

Betrachtungen zur Hydrochemie des tiefen Grundwassers im Ruhrgebiet¹⁾

Mit 1 Abbildung

Von GERT MICHEL *), Krefeld

Zusammenfassung

Es wird die Verteilung der chemisch gelösten Hauptbestandteile des tiefen Grundwassers im Ruhrgebiet aus hydrogeologischer Sicht betrachtet.

Hydrogenkarbonat-Wasser ist überall in geringen Tiefen vorhanden. Sulfat-Wasser ist im Süden des Ruhrgebietes, wo das Deckgebirge fehlt, bis in Tiefen von etwa 500 m verbreitet. Chlorid-Wasser ist das eigentliche tiefe Grundwasser des Ruhrkarbons: Der Gesamtlösungsinhalt nimmt mit der Tiefe zu. Chlorid ist fast alleiniges Anion. Natrium dominiert bei den Kationen und nimmt mit der Tiefe quantitativ zu, prozentual jedoch ab. Calcium nimmt zur Tiefe hin absolut und prozentual zu. Magnesium nimmt in Richtung zur intakten Salzlagerstätte zu.

Über die mögliche Herkunft der gelösten Salze wird kein neuer Gesichtspunkt vertreten (vgl. MICHEL, Z. deutsch. geol. Ges., 115, im Druck).

1.

Auf den Schachtanlagen des Ruhrgebietes und des linken Niederrheins fallen nach neueren Angaben jährlich etwa 150 Mill. m³ Grubenwässer an (vgl. auch SEMMLER 1960), welche je nach Teufe und regionaler Lage quantitativ ungleich verteilt sind und qualitativ eine unterschiedliche chemische Zusammensetzung haben.

Es erweist sich als äußerst schwierig, die hydrogeologischen und hydrochemischen Probleme dieses Gebietes klären zu wollen, weil die ursprünglichen hydrostatischen, -dynamischen und -chemischen Gleichgewichte bis ca. 1200 m Tiefe durch den jahrzehntelangen Steinkohlenabbau vollkommen verändert sind. Im Rahmen großregionaler Untersuchungen unter anderer Fragestellung (MICHEL 1963) wurde versucht, aus den zahlreichen, heterogenen, verstreut liegenden hydrochemischen Analysen und anderen Unterlagen einen Überblick über die hydrochemischen Verhältnisse des Ruhrgebietes zu gewinnen. Die jetzt vorliegenden Ergebnisse erheben noch keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Dafür reichen die Unterlagen nicht aus und die Problematik ist zu diffizil und vielschichtig.

Andererseits spielt die chemische Zusammensetzung des tiefen Grundwassers bzw. Grubenwassers für die Praxis des Bergmanns eine so bedeutende Rolle, daß es sich lohnt, diesen Fragen Beachtung zu schenken.

¹⁾ Vortrag, gehalten auf der Frühjahrstagung der Deutschen Geologischen Gesellschaft in Essen am 9. 5. 1964.

*) Anschrift des Autors: Dr. GERT MICHEL, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld, Westwall 124.

An dieser Stelle sei noch eine nomenklatorische Bemerkung erlaubt: Alle wässerigen Lösungen verschiedener Konzentrationen, die im Normalfall die Klüfte und Poren des tieferen Untergrundes füllen, sind Grundwasser. Dieses Grundwasser wurde als tiefes Grundwasser bezeichnet (MICHEL 1963). Andere Autoren bezeichnen es als Formationswasser, Schichtwasser, tieferes Grundwasser, Tiefenwasser, Tiefenstandsgrundwasser o. ä. Grubenwasser ist nicht definiert. Es setzt sich zusammen aus tiefem Grundwasser, Grubenstandwasser (Wasser in abgeworfenen Abbauen) und Sickerwasser.

2.

Methodisch wurde wie folgt verfahren: Die zahlreichen, bereits vorliegenden Analysen, in verschiedenen Laboratorien für die verschiedensten Belange angefertigt und in unterschiedlichen Maßeinheiten vorliegend, wurden in die Ionen-Form umgerechnet und in Milligramm/Liter (mg/l), Milligrammäquivalenten (mval) und Äquivalentprozenten (mval%) angegeben.

Die Äquivalentprozente ermöglichen eine Einteilung in Grundwasser-Typen. Für die Kennzeichnung eines Typs werden alle Ionen herangezogen, deren Gehalt 10 mval% überschreitet. Die in der Balneologie gebräuchliche Typen-Einteilung berücksichtigt nur Ionen-Gehalte von über 20 mval%. Dieses Prinzip mußte durchbrochen werden, weil im Ruhrgebiet im tiefen Grundwasser in den meisten Fällen Natrium- und Chlorid-Ionen dominieren und daher nur die mval%-Anteile zwischen 10 und 20 (im Text in Klammern gesetzt) eine nähere hydrochemische Typisierung des Grundwassers ermöglichen.

3.

Die Typen-Einteilung des Grundwassers erfolgt somit nach chemischen Gesichtspunkten.

Nach dem jeweils vorherrschenden Anion können 3 Gruppen von Grundwasser-Typen unterschieden werden, nämlich

Hydrogenkarbonat-Wässer
Sulfat-Wässer
Chlorid-Wässer.

Die räumliche Verbreitung dieser Wässer im Ruhrgebiet und am Niederrhein ist in einem Profil schematisch dargestellt (Abb. 1).

Die Hydrogenkarbonat-Wässer, vom

Ca-(Na)-HCO₃-SO₄-(Cl)-Typ,
Ca-Na-HCO₃-SO₄-Cl-Typ
und/oder Na-Ca-HCO₃-SO₄-Cl-Typ
und/oder Na-Ca-HCO₃-Cl-SO₄-Typ,

sind überall in geringen Tiefen anzutreffen. Ihr Gesamtlösungsinhalt liegt meist unter 1000 mg/l. Sie repräsentieren das oberflächennahe, meteorisch stark beeinflusste Grundwasser und sollen hier nicht besonders betrachtet werden.

Die Sulfat-Wässer, vom

Na-Ca-SO₄-Cl-Typ
und/oder Na-Ca-SO₄-HCO₃-Cl-Typ,

treten vorwiegend im südlichen Verbreitungsgebiet des Oberkarbons, wo das Deckgebirge fehlt und das Niederschlagswasser leicht einsickern kann, bis in Tiefen von etwa 500 m unter NN auf, meist unterhalb einer geringmächtigen

Zone von Hydrogen-Karbonat-Wasser. Sie fehlen anscheinend in ihrer charakteristischen Form (mit über 50 mval% SO_4'') am Niederrhein. Ihr Gesamtlösungsinhalt ist relativ gering (maximal einige 1000 mg/l).

Der Sulfat-Gehalt dürfte sekundär sein. Die in den oberkarbonischen Schichten z. T. reichlich enthaltenen Eisensulfide oxydieren unter Sauerstoffzutritt zu Sulfat. Abbaueinwirkungen und großräumige Grundwasserabsenkungen sowie Schwankungen der Grundwasseroberfläche begünstigen und beschleunigen diese Vorgänge.

Bei einem Teil der Sulfat-Wässer wird es sich sicherlich auch um Grubenstandwasser (SEMMLER 1960) handeln.

Die Chlorid-Wässer, vom

Na-Cl-Typ
und Na-(Ca)-Cl-Typ
sowie Na-(Mg)-Cl-Typ (bisher nur
am Niederrhein bekannt),

sind im Norden des Ruhrgebietes in dem z. T. von sehr mächtigem Deckgebirge überlagerten Oberkarbon und den untersten Partien des Deckgebirges, im Süden des Ruhrgebietes im Liegenden der Sulfat-Wässer verbreitet.

4.

Die Chlorid-Wässer können als die normale Kluft- und Porenfüllung bzw. als das eigentliche tiefe Grundwasser des Ruhrkarbons angesehen werden.

Die Konzentration schwankt zwischen einigen 1000 mg/l und über 200000 mg/l. Sie nimmt in der Regel mit zunehmender Tiefe zu.

Die Hauptbestandteile verteilen sich etwa wie folgt (Durchschnittswerte):

Cl'	96—100	mval%
SO_4''	0	mval%
HCO_3'	meist unter 0,5	mval%
Na'	80—87	mval%
Ca''	10—12	mval%
Mg''	3—6	mval%

Bei den Anionen überwiegt bei weitem das Chlorid-Ion. Es ist neben Natrium Restprodukt der Grundwasser-Diagenese und/oder Migrationsprodukt subrodierter Salzlager.

Sulfate fehlen oder sind nur in geringen Mengen vorhanden. Dies ist keine Besonderheit, wenn man bedenkt, daß das tiefe Grundwasser anderer Steinkohlengebiete und fast aller Erdöllagerstätten ebenfalls sulfatfrei oder -arm ist, die Folge einer erfolgten Sulfatreduktion (H. SCHOELLER 1956, u. a.). Diese Reduktion der Sulfate fand wahrscheinlich hauptsächlich schon in einem frühen

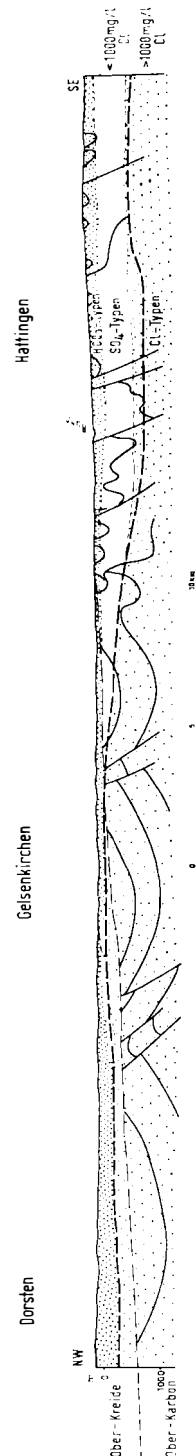


Abb. 1. Die Verteilung der hydrochemischen Grundwassertypen, dargestellt in einem schematischen Profil durch das Ruhrgebiet.

Stadium der Diagenese unter Mitwirkung von sulfatreduzierenden Bakterien statt (W. v. ENGELHARDT 1961) und hält noch heute an. Dafür sprechen die Ergebnisse der Untersuchungen von H. PUCHELT, welcher in vielen von ihm bearbeiteten Proben lebende sulfatreduzierende Bakterien auffand, z. B. *Desulfovibrio desulfuricans*.

Das Fehlen des Sulfats ist eine Voraussetzung, daß in dem tiefen Grundwasser Barium-Ionen relativ reichlich vertreten sind. Ba^{++} -Gehalte von 1000—3000 mg/l (0,1—1,7 mval%) sind keine Seltenheit. Die Herkunft des Bariums und des mit ihm teilweise vergesellschafteten Strontiums (es sind Sr^{++} -Gehalte von über 1000 mg/l bekannt) ist umstritten. Beide sollen für eine hydrothermale Zufuhr aus erzfreien Restlösungen („juveniles Wasser“) in das tiefe Grundwasser sprechen (K. PATTEISKY 1954, u. a.). H. PUCHELT (1963) konnte zeigen, daß das Auftreten von Ba^{++} und Sr^{++} im tiefen Grundwasser von Kohlengebieten auf Grund des reduzierenden Milieus der grundwasserführenden Gesteine ohne juvenile Zufuhren zu erklären ist.

Der geringe Hydrogenkarbonat-Anteil besitzt für eine spezielle Charakterisierung des tiefen Grundwassers keine Bedeutung.

Über die Verteilung der Kationen Natrium, Calcium und Magnesium ist folgendes bekannt:

Das Natrium überwiegt in den meisten Wässern mit über 75 mval%. Es nimmt gewichtsanteilig mit größerer Tiefe zu, prozentual (mval%) jedoch ab.

Der Calcium-Gehalt, welcher im oberflächennäheren Grundwasser aus der petrographischen Zusammensetzung der Grundwasserleiter erklärt werden kann, nimmt sowohl absolut (mg/l) als auch prozentual von etwa 5 mval% bis 20 mval% unabhängig von der petrographischen und stratigraphischen Stellung der grundwasserführenden Gesteine mit zunehmender Tiefe zu (MICHEL 1963). So liegen z. B. auf den Schachtanlagen der HOAG, Oberhausen, die Durchschnittswerte für mval% Ca auf der — 280 m-Sohle bei 8,6, auf der — 730 m-Sohle bei 11,5.

P. D. TORREY (1934), der bei seinen chemischen Untersuchungen des tiefen Grundwassers der Appalachen zu dem gleichen Ergebnis kam, erklärte die Calcium-Zunahme mit Basenaustausch-Vorgängen ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 + 2 \text{NaCl} \rightarrow \text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 + \text{CaCl}_2$) und einer bei erhöhten Temperaturen eintretenden Hydrolyse des gelösten Magnesiumchlorids ($\text{Mg}_2\text{Cl}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg}[\text{OH}]_2 + 2 \text{HCl}$). Die hierbei entstehende Salzsäure löst vorhandenes Calcium-Karbonat, und es bildet sich CaCl_2 . W. v. ENGELHARDT (1961) führt die Erhöhung des Calcium-Gehaltes auf Basenaustauschvorgänge an Tonen zurück.

Keine Zunahme des Calcium-Gehaltes mit zunehmender Tiefe ist außerhalb des Ruhrgebietes bisher über der niederrheinischen Salzlagerstätte, die durch einen „Sole“-Mantel vor einer schnellen Auflösung geschützt ist, nachzuweisen (vgl. Bohrungen Isselburg 1 u. 2; Analysen bei MICHEL 1963, S. 100).

Trotz der leichten 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 neugebildete 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.

In Mutungsbohrungen im Gebiet von Wesel (vor 1902) wurde aus dem Buntsandstein (nach MIDDELSCHULTE 1902; von G. MICHEL, 1963, als aufsteigendes Grundwasser aus dem Zechstein gedeutet) tiefes Grundwasser mit einem Magnesium-Gehalt von 9000 mg/l, entsprechend 54 mval%, bekannt. Aus einer

Hochbohrung auf einer Schachthanlage am Niederrhein wurde in einer Teufe von — 338 m aus Grundwasser aus dem Zechstein I ein Magnesium-Gehalt von 950 mg/l, entsprechend 17,2 mval‰, ermittelt. In beiden Fällen lag der Sulfat-Gehalt zwischen 2000 und 3000 mg/l. Auf Grund weiterer Analysenbefunde, die ebenfalls ein tiefes Grundwasser mit Mg^{++} - und SO_4^{--} -Gehalten zwischen 10 und 20 mval‰ ergaben, konnte am Niederrhein in den untersten Partien des Zechsteins und dem Grenzbereich zwischen Oberkarbon und Zechstein Grundwasser vom Na-(Mg)-Cl-(SO_4)-Typ ausgeschieden werden (MICHEL 1963, S. 40).

Nachdem nun auch auf einer Schachthanlage nördlich Duisburg im Oberkarbon tiefes Grundwasser mit relativ hohen Magnesium-Gehalten (über 6000 mg/l, entsprechend 28 bis 46 mval‰) bekannt ist, kann als wahrscheinlich angenommen werden, daß die Zunahme des Magnesium-Gehaltes auf die Nähe des Zechstein-Salinars zurückzuführen ist (vgl. MICHEL 1963, S. 60).

5.

Die allgemeine Lehrmeinung besagt, daß das versalzene Grundwasser des Ruhrgebietes und des Münsterlandes von den Salzlagerstätten im Zechstein, Röt und Malm herzuleiten ist, die nordöstlich, nördlich und nordwestlich dieses Raumes ausgebildet sind. Es wird eine stetige Subrosion der Salze und Migration der Salzlösungen auf großen Kluftzonen angenommen.

Neuere Untersuchungen (W. v. ENGELHARDT, H. PUCHELT) mineralogisch-hydrogeochemischer Art führten jedoch zu dem Ergebnis, daß die Herleitung des größten Teiles des tiefen Grundwassers aus ausgepreßten Porenlösungen des Oberkarbons ohne Schwierigkeiten möglich ist.

Im Gegensatz hierzu stehen die neuesten palynologischen Untersuchungsbefunde von H. J. DOMBROWSKI (Vortrag am 9.5.1964 in Essen): er fand in Grubenwässern des Ruhrgebietes an 4 Stellen Sporen des Zechsteins.

Betrachtet man jedoch die Mineralisation des tiefen Grundwassers im Ruhrgebiet und seiner Randgebiete ebenso wie den heutigen geologischen Bau als das Ergebnis der wechselvollen erdgeschichtlichen Entwicklung dieses Gebietes, so gelangt man zu einer Synthese, in der versucht wird, alle Fakten und Vermutungen als Ganzheit zu betrachten (vgl. MICHEL, Z. deutsch. geol. Ges., 115, im Druck).

Der Nordteil der Rheinischen Masse, das heutige Münstersche Becken und als Teil davon das Ruhrgebiet, war vom Zechstein bis Tertiär fast ununterbrochen Halbinsel und das Meerwasser konnte von 3 Seiten eindringen, sich dort anreichern und verändern sowie mit dem bereits vorhandenen Porenwasser vermischen. Hierzu kam ein Teil des Porenwassers, welches bei der Diagenese der Oberkreide-Mergel anfiel und mit dem bereits vorhandenen Wasser in chemische Wechselbeziehungen trat.

Biogenen Ursprungs werden bestimmte Anteile des tiefen Grundwassers stets sein, wie die Anreicherung biophiler Spurenelemente zeigt (hier nach PUCHELT hohe Lithium-Gehalte; relativ hoher Bor-Gehalt einer Wasserprobe aus der Bohrung Karl Mahne 2).

Erst mit Beginn saxonischer Bewegungen traten Salzlösungen aus den Salzlagerstätten hinzu und fanden bereits ein hochkonzentriertes Wasser vor.

Über eindeutige juvenile Anteile ist nichts bekannt.

Das Produkt dieser wechselvollen Genese ist „connate water“ im weitesten Sinne:

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, petrographische Zusammensetzung der Grundwasserleiter, Verdünnung durch meteorisches Wasser sowie Versalzung durch rezent es Meerwasser und Ablaugungssolen erfahren hat.

Die Frage nach der Herkunft des Salzgehaltes des tiefen Grundwassers wird noch lange Gesprächsstoff der Geologen, Mineralogen, Geochemiker und Bergleute bleiben.

In den seltensten Fällen wird es gelingen, die Herkunft des tiefen Grundwassers eindeutig anzugeben. Es darf nicht vergessen werden, daß wir mit unseren Kenntnissen der Hydrogeologie des tiefen Grundwassers noch am Anfang stehen und viele ungelöste Probleme noch zu klären sind.

Schriften

- ENGELHARDT, W. v.: Der Porenraum der Sedimente. — 207 S., 83 Abb., Berlin-Göttingen-Heidelberg (Springer) 1960. — Mineralogie und Petrographie in Einzeldarstellungen 2.
 — Zum Chemismus der Porenlösung der Sedimente. — The Bulletin of the Geological Institutions of the University of Uppsala XL, S. 189—204, 7 Abb., Uppsala 1961.
- FRICKE, K.: Tiefenwasser, Solquellen und Solewanderung im Münsterschen Becken. — Z. deutsch. geol. Ges., 113, S. 37—41, 4 Abb., Hannover 1961.
- MIDDELSCHULTE, A.: Über die Deckgebirgsschichten des Ruhrkohlenbeckens und deren Wasserführung. — Z. Berg-, Hütt.- u. Sal.-Wesen, 50, S. 320—345, Berlin 1902.
- MICHEL, G.: 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, 131. S., 12 Abb., 8 Anlagen, Köln/Opladen 1963.
 — Über die mögliche Herkunft des mineralisierten Grundwassers im Münsterschen Becken. — Z. deutsch. geol. Ges., 115, 4 Abb., 1 Tab., im Druck.
- PATTEISKY, K.: Die thermalen Solen des Ruhrgebietes und ihre juvenilen Quellgase. — Glückauf, 90, S. 1334—1348 und 1508—1519, 15 Abb., 15 Tab., Essen 1954.
- PUCHELT, H.: Zur Hydrochemie des Bariums. — Vortragsmanuskript eines am 6. 9. 1963 in Wien auf der Tagung der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft gehaltenen Vortrages; im Druck.
 — Zur Geochemie des Grubenwassers im Ruhrgebiet. — Vortragsmanuskript eines am 7. 5. 1964 in Essen auf der Tagung der Deutschen Geologischen Gesellschaft gehaltenen Vortrages; im Druck.
- SCHOELLER, H.: Géochimie des eaux souterraines. Application aux eaux des gisements de pétrole. — 213 S., 48 Abb., Paris 1956 (Zusammendruck aus Rev. Inst. Franc. Pétrole et Ann. Comb. Liquides, 10, Paris 1955).
- SEMMLER, W.: Die Grubenwasserzuflüsse im Ruhrbergbau und ihre Abhängigkeit von den Niederschlägen. — Bergbau, 6, S. 205—210, 10 Abb., 1955.
 — Die Herkunft der Grubenwasserzuflüsse im Ruhrgebiet. — Glückauf, 96, S. 502—511, 8 Abb., Essen 1960.
 — Der Abbau von Steinkohle unter Berücksichtigung der zuzitenden Wässer im Ruhrbergbau. — Bergfreiheit, 25, S. 143—149, 6 Abb., Essen 1960 (1960 a).
- TORREY, P. D.: Composition of Oilfield Waters of the Appalachian Region. — Problems of Petroleum Geology, Amer. Assoc. Petr. Geol., S. 841—854, 1 Abb., 6 Tab., London (Murby u. Co.) 1934.