

Neue Erkenntnisse zur Beschaffenheit der Tiefengrundwässer der Nordschweiz

Autor(en): **Schmassmann, Hansjörg**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **80 (1987)**

Heft 2: **Beiträge zur Geologie der Nordschweiz : Symposium "Geologie der Nordschweiz"**

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-166015>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Neue Erkenntnisse zur Beschaffenheit der Tiefengrundwässer der Nordschweiz

VON HANSJÖRG SCHMASSMANN¹⁾

ZUSAMMENFASSUNG

In der Nordschweiz und in angrenzenden Gebieten führt die Nagra seit 1981 umfangreiche regionale Untersuchungen über die Beschaffenheit der Tiefengrundwässer aus. Mit dem Tiefbohrprogramm der Nagra wurden die Kenntnisse über die Grundwässer sowohl der triassischen und permischen Aquifers als auch des kristallinen Sockels erheblich erweitert. Im folgenden werden einige ausgewählte hydrochemische Ergebnisse der beiden Programme dargelegt und im Hinblick auf die Fließsysteme der nordschweizerischen Tiefengrundwässer erörtert.

Die Zusammensetzung der gelösten Gase ist für verschiedene Tiefengrundwässer charakteristisch (Tab. 1). Die Wässer enthalten im allgemeinen keinen Sauerstoff. Stickstoff ist oft das vorherrschende Gas. Hohe Stickstoff-Argon-Verhältnisse der Buntsandstein- und Perm-Wässer weisen auf die teilweise organische Herkunft des Stickstoff-Gases hin. In der Nachbarschaft des Rheingrabens ruft aufsteigendes Kohlendioxid eine hohe Konzentration dieses Gases in einem Tiefengrundwasser des kristallinen Sockels hervor. Radiogen produziertes Helium wird in Tiefengrundwässern während der langen unterirdischen Aufenthaltszeiten angereichert. Am Südrand des Faltenjuras und in der Tiefe des Molassetrogs stehen hohe Schwefelwasserstoff-Konzentrationen in Grundwässern des Oberen Muschelkalks (Tab. 2) mit dem Vorkommen von Kohlenwasserstoffen in Zusammenhang.

Wie am Beispiel der Bohrung Weiach (Tab. 4, Fig. 2) erläutert wird, werden die Aquifers des Malms, des Oberen Muschelkalks und des Buntsandstein-Perms durch hydraulische Barrieren voneinander getrennt, örtlich auch der Buntsandstein-Perm-Aquifer von dem Tiefengrundwasser führenden kristallinen Sockel. Die Wässer der verschiedenen Aquifers unterscheiden sich deutlich durch ihre chemischen Eigenschaften. Der Charakter des Malm-Wassers von Weiach wird auf marine Formationswässer zurückgeführt, die aus der Molasse hinuntergewandert sind. Im Oberen Muschelkalk wird aus der verhältnismässig geringen Mineralisation des Tiefengrundwassers auf einen nennenswerten Durchfluss geschlossen. Dagegen weisen die hoch salinen Wässer der nordschweizerischen Buntsandstein-Perm-Aquifers insbesondere im Perm auf eine sehr geringe Wasserzirkulation hin.

Nördlich des Permo-Karbon-Trogs (Weiach–Riniken) findet sich ein Gebiet (Fig. 1: Zurzach–Leuggern–Böttstein–Kaisten), in welchem die höheren Teile des Kristallins Wässer enthalten, die chemisch untereinander eng verwandt sind. Es handelt sich um verhältnismässig schwach mineralisierte Wässer, deren chemischer Charakter durch Kationen-Austauschprozesse beherrscht wird (Tab. 5, Fig. 3). Die hydrodynamische Interpretation dieser Grundwässer ergibt ein regionales Fließsystem mit einer Einspeisung im Schwarzwald und einem Abfluss unter dem östlichen Tafeljura in nordwestlicher Richtung zum Rhein oberhalb Bad Säckingen.

Aus tieferen Teilen des kristallinen Sockels konnte in Böttstein ein hohe Natrium- und Chlorid-Konzentrationen enthaltendes Wasser mit sehr kleinen Volumenströmen gewonnen werden. Von diesem Wasser wird angenommen, dass es in langen Zeiträumen aus dem nahen Permo-Karbon-Trog zugewandert ist. Die gleiche Herkunft haben wahrscheinlich die Thermomineralwässer von Bad Säckingen.

ABSTRACT

Since 1981, Nagra has conducted extensive regional studies into the hydrophysical and hydrochemical properties of deep groundwaters from Northern Switzerland and adjacent areas. The understanding of the

¹⁾ Geologisches Büro Dr. H. Schmassmann, Langhagstr. 7, CH-4410 Liestal.

groundwaters in the Triassic and Permian aquifers as well as in the crystalline basement has been considerably enhanced by the deep drilling program of Nagra. This paper presents selected results of the investigations and discusses them with respect to deep groundwater flow systems in Northern Switzerland.

The composition of dissolved gases present in the groundwaters is very characteristic for each of the different aquifers (Table 1). Oxygen is almost invariably absent and nitrogen is often the dominant gas. High nitrogen-argon-ratios, as typical of the Permian and Lower Triassic aquifers indicate that a part of the nitrogen is released from organic compounds. In the vicinity of the Rhine graben, ascending carbon dioxide results in a high concentration of this gas in the deep groundwaters of the crystalline basement. Radiogenic-produced helium is enriched in these waters due to the long subsurface retention times. South of the Jura mountains, high concentrations of hydrogen sulphide in waters of the Upper Muschelkalk aquifer (Table 2) are related to the occurrence of hydrocarbons.

The Malm, Upper Muschelkalk and Permian-Lower Triassic aquifers and locally that of the crystalline basement are all separated by hydraulic barriers as demonstrated, for example, by the Weiach borehole (Table 4). Waters of each of the different aquifers can be clearly distinguished from their hydrogeochemistry. The NaCl-character of the Malm aquifer water is attributed to marine formation waters that descended from the overlying Molasse sediments. Comparatively low mineralisation in the waters of the Upper Muschelkalk suggests that there is a significantly high flow rate in this aquifer. By contrast, the highly saline waters of the Lower Triassic and Permian aquifers indicate that relatively little water circulation is taking place.

North of the Permo-Carboniferous trough is an area (Fig. 1) in which the aquifers in the upper part of the crystalline basement contain closely related waters. These waters all have comparatively low total mineralisation whose character is largely determined by cation exchange processes (Table 5, Fig. 3). Hydrodynamic modelling of these groundwaters enables an interpretation of the regional flow system to be proposed. Recharge is inferred to take place in the Black Forest and drives a northwesterly directed flow under the eastern Tabular Jura, with discharge ultimately taking place in the Rhine River upstream of Säckingen.

Additionally, from deeper parts of the crystalline basement in the Boettstein borehole small quantities of a water with high concentrations of sodium chloride were obtained. This water is considered to have migrated over a considerable period of time from the nearby Permo-Carboniferous sedimentary trough. The thermomineral waters of Bad Säckingen probably have a similar origin (Table 5, Fig. 3).

1. Einleitung

Seit 1981 führt die Nagra in der Nordschweiz und in angrenzenden deutschen und französischen Gebieten umfangreiche Untersuchungen über die Beschaffenheit von Tiefengrundwässern aus. Im folgenden soll über das durchgeführte Untersuchungsprogramm berichtet und eine Auswahl neuer Erkenntnisse präsentiert werden.

2. Datenmaterial

Die vollständigsten Analysen umfassen 80 chemische, physikalische und mikrobiologische Parameter. Dabei wird einigen bisher meistens vernachlässigten, aber für die genetische Beurteilung der Wässer wichtigen Parametern besondere Aufmerksamkeit geschenkt, so der natürlichen Radioaktivität (Rn-222, α -Aktivität von U und Th, β -Aktivität), dem Redoxpotential und dem gesamten Hauptspektrum der gelösten Gase (ausser den üblichen Routineuntersuchungen auf O₂, CO₂ und H₂S auch N₂, H₂, He, Ar, CH₄, C₂H₆). In einem besonderen Teilprogramm kommen Isotopen- und spezielle Edelgas-Untersuchungen dazu, die von der Abteilung Low Level Counting (LLC) des Physikalischen Instituts der Universität Bern koordiniert werden (BALDERER, in Vorb.).

Aus dem das Nagra-Tiefbohrprogramm begleitenden *Regional- und Überwachungsprogramm* liegen Analysen des vollständigsten Typs von 89 Probeentnahmestellen vor.

Unter diesen gibt es 27 Wässer mit Tritium-Konzentrationen von < 1 TU; weitere 22 Wässer sind Tiefengrundwässer mit 1–20 TU, die auf kürzere Verweilzeiten als in Wässern mit < 1 TU oder aber auf Mischwässer aus tiefen und oberflächennahen Anteilen schliessen lassen.

Die übrigen Wässer stammen aus eher lokalen Fließsystemen. Im Vergleich zu gewöhnlichen oberflächennahen Grundwässern haben sie aber zumeist erhöhte Werte der Wassertemperatur, der Gesamtionenkonzentration oder der natürlichen Radioaktivität und sind zum Vergleich mit den Tiefengrundwässern analysiert worden. Ausser den vollständigsten Analysen wurden Untersuchungen etwa im Umfang einer üblichen Mineralwasseranalyse an 27 zusätzlichen Probeentnahmestellen ausgeführt.

Insgesamt 16 *bedeutende Mineralquellen und Thermen* sind in Lostorf (2), Schinznach Bad (2), Baden (4), Zurzach (2), Eglisau (3), Bad Säckingen (2) und Lottstetten (1) von 1981 bis 1985 alle 9 Monate nach dem vollständigsten Analysenprogramm und vierteljährlich mit Teilanalysen überwacht worden. An diesen Orten werden ausserdem Druckhöhen (Wasserspiegel), Volumenströme, Wassertemperaturen und elektrische Leitfähigkeiten kontinuierlich gemessen und registriert, so dass Zeitreihen ausführlich dokumentiert sind.

Schliesslich sind in den 6 bisherigen *Tiefbohrungen der Nagra* auf insgesamt 47 verschiedenen Tiefenstufen Grundwasserproben erhoben und nach dem vollständigsten Analysenprogramm untersucht worden. Namentlich die Kenntnisse über die vorher nur durch wenige Bohrungen erschlossenen Tiefengrundwässer des Buntsandsteins, des Perms und des kristallinen Sockels wurden dadurch beträchtlich erweitert (Fig. 1). Ferner waren aus dem von den Kalken und Dolomiten des Oberen Muschelkalks gebildeten bedeutendsten nordschweizerischen Aquifer noch nie Grundwässer aus so grossen Tiefen wie in den Nagra-Bohrungen Riniken, Weiach und Schafisheim gefördert worden (Fig. 1, Tab. 3).

Mit den im Regional- und Überwachungsprogramm und mit den im Tiefbohrprogramm der Nagra nach dem vollständigsten Analysenprogramm untersuchten Proben ist die Beschaffenheit der Tiefengrundwässer im dreidimensionalen unterirdischen Raum der Nordschweiz und angrenzender Gebiete nunmehr durch *rund 100 Probeentnahmepunkte* belegt.

Das Institut Fresenius in Taunusstein (BRD), das Eidg. Institut für Reaktorforschung in Würenlingen und das Mineralwasserlabor der Versuchsstation schweizerischer Brauereien in Zürich waren mit den Wasseranalysen betraut, ausserdem mehrere in- und ausländische Speziallaboratorien mit den Isotopen-Untersuchungen.

Ergebnisse einer ersten Auswertung sind in einem von der Nagra herausgegebenen Technischen Bericht (SCHMASSMANN et al. 1984) enthalten. Sodann wurde im Kapitel Hydrochemie des Berichtes über das Projekt Gewähr (Nagra 1985, S. 3–33 – 3–44) zusammenfassend dargelegt, wie die Tiefengrundwässer der verschiedenen Formationen zu charakterisieren sind. Am Fachsymposium der SGG über die Geologie der Nordschweiz, wie auch im folgenden, konnte nur auf einige ausgewählte Aspekte eingegangen werden.

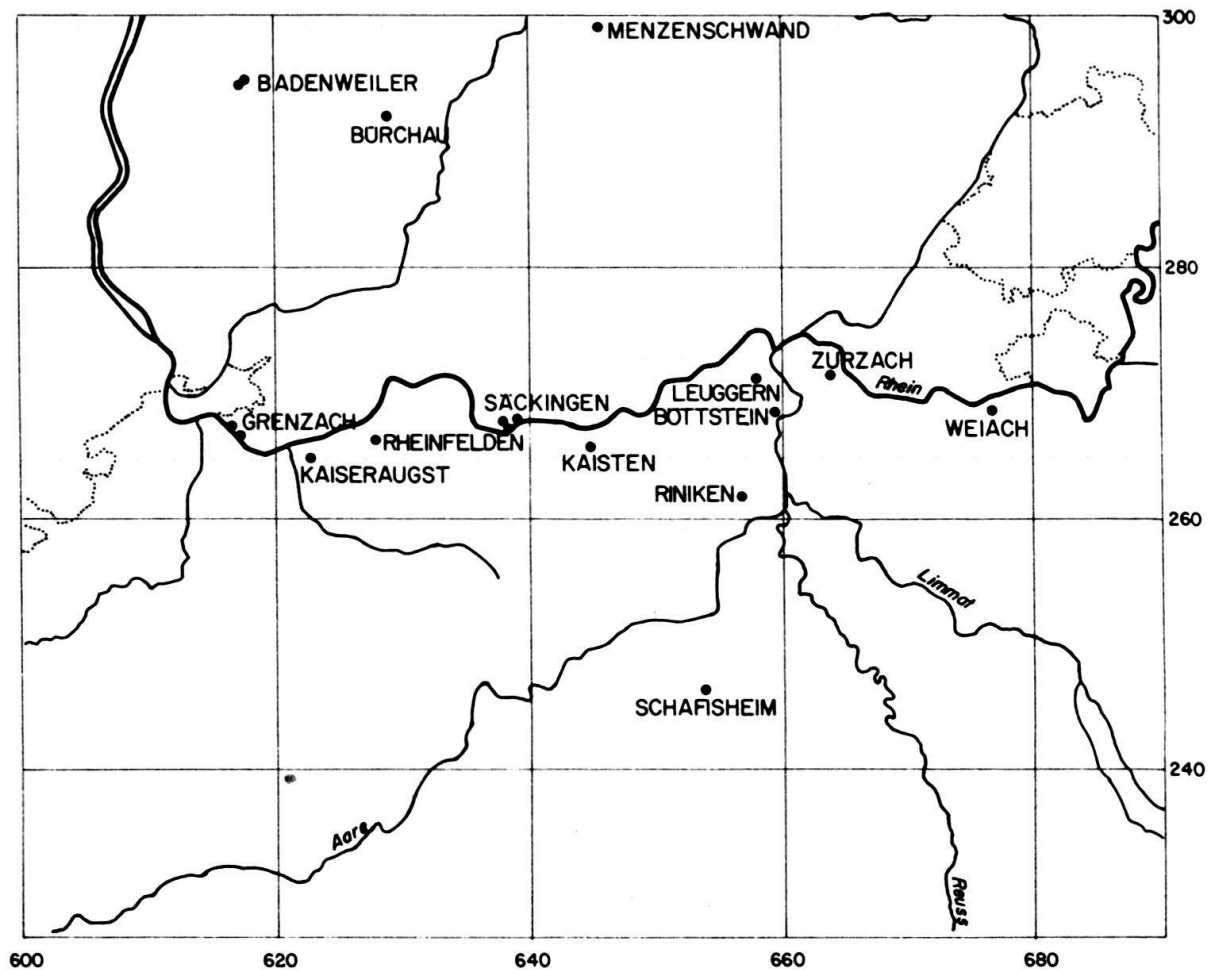


Fig. 1. Probeentnahmestellen von Tiefengrundwässern (< 20 TU) des Buntsandsteins, des Perms und des kristallinen Sockels.

3. Ausgewählte Ergebnisse

3.1 Gelöste Gase

Die Tabelle 1 weist mit 4 Beispielen auf die unterschiedlichen Konzentrationen gelöster Gase hin, die zur Charakterisierung der Tiefengrundwässer beigezogen werden können.

Tabelle 1: Gelöste Gase [mg/kg] in Tiefengrundwässern (Beispiele).

	Muschelkalk Böttstein	Muschelkalk Schafisheim	Kristallin Rheinfelden	Kristallin Zurzach
O ₂	0	0	0	0,004
N ₂	31,2	67,2	64,1	33,9
CO ₂	89,0	192	977	Spur
H ₂	Spur	0,6	0,02	0
He	0,04	0,06	0,10	0,03
Ar	0,77	1,29	0,88	0,88
H ₂ S	0	743	0	0
CH ₄	0,01	143,1	0	0,01

Sämtlichen Tiefengrundwässern ist gemeinsam, dass O_2 nicht oder nur in Spuren nachweisbar ist. Die in allen vier Wässern verhältnismässig hohen Konzentrationen von radiogen produziertem He stehen mit den langen Verweilzeiten in Zusammenhang, wobei das He in die Muschelkalk-Grundwässer aus dem Kristallin hineindiffundiert sein kann. Im Thermalwasser des Kristallins von Zurzach ist N_2 das überwiegende Gas; in den anderen Beispielen hat N_2 einen kleineren relativen Anteil am totalen Gehalt gelöster Gase.

In dem 1953 neu erschlossenen Thermalwasser von Rheinfelden-Engerfeld ist die hier höchste CO_2 -Konzentration aller bekannten nordschweizerischen Tiefengrundwässer mit dem Aufstieg magmatischer CO_2 an tektonischen Störungen in der Nähe des Oberrheingrabens zu erklären. Im gleichen Kristallin-Wasser ist ein sonst für Buntsandstein-Perm-Wässer typischer hoher Wert des Verhältnisses N_2/Ar zusammen mit anderen chemischen Ähnlichkeiten ein Hinweis auf einen Zusammenhang mit den Aquifers der betreffenden Formationen. Die hohen N_2/Ar -Verhältnisse der Buntsandstein-Perm-Wässer zeigen, dass sie ausser atmosphärischem N_2 auch solchen enthalten, der biochemisch aus organischen Stoffen (Bitumina, Kohlen) freigesetzt worden ist.

Für Grundwässer, die am Nordrand des Molassetrogs dem Oberen Muschelkalk entspringen (Thermen von Lostorf, Schinznach Bad und Baden) oder weiter südlich im Oberen Muschelkalk erbohrt sind, ist *Schwefelwasserstoff* ein typischer Bestandteil. Die höchste Konzentration ist in der Nagra-Bohrung Schafisheim (Fig. 1) festgestellt worden und übertrifft die vorher von anderen Orten bekannten Werte erheblich (Tab. 2).

Tabelle 2: Schwefelwasserstoff [$mg H_2S/kg$] in Muschelkalkwässern.

Leuggern	0
Böttstein	0
Riniken	0,35
Baden Verenahof	1,1– 2,4
Weiach	4
Lostorf (4)	8 –15
Schinznach Bad	59 –81
Lostorf (1)*	max. 200
Schafisheim	743

*) = frühere Untersuchung zum Vergleich.

Die im Muschelkalkwasser von Schafisheim hohe CH_4 -Konzentration (Tab. 1) bestätigt, dass H_2S mit Vorkommen von Kohlenwasserstoffen verknüpft ist.

3.2 Aquifer-Parameter und Grundwasserbeschaffenheit im Oberen Muschelkalk

Ein Vergleich der mit den Nagra-Tiefbohrungen und der in Lostorf erbohrten Muschelkalk-Grundwässer ergibt, dass zwar das tiefste Vorkommen (Schafisheim) die kleinste Aquifer-Permeabilität und die grösste Gesamtionenkonzentration hat, dass aber zumindest bis in rund 1000 m keine Korrelation dieser Parameter mit der Tiefe besteht (Tab. 3).

Tabelle 3: Vergleich von Muschelkalkgrundwässern (Beispiele).

Bohrung	Tiefe [m]	\bar{Q} [l/s]	s(max) [m]	K [10 ⁻⁶ m/s]	T [10 ⁻⁶ m ² /s]	β (total) [g/l]	c(eq ⁺) [mmol/l] «mval/l»
Leuggern	53– 96	0,27	20	1	40	1,2	16,5
Böttstein	123– 203	8,0	65	3	240	6,4	97,7
Lostorf 4*)	247– 364	10,0	31	2,4	238	2,5	37,0
Lostorf 3	528– 554	14,5	25	15	840	0,9	12,0
Riniken	617– 696	3,65	140	0,5	40	14,5	236,7
Weiach	822– 896	3,9	123	1,2	90	3,3	48,2
Schafisheim	1228–1293	1,65	199	0,07	3	15,3	251,3

\bar{Q} = Mittlerer Förderstrom; s(max) = maximale Absenkung der Druckhöhe; K = Permeabilität; T = Transmissivität; β (total) = Massenkonzentration der gelösten Mineralbestandteile; c(eq⁺) = Äquivalentkonzentration der Kationen.

*) Tiefen- und hydrodynamische Parameter aus Bohrung 3.

3.3 Unterschiede der Wasserbeschaffenheit in den mit einer Bohrung erschlossenen Aquifers

In allen Nagra-Tiefbohrungen sind Tiefengrundwässer jeweils in mehreren Formationen angetroffen worden. Die *Bohrung Weiach* (Fig. 1) zum Beispiel erschloss Grundwässer in den durch hydraulische Barrieren (Aquifugen oder Aquitarden) getrennten Aquifers des Malms, des Oberen Muschelkalks und des Buntsandstein-Perms und unter dem Karbon schliesslich auch im Kristallin. Am Beispiel dieser Bohrung soll gezeigt werden, dass sich die Grundwässer der verschiedenen Formationen nach ihrer chemischen Beschaffenheit und Genese deutlich voneinander unterscheiden (Tab. 4, Fig. 2). Ebensovienig wie in der einzelnen Formation (Beispiel Oberer Muschelkalk, Tab. 3) korrelieren die Gesamtionenkonzentrationen in der einzelnen Bohrung (Beispiel Weiach) mit den Tiefen.

Während die *Malm-Kalke* ein auch in der Molasse weit verbreitetes Na-Cl-Wasser enthalten, das auf die aus der OMM hinuntergewanderten marinen Wässer zurückge-

Tabelle 4: Tiefengrundwässer der Bohrung Weiach.

	Tiefe [m]	Q [l/min]	Temp. [°C]	β (total) [g/l]	c(eq ⁺) [mmol/l] «mval/l»	Wassertyp*)
Malm	243– 267	28	14	7,1	118,3	<u>Na</u> – <u>Cl</u>
Muschelkalk	822– 896	240	50	3,3	48,2	<u>Ca</u> – <u>Mg</u> –(Na)– <u>SO</u> ₄
Buntsandstein	981– 990	14	57	14,8	222,7	<u>Na</u> –(Ca)– <u>SO</u> ₄ – <u>Cl</u>
Perm	1109–1124	3	59	37,4	618,7	<u>Na</u> – <u>Cl</u> –(SO ₄)
	1401–1416	0,1	70	97,8	1692,7	<u>Na</u> – <u>Ca</u> – <u>Cl</u>
Kristallin	2212–2225	0,07	112	6,5	106,5	<u>Na</u> – <u>Cl</u>
	2261–2274	0,05	112	7,4	121,5	<u>Na</u> – <u>Cl</u>
Endtiefe	2482					

*) Bei der Bezeichnung der Wassertypen werden zuerst die Kationen, dann die Anionen, die mit mehr als 10% an der Äquivalentkonzentration beteiligt sind, in der Reihenfolge ihrer Häufigkeit aufgeführt. Ionen mit mehr als 50% Stoffmengenanteil der Äquivalente werden unterstrichen, solche mit weniger als 20% in Klammern gesetzt.

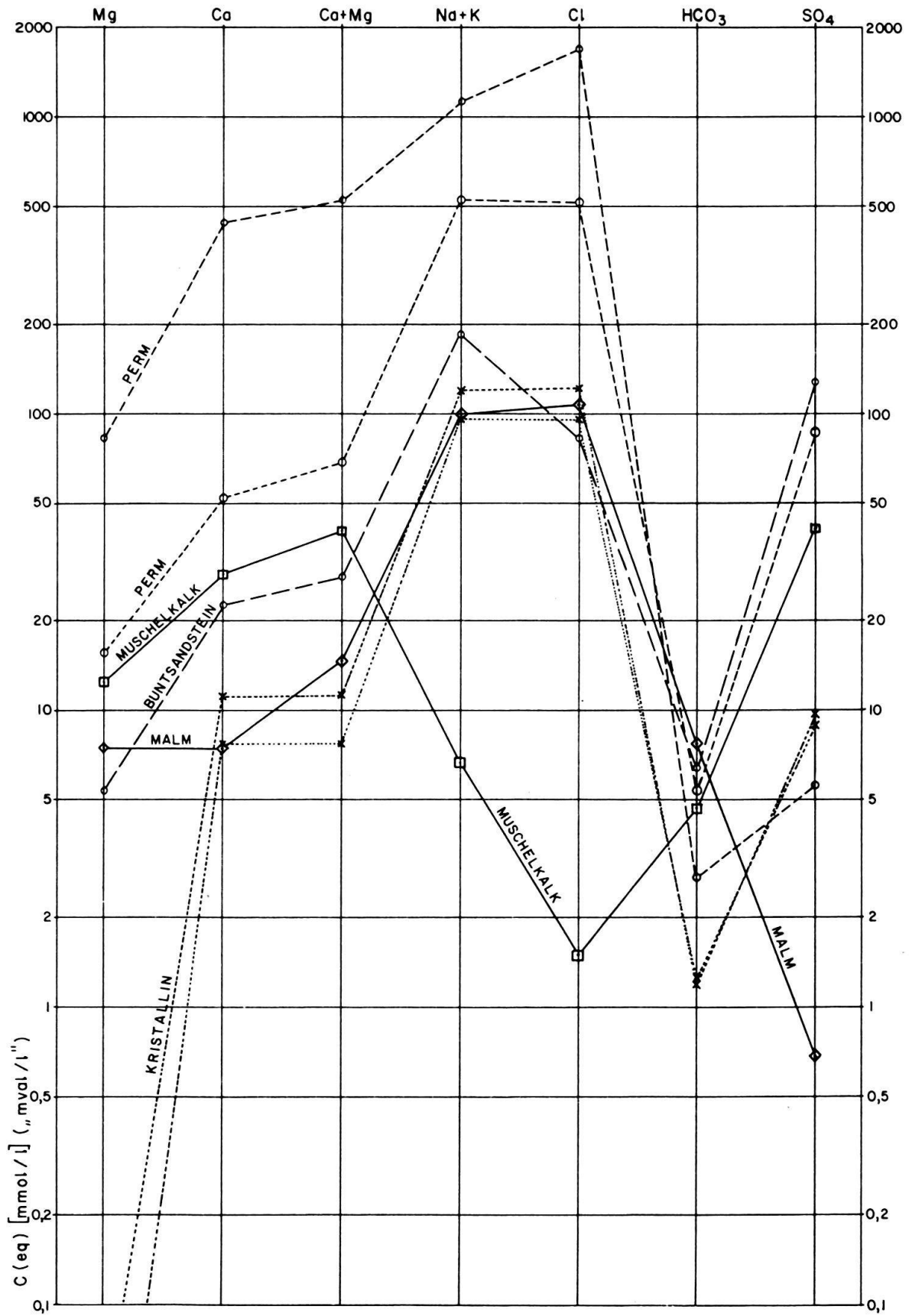


Fig. 2. Schoeller-Diagramm der Tiefengrundwässer der Bohrung Weiach.

führt wird, findet sich im *Oberen Muschelkalk* ein schwächer mineralisiertes Grundwasser mit Ca als überwiegendem Kation und SO_4 als überwiegendem Anion. Die hydrodynamischen Parameter lassen in dieser Formation auf die stärkste Zirkulation schliessen.

Hoch saline Wässer sind in den *Buntsandstein-Perm-Aquifers* der Nordschweiz verbreitet und lassen namentlich im Perm höchstens eine sehr geringe Wasserzirkulation annehmen. Erheblich geringer mineralisiert sind Wässer, die viel tiefer im wenig permeablen *Kristallin* der Bohrung Weiach angetroffen wurden. Deren chemischer Charakter weist jedoch auf Einflüsse der Wässer des hangenden Permo-Karbons hin.

Auch in anderen Bohrungen lassen sich die Wässer der einzelnen Aquifer-Formationen durch spezifische chemische Eigenschaften von den Wässern anderer Formationen unterscheiden. Ausser den Hauptbestandteilen sind oft Äquivalent- und Molekularverhältnisse von Wasserinhaltsstoffen oder Korrelationen zwischen zwei solchen Haupt- und Nebenbestandteilen ebenfalls für eine Unterscheidung der Wässer geeignet.

3.4. Perm- und Kristallin-Grundwässer des östlichen Tafeljuras

Nördlich des Permo-Karbon-Trogs (Weiach-Riniken) zeichnet sich im östlichen Tafeljura ein durch die Thermalwasserbohrungen Zurzach und durch die Nagra-Tiefbohrungen Leuggern, Böttstein und Kaisten (Fig. 1) belegtes zusammenhängendes Gebiet ab, in welchem die höheren Teile des kristallinen Grundgebirges chemisch untereinander eng verwandte Wässer mit verhältnismässig kleiner Gesamtionenkonzentration enthalten. Es handelt sich um Austauschwässer, in welchen Na das überwiegende Kation ist, unter den Anionen aber Cl gegenüber SO_4 und HCO_3 zurücktritt. Hydrodynamisch können die durch ihre chemisch und isotopische Beschaffenheit definierten Wässer mit einem regionalen Fließsystem interpretiert werden, in welchem das Wasser im Südschwarzwald eingespeist wird, unter dem Tafeljura eine ungefähr ost-westliche Strömungsrichtung hat und oberhalb Bad Säckingen zum Rhein exfiltriert.

In Böttstein folgt unter dem verhältnismässig schwach mineralisierten Grundwasser in den erschlossenen tieferen Teilen des Kristallins ein nur in extrem geringen Volumenströmen förderbares Wasser mit sehr hohen Na- und Cl-Konzentrationen, das in langen Zeiträumen aus dem südlich angrenzenden Permo-Karbon-Trog zugewandert sein dürfte, wo die aus den Nagra-Tiefbohrungen Weiach und Riniken geförderten Grundwässer in vergleichbaren Tiefen mit noch höheren Ionenkonzentrationen ähnliche Grundwasser-Typen wie das tiefere Kristallin von Böttstein enthalten (Tab. 5, Fig. 2 und 3).

Aus den sedimentären Aquifers des Permo-Karbon-Trogs wanderten wahrscheinlich auch die Thermomineralwässer von Bad Säckingen in das Kristallin hinein, in welchem sie nach Mischung mit Wässern anderer Herkunft an tektonischen Störungen aufsteigen.

Die Perm-Wässer und die durch sie beeinflussten Kristallin-Wässer unterscheiden sich von den Kristallin-Grundwässern von Zurzach, Leuggern, Böttstein (oberes Kristallin) und Kaisten unter anderem auch durch das Verhältnis Na:Cl. Sie enthalten ungefähr gleich viel Cl- wie Na-Ionen oder zeichnen sich sogar durch einen Cl-Überschuss aus (Tab. 5).

Die dargelegte Verteilung der beiden Wassertypengruppen im Perm und Kristallin des östlichen Tafeljuras ist eines der Beispiele für das Erkennen hydrogeologischer Zusammenhänge zwischen Tiefengrundwässern der Nordschweiz.

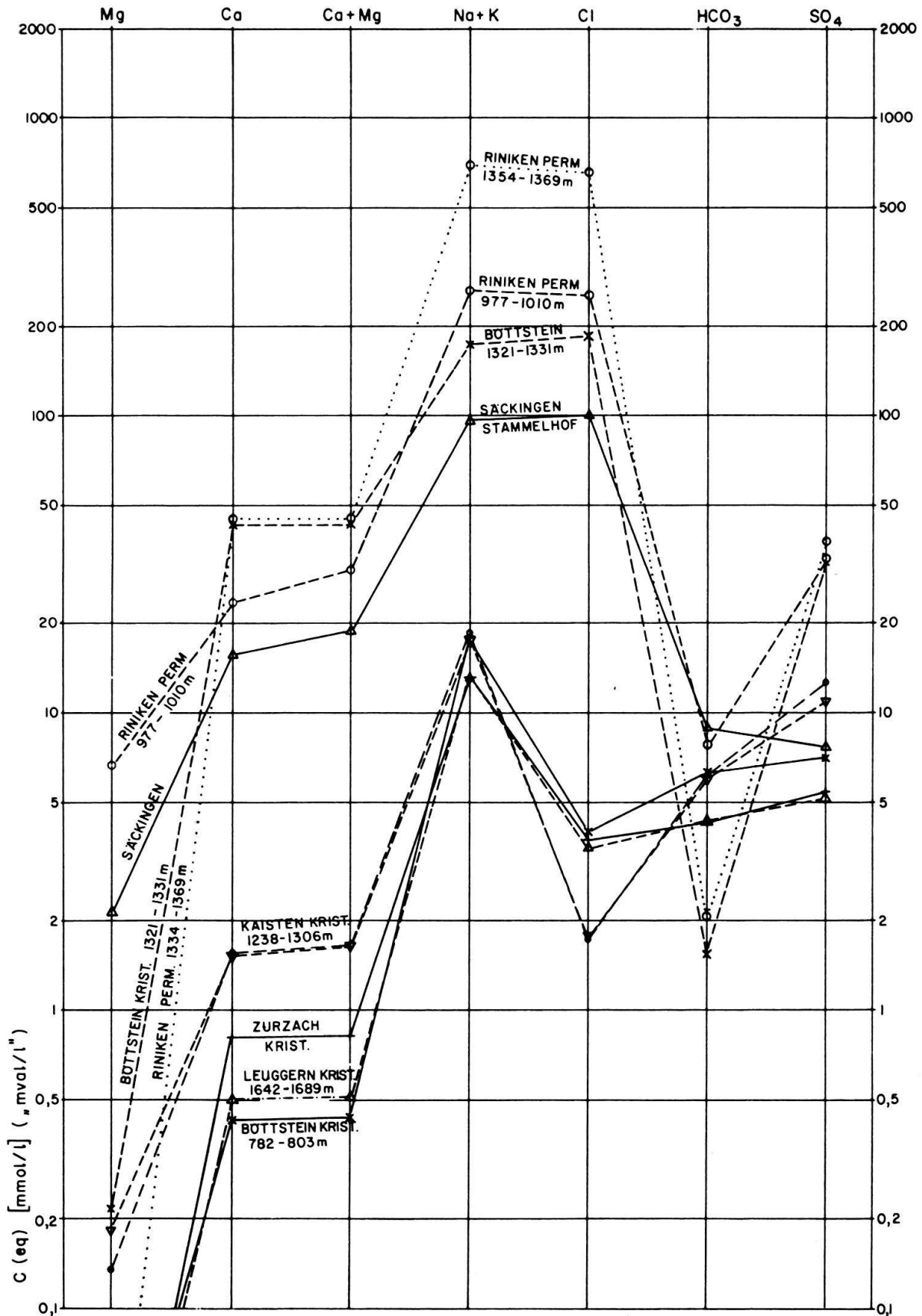


Fig. 3. Schoeller-Diagramm von Tiefengrundwässern im Perm (Rotliegendes) und Kristallin des östlichen Tafeljuras.

Tabelle 5: *Kristallin- und Perm-Grundwässer (Auswahl).*

	β (total) [g/l]	c(eq ⁺) [mmol/l] «mval/l»	Na:Cl [mol/mol]	Wassertyp
<i>Kristallin-Grundwässer</i>				
Zurzach Thermalwasserbohrung 2	1,0	14,2	3,48	<u>Na</u> - SO ₄ -HCO ₃ -Cl
Leuggern 1642-1689 m	1,0	13,9	3,67	<u>Na</u> - SO ₄ -HCO ₃ -Cl
Böttstein 782- 803 m	1,3	18,1	4,30	<u>Na</u> - SO ₄ -HCO ₃ -Cl
Kaisten 299- 322 m	1,6	21,1	8,36	<u>Na</u> - SO ₄ -HCO ₃ -(Cl)
Kaisten 1238-1306 m	1,5	19,1	9,39	<u>Na</u> - SO ₄ -HCO ₃
<i>Kristallin-Grundwässer mit Perm-Einflüssen</i>				
Weiach 2212-2225 m	6,5	106,5	1,01	<u>Na</u> - <u>Cl</u>
Böttstein 1321-1331 m	13,3	221,0	0,94	<u>Na</u> -(Ca)- <u>Cl</u> -(SO ₄)
Säckingen Bohrung Stammelhof	7,4	119,6	0,93	<u>Na</u> -(Ca)- <u>Cl</u>
<i>Rotliegend-Wässer des Permo-Karbon-Trogs</i>				
Riniken 977-1010 m	18,1	298,8	1,02	<u>Na</u> - <u>Cl</u> -(SO ₄)
Riniken 1354-1369 m	43,1	750,4	1,00	<u>Na</u> - <u>Cl</u>
Weiach 1109-1124 m	37,4	618,7	1,04	<u>Na</u> - <u>Cl</u> -(SO ₄)
Weiach 1401-1416 m	97,8	1692,7	0,67	<u>Na</u> -Ca- <u>Cl</u>

4. Schlussfolgerungen

Wie stellvertretend für sämtliche bisherigen Ergebnisse des hydrochemischen Untersuchungsprogramms der Nagra (SCHMASSMANN et al. 1984, Nagra 1985) mit vier ausgewählten Aspekten dargelegt wurde, gibt die chemische Beschaffenheit mannigfaltige Auskünfte über die Herkunft und die Entwicklung der nordschweizerischen Tiefengrundwässer. Die möglichen Aussagen werden dadurch wesentlich erweitert, dass in den Wässern ausser den gelösten Mineralbestandteilen auch das gesamte Hauptspektrum der gelösten Gase untersucht wird. Aus den hydrochemischen Daten lassen sich Schlüsse auf hydraulische Verbindungen zwischen verschiedenen Aquifers oder auf das Fehlen solcher Zusammenhänge und ganz allgemein auf die Art der regionalen Fließsysteme ziehen.

Verdankung

Die Untersuchungen über die Beschaffenheit der Tiefengrundwässer in der Nordschweiz, an denen zahlreiche Mitarbeiter beteiligt sind, werden von und im Auftrag der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) durchgeführt, welche die Veröffentlichung von Ergebnissen in verdankenswerter Weise stets vorbildlich gefördert hat.

LITERATURVERZEICHNIS

- BALDERER, W. (in Vorb.): Resultate von Isotopenuntersuchungen an Tiefengrundwässern der Nordschweiz. – *Eclogae geol. Helv.*
- Nagra, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (1985): Projekt Gewähr 1985. Endlager für hochaktive Abfälle: Das System der Sicherheitsbarrieren. – Nagra Projektbericht NGB 85-04.
- SCHMASSMANN, H., BALDERER, W., KANZ, W., PEKDEGER, A. (1984): Beschaffenheit der Tiefengrundwässer in der zentralen Nordschweiz und angrenzenden Gebieten. – Nagra Technischer Bericht (NTB) 84-21.

Manuskript eingegangen am 27. Januar 1987

Revision angenommen am 7. April 1987