuchung der Wasseraustritte im Mühlviertel betreffend des Cadmiumgehaltes ins Auge fassen sollte. Eine Maßnahme, wie sie vor einigen Jahrzehnten betreffend Fluor im gesamten Bundesgebiet durchgeführt wurde.



Prof.Dr. J. Zötl

Literatur

- FUCHS, G. (1980): Die Böhmisches Massiv in Österreich.- In R. Oberhauser (Red.): Der geologische Aufbau Österreichs, Springer, Wien.
- FUCHS, G. & B. SCHWAIGHOFER (1978): Erläuterungen zu Blatt 17 Großpertholz; geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000. Geol. BA, Wien.
- GÖTZINGER, M.A. (1984): Über sedimentäre Fluoritbildungen in triadischen Karbonatgesteinen des Drauzuges, Kärnten, Österreich. Aufschluß, 35, 351 - 358, Heidelberg.
- KURAT, G. (1965): Der Weinsberger Granit im südlichen österreichischen Moldanubikum, TMPM, 3, 9, Wien.
- MAZOR, E. (1972): Paleotemperatures and other hydrological parameters deduced from noble gases dissolved in groundwaters; Jordan Rift Valley, Israel. Geochimica et Cosmochimica Acta, 36.
- RANK, D., V. RAJNER, G. LUST (1988): Der Tritiumgehalt der Niederschläge und der Oberflächenwässer in Österreich im Jahre 1987. Bundesversuchs- und Forschungsanstalt, Arsenal, Geotechnisches Institut, Wien.
- RUDOLPH, J. (1981): Edelgastemperaturen und Heliumalter ¹⁴C-datierter Paläowässer. Dissertation Universität Heidelberg.
- THIELE, O. in W. FUCHS & O. THIELE (+) (1987): Erläuterungen zu Blatt 34, Perg, Geol. Karte der Republik Österreich 1:50.000, Geol. BA, Wien.
- TOLLMANN, A. (1985): Geologie von Österreich II, Deuticke, Wien.
- WEISE, S. (1988): Helium-3/Helium-4-Messungen an ausgewählten Brunnen des Südlichen Wiener Beckens. In: Jahresbericht 1987 des Instituts für Hydrologie (Hrsg.: Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung München). München: GSF.