

ZUR MINERALISATION DES TIEFEN GRUNDWASSERS IN NORDRHEIN-WESTFALEN, DEUTSCHLAND

GERT MICHEL

Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Westwall 124, Krefeld

Zusammenfassung: In Nordrhein-Westfalen (Deutschland) ist das tiefe Grundwasser, wie auch in anderen Gebieten, mehr oder minder mineralisiert ("Salzwasser"). Aus folgenden Formationen wurde tiefes Grundwasser untersucht: Devon, Karbon, Perm, Trias, Kreide, Tertiär.

Verschiedene Grundwasser-Typen werden unterschieden (Abb. 1 und 2).

Das tiefste Grundwasser gehört dem $Na - Cl$ -Typ bzw. dem $Na - (Ca) - Cl$ -Typ an. Der Gesamtlösungsinhalt schwankt zwischen 10^3 mg/l und $3 \cdot 10^5$ mg/l. Die prozentuale chemische Zusammensetzung der gelösten Stoffe (mval %) beträgt etwa (Kationen): $Na^+ > 75$, $Ca^{++} 5 - 20$, $Mg^{++} 3 - 6$, oft $Ba^{++} 0,1 - 1,7$; (Anionen): $Cl^- 95 - 100$, SO_4^{2-} und HCO_3^- fehlen oder sind nur in geringen Mengen vorhanden.

Der Calcium-Gehalt nimmt oft, der Gesamtlösungsinhalt beinahe immer mit steigender Tiefe zu. Lokal wird ein Wechsel von verschiedenen stark mineralisiertem Grundwasser mit zunehmender Tiefe angetroffen (Abb. 3).

Die Herkunft der Mineralisation ist nicht sicher. Folgende Ursachen sind möglich: Rezente oder fossile gewanderte Sole, diagenetisch verändertes connate water, fossil infiltriertes und verändertes Meerwasser.

Summary: In Nordrhein-Westfalen (Germany) the deeper groundwater is usually more or less mineralized ("salty water"). Deeper groundwaters from the following systems have been investigated: Devonian, Carboniferous, Permian, Triassic, Cretaceous and Tertiary.

Various chemical types of groundwater are distinguished (figs. 1 and 2). .

The deepest groundwater belongs to the $Na - Cl$ -type or to the $Na - (Ca) - Cl$ -type. The total dissolved solids range from 10^3 to $3 \cdot 10^5$ mg/l. The chemical composition of this water (in milligram equivalent %) is (cations): $Na^+ > 75$, $Ca^{++} 5 - 20$, $Mg^{++} 3 - 6$, often $Ba^{++} 0,1 - 1,7$; (anions): $Cl^- 95 - 100$. SO_4^{2-} and HCO_3^- are lacking or are found in small quantities only.

Often the calcium content and in most cases the total dissolved solids increase downwards. Locally, groundwaters of different concentration are found with increasing depths (fig. 3).

The origin of the dissolved salts is unknown. The following causes are possible: recent or fossil brines and migration, diagenetic changed connate water, diagenetic changes of fossil penetrated sea water.

1

Es ist seit langem bekannt, daß in verschiedenen Teilen des Landes Nordrhein-Westfalen, wie auch in anderen Gebieten der Erde, die Poren und Klüfte des tieferen Untergrundes mit Salzlösungen verschiedener Konzentration erfüllt sind und das süße Grundwasser nur in den oberflächennahen Grundwasserleitern vorkommt.

Diese mehr oder minder mineralisierten Wässer, welche die Hohlräume der tieferen Grundwasserleiter zusammenhängend ausfüllen, werden als *tiefes Grundwasser* bezeichnet.

Die gebräuchlichen Bezeichnungen anderer Autoren geben entweder einen Hinweis auf ihre räumliche Situation, z.B. Formationswasser, tieferes Grundwasser, Tiefenwasser, Tiefenstandsgrundwasser, Ölfeldwasser, Randwasser, Grubenwasser etc. oder auf ihre Genese, wie Erdölwasser, connate water, fossiles Meerwasser, juveniles Wasser u.a.

Hinweise auf die zum Teil starke Mineralisation des tiefen Grundwassers liegen aus zahlreichen Tiefbohrungen (vor allem Untersuchungsbohrungen auf Erdöl), Salzwasser-Zutritten in den zahlreichen Steinkohlenbergwerken, Mineralquellen und Mineralwasserbohrungen vor, sowie örtlich in Wasserversorgungsanlagen bei Überbeanspruchung der Grundwasservorräte.

Da bisher nur einige Einzeluntersuchungen des tiefen Grundwassers vorliegen, welche sich auf das balneologisch genutzte tiefen Grundwasser (=Mineralwasser)*) und das den Schachtanlagen zusitzende tiefen Grundwasser (=Grubenwasser)**) beschränken, wurde auf Anregung von H. Karrenberg mit großräumigen hydrogeologischen und hydrochemischen Untersuchungen über das tiefen Grundwasser in Nordrhein-Westfalen begonnen.

Besonders interessieren die Gebiete des Landes, in welchen zwar das tiefen Grundwasser versalzen ist, Salzlager jedoch im tieferen Untergrund fehlen. Es sind dies das Ruhrgebiet, das Münsterland und große Teile der Niederrheinischen Bucht. Vorerst wenig berücksichtigt wurden aus Mangel an Tiefenaufschlüssen das Rheinische Schiefergebirge und das mesozoische

* K. Fricke bereicherte in den letzten Jahren in zahlreichen speziellen und zusammenfassenden Untersuchungen unsere Kenntnisse über die Mineralwässer des Landes¹⁻⁵⁾.

**) Die wissenschaftliche Bearbeitung des im Ruhrgebiet in den Steinkohlenbergwerken in großen Mengen (jährlich etwa 150 Mio m³) zusitzenden versalzenen Grundwassers hat, abgesehen von wenigen älteren Publikationen erst in jüngerer Zeit durch K. Patteisky, A. Pilger, D. Wolansky sowie vor allem W. Semmler und seine Mitarbeiter⁷⁻⁹⁾ begonnen. Neue hydrochemische Spezialuntersuchungen im Bereich der Karbonscholle von Ibbenbüren liegen von K. Kötter und F. Mausolf¹⁰⁾, aus dem Siegerländer Erzbezirk von K. E. Heyl¹¹⁾ und dem benachbarten niederländischen Südlimburger Steinkohlenbezirk von M. G. Rutten^{12, 13)} und W. F. M. Kimpe^{14, 15)} vor (vergl. auch 27-36).

Berg- und Hügelland Ostwestfalens, in dessen tieferem Untergrund Salzlager ausgebildet sind.

Das Tatsachenmaterial ist sehr ungleichmäßig verteilt. Es ergibt sich die Situation, daß in den Teilgebieten, aus denen verhältnismäßig viele Unterlagen vorliegen, die ursprünglichen hydrogeologischen Verhältnisse durch die bergbauliche Wasserhaltung verändert sind und dort, wo unbeeinflußte hydrogeologische Verhältnisse anzutreffen sind, keine oder nur wenige hydrogeologische Unterlagen zur Verfügung stehen.

Über die hydrogeologisch außerordentlich wichtige Frage, wie und in welcher Tiefenlage sich der Übergang zwischen nicht versalzenem (süßen) und versalzenem tiefen Grundwasser im Untergrund vollzieht, wurde in einer früheren Darstellung bereits ausführlich berichtet⁶⁾. Wegen der Bedeutung, die dem tiefen Grundwasser z.B. auch für eine umfassendere Darstellung des *Wasserhaushaltes* zukommt, werden hier die bisherigen hydrochemischen Ergebnisse der begonnenen Untersuchungen besonders herausgestellt.

2

Analysenvergleiche reichen nicht aus, genaueres über die chemischen Eigenschaften und die räumliche Verteilung des Grundwassers auszusagen. Deshalb wurden in Anlehnung an die Balneologie Grundwasser-Typen unterschieden.*)

Die Anwendung der Grundwasser-Typologie wird an zwei Beispielen aufgezeigt:

2.1. NIEDERRHEINISCHE BUCHT

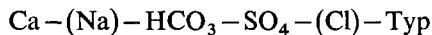
Im Gebiet der Niederrheinischen Bucht bestand praoberpermisch eine SE-NW-streichende Aufwölbung des Grundgebirges, die als Krefelder Gewölbe bezeichnet wird. Die erste bruchtektonische und epirogenetische Absenkung erstreckt sich vom Prae-Zechstein bis zur Unteren Kreide. Eine interkretazische Aufwölbung des Krefelder Gewölbes, die bis in das Eozän anhält, bedingt das Fehlen oberkretazischer Ablagerungen im Zentrum des niederrheinischen Bruchfeldes. Postkretazische epiogenetische und tektonische Absenkungen, die bis heute andauern,

* Die Ionen werden in der Reihenfolge Kationen – Anionen nach ihrer Häufigkeit (in mval %) genannt. Die Einzelwerte werden auf die Summe von 100 Millival bezogen, und man erhält so die Millivalprozente. Ionen mit einem mval %-Anteil von über 50 sind kursiv gesetzt und von 10 bis 20 in Klammern gestellt. Fragwürdig wird die Angabe eines Typs, wenn der Gesamtlösungsinhalt eines Grundwassers klein ist, weil bereits geringe Unterschiede im Gewichts-Anteil (mg/l) größere Differenzen im mval %-Anteil bedingen können.

haben zu einer sehr mächtigen Sedimentation im Oligozän und Miozän geführt.

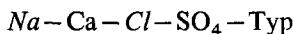
Aus diesem bruchtektonisch gestörten Gebiet mit konsolidiertem varischem Unterbau und mehrere 100 m mächtigem Oberbau aus Gesteinen des Zechsteins, Buntsandsteins und Tertiärs werden von einer Hochscholle zwei Profile angegeben (Abb. 1, sehe S. 80–81).

Das oberflächennahe Grundwasser im Quartär gehört dem



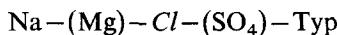
an.

In den tieferen Grundwässern herrscht bei den Kationen das Natrium vor. Grundwasser vom

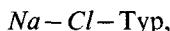


ist vorwiegend an das Tertiär gebunden.

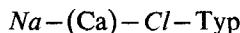
In dem Grenzbereich Zechstein-Oberkarbon, vor allem aber im Zechstein, ist ein relativ Magnesium-reiches Wasser vom



bekannt, wobei der Magnesium-Anteil durch die Gesteinsbeschaffenheit der Aquifers bedingt sein dürfte. Auf Grund anderer Beobachtungen muß jedoch angenommen werden, daß die Zunahme des Magnesium-Gehaltes auch auf die Nähe des Zechstein-Salinars zurückgeführt werden kann. In größerer Tiefe verschwinden die Sulfate, und wir haben Grundwässer höherer Konzentrationen vom



der noch tiefer in den



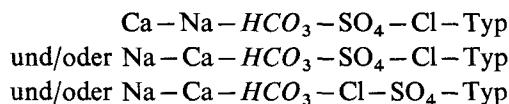
übergeht.

2.2. RUHRGEBIET UND SÜDTEIL DES MÜNSTERSCHEN OBERKREIDE-BECKENS

Das Ruhrgebiet und das sich im Norden anschließende Münstersche Oberkreidebecken erfuhren eine der Niederrheinischen Bucht entgegengesetzte Entwicklung. Praeoberkretazisch war der variscisch gefaltete Nordteil der Rheinischen Masse Hochgebiet, und es entstand erst in der Oberkreide ein Senkungsfeld, in dem etwa 1500–2000 m mächtige Sedimente (Cenoman bis Campan) abgelagert wurden. Die praecenomane Landoberfläche stellt eine flach nach Norden sich abdachende westöstlich streichende Ebene dar. Im Süden der Münsterschen Bucht fallen die Kreideschichten sehr flach nach Norden ein und ihre Mächtigkeit nimmt von Süden nach Norden zu.

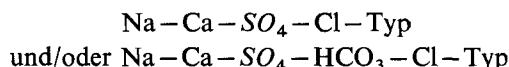
In diesem Gebiet mit konsolidiertem variscischem (asturisch angefaltetem) Untergrund (Oberkarbon) und transgressiv überlagernden Kalksteinen, Sandsteinen und Tonmergeln der Oberen Kreide sind bestimmte Grundwasser-Typen über eine größere Erstreckung hin zu erkennen (Abb. 2, sehe S. 80–81).

Die *Hydrogenkarbonat-Wässer*, vom



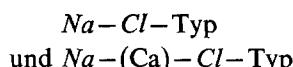
sind überall in geringen Tiefen anzutreffen. Ihr Gesamtlösungsinhalt liegt meist unter 1000 mg/l. Sie repräsentieren das oberflächennahe, meteorisch stark beeinflußte Grundwasser.

Die *Sulfat-Wässer*, vom



treten vorwiegend dort auf, wo das Oberkarbon nicht von Kreide-Sedimenten überlagert wird. Als Ursprung des Sulfat-Gehaltes kann der in den Oberkarbon-Sedimenten enthaltene Schwefelkies (FeS_2) angesehen werden, der bei den Schwankungen der Grundwasseroberfläche in dem großen Absenkungstrichter des südlichen Ruhrgebietes mobilisiert wird.

Die *Chlorid-Wässer*, vom



werden, wie auch in der Niederrheinischen Bucht, hier überall in größeren Tiefen angetroffen.

3

Für das tiefe Grundwasser im eigentlichen Sinne ist der $\text{Na} - \text{Cl} - \text{Typ}$ bzw. der $\text{Na} - (\text{Ca}) - \text{Cl} - \text{Typ}$ oder $\text{Na} - \text{Ca} - \text{Cl} - \text{Typ}$ charakteristisch. Der Gesamtlösungsinhalt schwankt zwischen einigen 1000 mg/l und 300 000 mg/l.

Es wird besonders darauf hingewiesen, daß bis auf einige in geringen Mengen vorhandene Stoffe (K^+ , NH_4^+ , Li^+ , Sr^{++} , Ba^{++} , Mn^{++} , Fe^{++} , F^- , Br^- , J^- , SiO_2 und H_2BO_3^-) und den verschiedenen Lösungsinhalt im Typ primär keine wesentlichen Unterschiede zwischen Mineralwasser, "Erdölwasser" und dem im Bergbau auftretenden Salzwasser zu erkennen sind (einige Beispiele in Tabelle).

Hauptbestandteile sind Natrium (meist über 75 mval %), Calcium (5–20 mval %), Magnesium (3–6 mval %) und Chlorid (96–100 mval %). Sulfat fehlt oft oder ist nur in geringer Menge vorhanden (Sulfat-Reduktion).

TABELLE
Mineralisiertes tiefes Grundwasser in Nordrhein-Westfalen

	1	2		3		
<i>Allgemeines:</i>						
Lokalität	Bad Waldliesborn ¹⁾	Karl Mahne 2 ³⁾		Franz Haniel ⁵⁾		
Meßtischblatt Name	Mastholte	Buldern		Bottrop		
Nr.	4 216	4 110		4 407		
Koordinaten r.:	34 54 31	25 99 643		25 59 190		
h.:	57 31 12	57 51 010		57 14 235		
Entnahmetiefe (m u. NN)	— 822 (Bohrlochtiefe)	— 1 325 bis — 1 333		— 490		
Datum	21.7. 1962	20.6. 1960		15.5. 1961		
“Art” des Wassers	Mineralwasser	Erdölwasser		Grubenwasser		
<i>Grundwasserleiter:</i>						
Alter	Mitteldevon	Oberkarbon		Oberkarbon		
Gesteinsart	Kalkstein	Sandstein		Sandstein		
<i>Chemische Analyse:</i>						
Abdampfrückstand	94 005 mg/kg	73 962,9 mg/l		—		
pH	—	7,2		—		
	mg/kg	mval %	mg/l	mval %	mg/l	
Na·	34 033	92,6	24 668	83,5	14 000	83,1
K·	118	0,2	357	0,7	Sp.	.
Li·	8,21	0,08	0			
Mg ..	211	1,1	510	3,3	447	4,9
Ca ..	1 844	5,8	2 950	11,4	1 609	11,0
Sr ..	22,9	0,03	549	1,0	Sp.	
Ba ..	0,01	.			0	
Fe ..	30,4	0,07	0			
Mn ..	0,47	.				
Cl'	54 779	96,7	44 594	99,5	24 004	93,9
Br'	12,8	0,01	0		20	.
J'	0,91	.	0		Sp.	.
HCO ₃ '	1 458 ²	1,5	146	0,2	146	0,3
NO ₃ '	0,12	.				
SO ₄ "	1 395	1,8	90	0,2	1 988	5,8
HBO ₂ (meta)	17,84	.	57 ⁴⁾			
Grundwasser-Typ	<i>Na</i> — <i>Cl</i>		<i>Na</i> — (Ca) — <i>Cl</i>		<i>Na</i> — (Ca) — <i>Cl</i>	

Bemerkungen:

- 1) Analyse Dr. K. Höll, Hameln
- 2) Wahrscheinlich Anteile von juveniler Kohlensäure
- 3) Analyse Fa. Gew. Elwerath, Laboratorium Nienhagen

4	5	6			
Zollverein 1/2 ⁵⁾ Essen 4 508 25 72 545 57 06 294 — 810 20.5.1963 Grubenwasser	Haus Aden ⁵⁾ Lünen 4 311 26 11 630 57 23 230 — 556 bis — 680 18.11.1963 Grubenwasser	Lohberg 3 ⁶⁾ Drevenack 4 306 25 55 335 57 20 009 — 330 bis — 353 31.8.1960 Grubenwasser			
Oberkarbon Sandstein	Oberkarbon Sandstein und Tonstein	Cenoman Glaukonitisches Feinsand			
— —	— —	39 775 mg/l 9			
mg/l	mval %	mg/l	mval %	mg/l	mval %
33820	74,1	19 200	77,5	12 400	78,6
				52	0,2
1 197	5,1	948	7,5	584	6,7
6 822	19,9	2 958	13,7	2 000	14,5
310	0,3	495	1,13		
810	0,6	129	0,17		
Sp.		Sp.		0,36	
69 502	99,87	38 009	99,65	23 400	96,1
90	0,05	60	0,07	16	0,03
98	0,08	171	0,28	17	0,03
		0		1 280	3,84
<i>Na</i> — (Ca) — Cl		<i>Na</i> — (Ca) — Cl		<i>Na</i> — (Ca) — Cl	

4) Aus BO₂' errechnet

5) Analyse Dr. H. Werner, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld

6) Analyse Fa. C. Deilmann, Bentheim

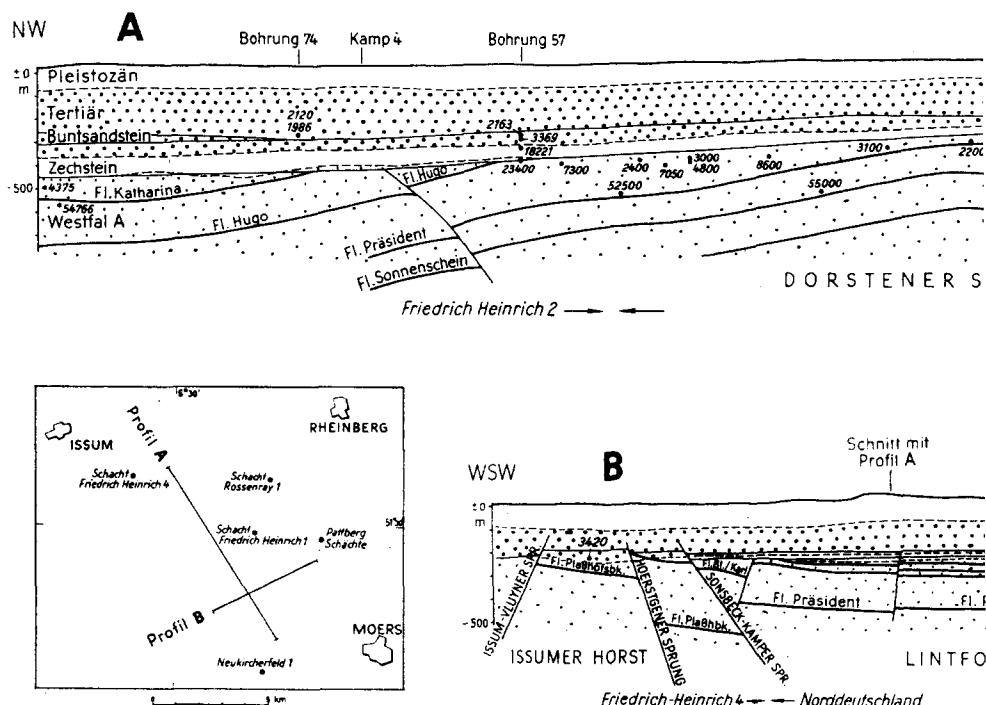


Abb. 1. 2 Grundwasser-Typen-Profile (Niederrhein). Geologische Grundlagen: Geol. Karte des

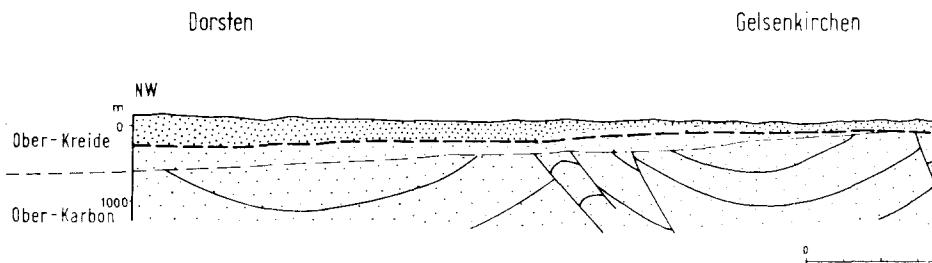
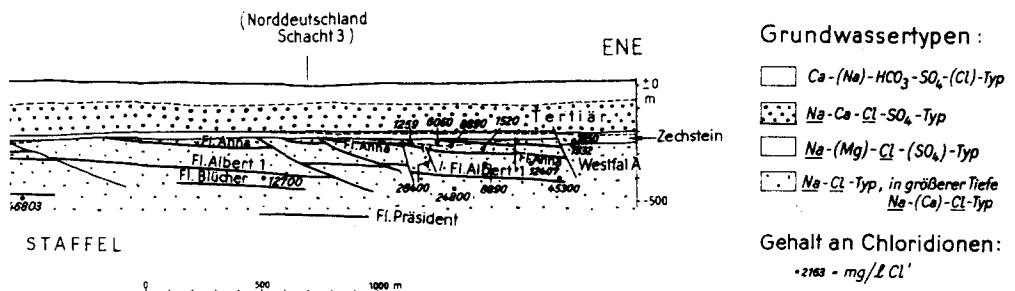
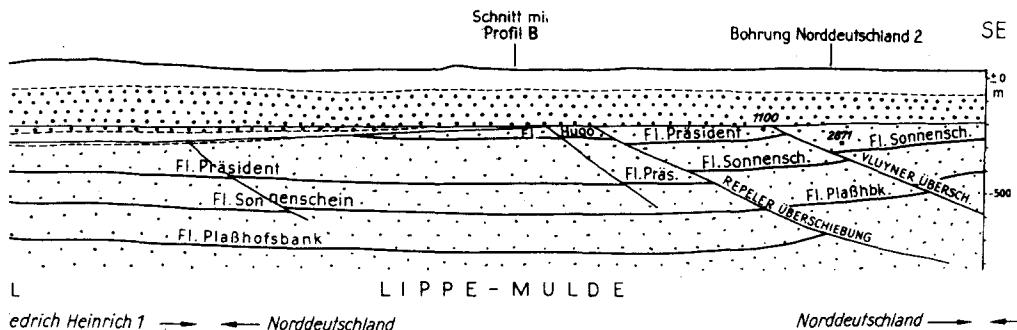
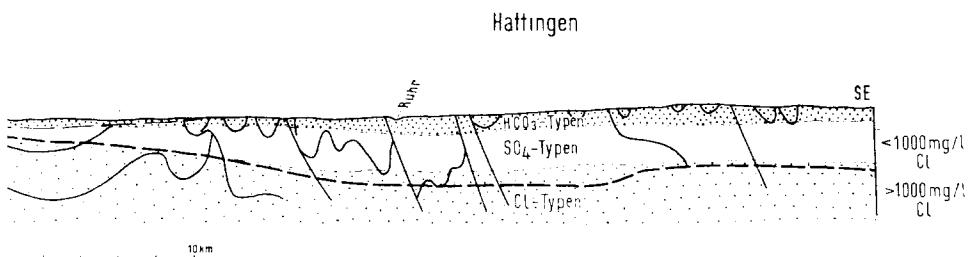


Abb. 2. Grundwasser-Typen, dargestellt



-Westfälischen Steinkohlengebietes 1 : 10000, Blatt Rheurdt und Kamp (Bearbeiter: K. Fricke 1952)



am schematischen Profil durch das Ruhrgebiet.

Der Hydrogenkarbonat-Anteil liegt unter 0,5 mval %, wenn keine juvenile Kohlensäure hinzutritt.

Oftmals sind Barium (im Ruhrgebiet bis 3000 mg/l) sowie Kalium und Strontium vorhanden.

Diese Zusammensetzung des Wassers kann nicht aus dem petrographischen Aufbau der jeweiligen Grundwasserleiter erklärt werden, und es ist auch keine große Ähnlichkeit mit dem rezenten Meerwasser zu erkennen ($Na - (Mg) - Cl -$ Typ mit 9 mval % SO_4).

Deshalb ist man in Nordrhein-Westfalen allgemein geneigt, dieses Wasser als ein Aussolungs-Produkt von Salzlageranlagen anzusehen. Salzlager im Zechstein, Oberen Buntsandstein und Oberen Jura sind in den nördlichen und nordwestlichen Randgebieten von Nordrhein-Westfalen bekannt. Sie liegen aber weit vom Verbreitungsgebiet des untersuchten Salzwassers entfernt.

Mit der gleichen Wahrscheinlichkeit kann aber dieses Grundwasser, zumindest teilweise, als ein Endprodukt der Gesteins- und Grundwasser-Diagenese aufgefaßt werden.

Natrium, immer an das *Chlorid*-Ion gebunden, bleibt gemeinsam mit diesem bei der Grundwasser-Diagenese zurück und es erfolgt eine Anreicherung der beiden Elemente im tiefen Grundwasser.

Der *Calcium*-Gehalt, welcher im oberflächennäheren Grundwasser durch die Gesteinsbeschaffenheit der Aquifers erklärbar ist (Tab., Analyse 6), nimmt im tiefen Grundwasser in vielen Fällen absolut wie auch prozentual von etwa 5 mval % bis 20 mval % mit steigender Tiefe zu. Das ist auch aus anderen Gebieten schon bekannt, z.B. Appalachen¹⁶⁾, Nordwestfrankreich¹⁷⁾, Südwestschweden¹⁸⁾ u.a.¹⁹⁾. Die Calcium-Zunahme ist mit Basenaustausch-Vorgängen^{16, 19)} und einer bei erhöhten Temperaturen eintretenden Hydrolyse des Magnesiumchlorides erklärbar.

Trotz der leichteren Löslichkeit der Chloride und Sulfate des Magnesiums im Wasser ist der Gehalt an *Magnesium* geringer (im Durchschnitt 3–6 mval %) als an Calcium. Durch Bindung des Magnesiums in diagenetisch neugebildeten Mineralien, z.B. Dolomit und Chlorit, ist das tiefe Grundwasser in der Regel an Magnesium verarmt. Bemerkenswert ist deshalb ein relativ hoher Magnesium-Gehalt des tiefen Grundwassers in der Nähe des niederrheinischen Zechsteinbeckens. Hierzu einige Beispiele:

a) Untersuchungsbohrung auf Steinkohle bei Wesel (vor 1902);

Meßtischblatt Wesel, Nr. 4308; Tiefe – 405 m; ? Zechstein;

Magnesium-Gehalt: 9000 mg/l, entsprechend 54 mval %;

Abdampfrückstand 73 100 mg/l.

b) Hochbohrung auf einer Schachtanlage am Niederrhein (1955);

Meßtischblatt Rheinberg, Nr. 4405; Tiefe – 338 m; Zechstein;

- Magnesium-Gehalt: 950 mg/l, entsprechend 17,2 mval %;
 Abdampfrückstand etwa 33 260 mg/l (berechnet).
- c) "Grubenwasser" aus einer Schachtanlage nördlich von Duisburg;
 Meßtischblatt Dinslaken, Nr. 4406; Oberkarbon;
- Probe 1 (1931): Mg-Gehalt 4580 mg/l, entsprechend 37,6 mval %;
 Abdampfrückstand 59 823 mg/l;
- Probe 2 (1936): Mg-Gehalt 6350 mg/l, entsprechend 28 mval %;
 Abdampfrückstand 98 100 mg/l;
- Probe 3 (1934): Mg-Gehalt 2600 mg/l, entsprechend 46 mval %;
 Abdampfrückstand 38 500 mg/l;
- Probe 4 (1934): Mg-Gehalt 5000 mg/l, entsprechend 43 mval %;
 Abdampfrückstand 56 300 mg/l;
- Probe 5 (1934): Mg-Gehalt 6140 mg/l, entsprechend 31 mval %;
 Abdampfrückstand 87 700 mg/l.

4

In der Regel nimmt – wie auch aus anderen Gebieten bekannt ist – der Gesamtlösungsinhalt in größerer Tiefe zu.

Lokal ist jedoch an zwei Stellen eine Grundwasser-Schichtung nachge-

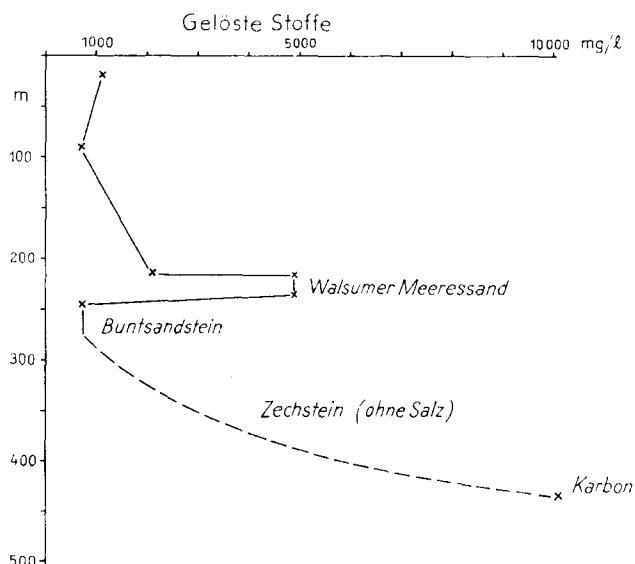


Abb. 3. Grundwasser-Schichtung. Es folgen von der Oberfläche zur Tiefe: süßes – ver-salzenes – stärker versalzenes Grundwasser (Beispiel aus der Niederrheinischen Bucht: Schacht Rossenray 1; Meßtischblatt Rheinberg, Nr. 4405; r 25 38 818, h 57 09 395).

wiesen. Es folgen von der Oberfläche zur Tiefe: süßes – versalzenes – wenig versalzenes – stärker versalzenes Grundwasser (Abb. 3). Wahrscheinlich handelt es sich bei dem im "Walsumer Meeressand" (marine Ingression; Mitteloligozän) angetroffenen Grundwässer um diagenetisch verändertes Porenwasser (connate water im weitesten Sinne).

Eine Grundwasser-Schichtung größeren Ausmaßes ist z.B. auch im süddeutschen Tertiärbecken²⁰⁾ und in Süd-Békaa/Libanon²¹⁾ und in anderen Gebieten erkannt worden.

5

Die Verteilung und Verbreitung des tiefen mineralisierten Grundwassers ist viel komplizierter, als man bei oberflächlicher Betrachtung annehmen könnte. Hinzu kommt, daß den Hinweisen auf das tiefe Grundwasser in sehr vielen Fällen zu wenig Beachtung geschenkt wird.

Wir stehen mit unseren Kenntnissen der Hydrogeologie des tiefen Grundwassers am Anfang, und viele ungelöste Probleme sind noch zu klären (vergl. hierzu die Untersuchungen von U. de Sitter²²⁾, J. J. Chebotarev²³⁾, H. Schoeller^{23a)}, W. v. Engelhardt^{24, 19)}).

Chemische Zusammensetzung und Temperatur des tiefen Grundwassers geben als meßbare Größen jeweils nur einen augenblicklichen Zustand wieder. Die natürlichen Umwandlungen des tiefen Grundwassers in Raum und Zeit, d.h. die Grundwasserdiagenese, sind schwer zu erfassen. Hydrochemische Unterschiede in der Vertikalen sind bekannt (vergl. Abschnitt 4). Wir wissen aber noch nicht, wie und mit welcher Geschwindigkeit das tiefe Grundwasser zirkuliert und ob es am allgemeinen Wasserkreislauf beteiligt ist oder nicht. In tektonisch relativ ruhigen Gebieten, wie dem Münsterschen Becken, wird die Zirkulation sehr langsam erfolgen, und Stoffverlagerungen innerhalb des tiefen Grundwassers werden vorwiegend auf Diffusions- und Basenaustauschvorgänge zurückzuführen sein.

6

Alle diese Fragen gipfeln in der nicht zu umgehenden Hauptfrage nach der *Herkunft* der im tiefen Grundwasser gelösten Stoffe²⁵⁾, welche seit über 100 Jahren²⁶⁾ immer wieder diskutiert wird. Der vorherrschenden Ansicht, daß der Chlorid-Reichtum des tiefen Grundwassers nur als Aussolutionsprodukt von Salzlagerstätten angesehen wird, kann aus folgenden Gründen nicht zugestimmt werden:

- 1) das Vorhandensein von Grundwasser-Typen,
- 2) eine in zwei Fällen sicher nachgewiesene Grundwasser-Schichtung,
- 3) es hat sich im Laufe geologischer Zeiträume kein Salzwasserspiegel

(d.h. eine *horizontale* Grenze zwischen Süßwasser und Salzwasser) unabhängig vom geologischen Bau eingestellt,

4) die Gesamtkonzentration (und damit auch die Chlorid-Konzentration) nimmt nicht von der intakten Salzlagerstätte im Norden und Nordwesten nach Süden zu ab, d.h. es ist kein Konzentrationsgefälle vorhanden.

Somit ist zumindest für einen Teil des mineralisierten tiefen Grundwassers eine andere Genese vorstellbar:

Fossile Sole konnte bei der Verwitterung der ehemals weiter verbreiteten Salzlager entstehen, in den paläozoischen Rumpf einsickern und sich dort anreichern.

Connate water im erweiterten Sinne*) ist bei der Diagenese der mächtigen Kreidemergelschlamm und der marinen tertiären Sedimente ausgepreßt worden und zumindest zum Teil in schon verfestigte Sedimente migriert, zum Teil auch in porösen Sedimenten erhalten geblieben (vergl.¹⁹⁾).

Neuere Untersuchungen am Mineralogischen Institut der Universität Tübingen^{19, 34)} führten sogar zu dem Ergebnis, daß die Herleitung des größten Teiles des tiefen Grundwassers aus ausgepreßten Porenlösungen des Oberkarbons möglich ist.

Der Nordteil der Rheinischen Masse, das heutige Münstersche Becken, war vom Zechstein bis zum Tertiär außer in der Oberen Kreide fast ununterbrochen Halbinsel, und das *Meerwasser* konnte von drei Seiten *eindringen* und sich dort anreichern und verändern.

Höher temperierte mineralisierte Grundwässer, die aus größeren Tiefen aufsteigen, brauchen nicht unbedingt *juvenile* zu sein, sondern sie können Ausdruck einer tiefer reichenden Wasserzirkulation sein, d.h. es kann vadoses Wasser sein, welches in größere Tiefen gelangt ist, sich dort erwärmt und mit Na⁺ und Cl⁻ angereichert hat und nun wieder nach oben steigt.

Nur in den seltensten Fällen kann die Herkunft des Salzgehaltes des tiefen Grundwassers eindeutig angegeben werden. Es gehen noch zu viele unkläre Faktoren in unsere Überlegungen ein, und das versalzene tiefe Grundwasser ist ja letztlich doch neben dem entstandenen Gestein ein Endprodukt der Diagenese und ein wesentlicher Bestandteil im Stoffkreislauf der Natur.

* "Connate water" ist in seiner primären Substanz bei der Sedimentation eingeschlossenes salziges, brackisches oder süßes Wasser, welches im Laufe geologischer Zeiträume im allgemeinen eine chemische Diagenese durch Einwirkungen von Lebewesen und organischen Substanzen, durch Osmose, Adsorption, Ionenaustausch, Sulfatreduktion, Petrographie der Grundwasserleiter, Verdünnung durch meteorisches Wasser oder Versalzung durch rezentes Meerwasser erfahren hat.

Schrifttum

- 1) K. Fricke, Entstehung, Beschaffenheit und räumliche Verbreitung der Heil- und Mineralquellen Nordrhein-Westfalens. (Gütersloh, Flöttmann, 1954) 40 S.
- 2) —— Eine chemisch-geologische Karte der Mineralquellen Nordrhein-Westfalens. Geol. Jb. **69** (Hannover 1955) 491–500
- 3) —— Geologische Vorarbeiten für das Ansetzen einer Mineralwasser-Neubohrung und deren geologische Überwachung. Heilbad und Kurort **13** (1961) 26–33, 54–63
- 4) —— Tiefenwasser, Solquellen und Solewanderung im Münsterschen Becken. Z. deutsch. geol. Ges. **113** (1961) 37–41
- 5) W. Dienemann, und K. Fricke, Mineral- und Heilwässer, Peloide und Heilbäder in Niedersachsen und seinen Nachbargebieten. Geologie und Lagerstätten Niedersachsens, (Göttingen-Hannover 1961) 5,5, 476 S.
- 6) G. Michel, Untersuchungen über die Tiefenlage der Grenze Süßwasser – Salzwasser im nördlichen Rheinland und anschließenden Teilen Westfalens, zugleich ein Beitrag zur Hydrogeologie und Chemie des tiefen Grundwassers. Forsch. Ber. Land Nordrhein-Westfalen Nr. 1239 (Köln/Opladen 1963) 131 S.
- 7) W. Semmler, Die Grubenwasserzuflüsse im Ruhrbergbau und ihre Abhängigkeit von den Niederschlägen. Bergbau **6** (1955) 205–210
- 8) —— Die Herkunft der Grubenwasserzuflüsse im Ruhrgebiet. Glückauf **96** (1960) 502–511
- 9) —— Der Abbau von Steinkohle unter Berücksichtigung der zusitzenden Wässer im Ruhrbergbau. Bergfreiheit **25** (1960) 143–149
- 10) K. Kötter, und F. Mausolf, Hydrogeologie des Westteiles der Ibbenbürener Karbonscholle (unter besonderer Berücksichtigung der Grubenwasserbeschaffenheit der Kohlenbergwerke). Forsch. Ber. Land Nordrhein-Westfalen Nr. 999 (Köln u. Opladen 1962) 23–113.
- 11) K. E. Heyl, Hydrochemische Untersuchungen im Gebiet des Siegerländer Erzbergbaus. Unveröffentl. Inaug.-Diss. (Heidelberg 1954) 72 S.
- 12) M. G. Rutten, Geologie van het Limburgsche Mijnwater. Mededeelingen van de Geologische Stichting, Serie C–VI–No. 4, (Maastricht, Ernest van Aelst, 1948) 107 S.
- 13) —— Exchange of cations in some Dutch subterranean waters. I. On water rich in sodium from the subsoil of the Dutch dunes. II. Underground waters from the South Limburg coalmine district. Geologie en Mijnbouw **11** (1949) 139–145, 165–171
- 14) W. F. M. Kimpe, Notes additionnelles à propos de la composition chimique et essai de détermination de la stabilité hydrostratigraphique des eaux dans le Houiller du Limbourg du Sud. 3. Congrès pour l'avancement des études de stratigraphie et de géologie du carbonifère (Maastricht 1952) 311–324
- 15) —— Geochimie des eaux dans le Houiller du Limbourg (Pays-Bas). Verhandelingen van het koninklijk Nederlands geologisch mijnbouwkundig genootschap ('s-Gravenhage 1963) 25–45
- 16) P. D. Torrey, Composition of Oilfield Waters of the Appalachian Region. Problems of Petroleum Geology, Amer. Assoc. Petr. Geol. (London, Murby and Co., 1934) 841–854
- 17) E. Leroux, und P. Pruvost, Résultats géologiques d'un sondage profond à Amiens. Ann. Soc. Géol. du Nord **60** (1935) 70–99
- 18) F. Brotzen, und G. Assarson, Brines in Mesozoic strata, Scania, Sweden. Assemblée générale de Bruxelles de l'Union géodésique et géophys. intern., Ass. Intern. Hydrol. Scient., Public. No. 33 (1951) 222–223

- 19) W. v. Engelhardt, Zum Chemismus der Porenlösung der Sedimente. The Bulletin of the Geological Institutions of the University of Uppsala **XL** (1961) 189–204
- 20) K. Lemcke und W. Tunn, Tiefenwasser in der süddeutschen Molasse und in ihrer verkarsteten Malmunterlage. Bull. Ver. Schweizer. Petrol. Geol. u. Ing. **23** (1956) 35–56
- 21) G. Renouard, Contribution d'étude des salinités au problème des couvertures étanch. Revue de l'Institut Français du Pétrole et Ann. etc. **10** (1955) 26–29
- 22) U. de Sitter, Diagenesis of oil-field brines. Bull. of the Am. Ass. Petrol. Geol. **31** No. 11 (1947) 2030–2040
- 23) J. J. Chebotarev, Metamorphism of Natural Waters in the Crust of Wheathering. Geochim. Cosmochim. Acta **8** (1955) 23–48, 137–170, 198–212
— Geochemical Types of Waters in Arid Regions. Congreso Geologico International, Sección IV (Mexico, D.F. 1957) 17–29
- 23a) H. Schoeller, Géochimie des eaux souterraines. Application aux eaux des gisements de pétrole. (Paris, 1956) 213 S. (Zusammendruck aus Rev. Inst. Franc. Pétrole et Ann. Comb. Liquides **10** (1955)).
- 24) W. v. Engelhardt, Der Porenraum der Sedimente. (Berlin-Göttingen-Heidelberg, Springer, 1960) 207 S = Mineralogie und Petrographie in Einzeldarstellungen **2**
- 25) G. Michel, Über die mögliche Herkunft des mineralisierten Grundwassers im Münsterschen Becken. Z. deutsch. geol. Ges. **115** im Druck
- 26) A. Huysse, Die Solquellen des westfälischen Kreidegebietes, ihr Vorkommen und mutmaßlicher Ursprung. Z. deutsch. geol. Ges. **7** (1855) 17–252, 567–654

Anmerkung während der Korrektur: Während der Drucklegung vorliegender Arbeit erschienen zum Thema tiefes Grundwassers in Nordrhein-Westfalen folgende Publikationen:

- 27) H. J. Dombrowski, Sporenuntersuchungen in den Solen des Steinkohlenbezirks an der Ruhr. Z. deutsch. geol. Ges. **116** (1964) 96–101.
- 28) K. Fricke, Bemerkungen zu den Solquellen des Hellwegs. Z. deutsch. geol. Ges. **116** (1964) 76–87.
- 29) G. Herbst, Die Grubenwässer im Steinkohlenrevier von Aachen-Erkelenz. Z. deutsch. geol. Ges. **116** (1964) 70–75.
- 30) V. Jacobshagen u. K. O. Münnich, C¹⁴-Altersbestimmung und andere Isotopenuntersuchungen an Thermalsolen des Ruhr-Karbons. Z. deutsch. geol. Ges. **116** (1964) 160.
- 31) W. Käss, Ergebnisse der chemischen Untersuchungen von Solen des Steinkohlenbezirks an der Ruhr. Z. deutsch. geol. Ges. **116** (1964) 244–253.
- 32) R. Kühn, Chemische Gesichtspunkte zur Frage der Herkunft der Solen im Ruhrgebiet. Z. deutsch. geol. Ges. **116** (1964) 254–255.
- 33) G. Michel, Betrachtungen zur Hydrochemie des tiefen Grundwassers im Ruhrgebiet. Z. deutsch. geol. Ges. **116** (1964) 161–166.
- 34) H. Puchelt, Zur Geochemie des Grubenwassers im Ruhrgebiet. Z. deutsch. geol. Ges. **116** (1964) 167–203.
- 35) W. Semmler, Hydrogeologie in Bergbauregionen. Z. deutsch. geol. Ges. **116** (1964) 38–54.
- 36) D. Wolansky, Die Hydrogeologie des Deckgebirges im nieder-rheinisch-westfälischen Revier in ihrer Bedeutung für den Bergbau. Z. deutsch. geol. Ges. **116** (1964) 55–69.