

Zur Verteilung einiger Spurenelemente in artesischen Wässern des Steirischen Tertiärbeckens

VON H. GAMERITH, G. KNAPP, H. KOLMER und H. KRAINER (Graz)

1. Einleitung

Seit Jahren werden die artesischen Wässer des Steirischen Tertiärbeckens von der Vereinigung für hydrogeologische Forschungen in Graz (VHFG) in Zusammenarbeit mit einer Reihe in- und ausländischer Forschungsinstitutionen bearbeitet. Besonderes Gewicht wird dabei auf Untersuchungen des Haushaltes der artesischen Wässer gelegt, da weite Bereiche der Oststeiermark in bezug auf ihre Wasserversorgung ausschließlich auf gespanntes Grundwasser angewiesen sind. Dadurch kommt es in manchen Ortschaften zu einer Häufung artesischer Brunnen, die sich gegenseitig in der Schüttung beeinträchtigen können, wobei gleichzeitig der Abfluß an ungenutztem Wasser ansteigt, vgl. V. HILBER (1895), F. RONNER & J. SCHMIED (1968), L. BERNHART (1972). Die Frage nach dem Alter bzw. der Regenerationsgeschwindigkeit der Vorräte wurde mit Hilfe von Tritium-, ^{14}C -, Deuterium- und ^{18}O -Analysen untersucht (G. H. DAVIES, G. L. MEYER & C. K. YEN, 1968; J. ZÖTL, 1969, 1971; H. MOSER, W. STICHLER & J. ZÖTL, 1972). Die Alimenterung artesischer Horizonte im Feistritztal durch Flußwasser untersuchte H. ZOJER (1972). Vorschläge zur Untersuchung der sehr komplexen, bis heute kaum bekannten Vorgänge der Ergänzung bzw. Regenerierung der tiefliegenden artesischen Wässer entwirft J. ZÖTL (1972) für den Raum Hartberg-Grafendorf.

Zu den bisher erhobenen Daten werden hier die Elementkonzentrationen von Bor, Brom, Strontium und Jod vorgelegt. Mit Hilfe dieser Elemente soll der Versuch unternommen werden, charakteristische Zusammenhänge bzw. Unterschiede der artesischen Wässer aus den verschiedenen Faziesbereichen *marin* (Torton) — *brackisch* (Sarmat) — *limnisch-terrestrisch* (Pannon), denen sie entstammen, zu finden.¹

¹ D a n k : Die Messungen der Bor- bzw. Brom-Konzentrationen erfolgten an einem Spektralphotometer, zu dessen Anschaffung teilweise Mittel des Jubiläums-Fonds der Österreichischen Nationalbank gewährt wurden. Die Messungen auf Strontium wurden mit dem Atomabsorptionsgerät Perkin-Elmer 403 durchgeführt, welches vom Österreichischen Forschungsrat zur Verfügung gestellt wurde.

2. Zur Geologie des Untersuchungsbereiches

Die Sedimentation im Steirischen Becken beginnt mit limnisch-fluviatilen Ablagerungen des Helvet, welche von marinen und limnisch-fluviatilen Sedimenten des Torton (im Sinne von J. KAPOUNEK, A. PAPP und K. TURNOVSKY, 1960) überlagert werden. Darüber folgen die vorwiegend brackischen Ablagerungen des Sarmat, welche vor allem im Oststeirischen Teilbecken von dem hauptsächlich limnisch-fluviatilen Komplex des Pannon überdeckt werden.

Marine Sedimente des Torton finden sich u. a. im Gebiet zwischen Deutschlandsberg—Kainachtal—Sausal (Florianer Bucht des Weststeirischen Teilbeckens). Im engeren Bereich zwischen Groß St. Florian und Preding stehen die Basisgrobsande des Unter-Torton an (G. KÖPETSZY, 1957), welche zwar häufig von quartären Sedimenten überdeckt sind, wohl aber von zahlreichen Bohrungen auf artesisches Wasser erreicht werden. Aus diesem Bereich wurden Wässer von 13 Bohrungen für die Untersuchung ausgewählt (Tafel I).

Auch östlich der Sausal-Schwelle sind marine Sedimente des Torton aufgeschlossen oder unter quartärer Bedeckung bis in den Raum östlich Mureck nachgewiesen (K. KOLLMANN, 1964). Die 4 aus diesem Bereich untersuchten artesischen Wässer entstammen Bohrungen, welche in die marinen Tonmergel, Sande und (seltener) Nulliporenkalke des mittleren Torton abgeteuft sind.

Durch Prospektionsbohrungen der RAG wurden im Bereich Landorf-Mitterlabill in einer Tiefe zwischen 374—1620 m mehrfach Vulkanite des oberhelvetisch-untertortonischen Vulkanismus nachgewiesen (vgl. K. KOLLMANN, 1964, H. HERITSCH, 1964, 1965, 1966, 1967 sowie H. HERITSCH, J. BORSCHUTZKY & H. SCHUCHLENZ, 1965). Mit dem tertiären Vulkanismus im Zusammenhang stehen eine Reihe von Säuerlingen, welche besonders häufig im Steirischen Grabenland zwischen Bad Gleichenberg und Radkersburg auftreten (A. WINKLER v. HERMADEN & W. RITTLER, 1949, A. WINKLER-HERMADEN, 1961, V. MAURIN & J. ZÖTL, 1964). Einer dieser Säuerlinge, die Probe „RIBITZ“, aus dem unteren Saßbachtal, wurde in die vorliegende Untersuchung einbezogen.

Mit ausgeprägt transgressiver Tendenz werden die tortonischen Sedimente von den brackisch-mesohalinen Sedimenten (Wechsel von Tonen, Tonmergeln, Sanden und Kalksandsteinen) des Sarmat überlagert. Gleichzeitig kommt es zu einer Vereinheitlichung des Sedimentationsraumes östlich der Sausalschwelle, welcher bis zur Wende Torton-Sarmat noch durch seichte Schwellen gegliedert war (K. KOLLMANN, 1964). 4 Proben stammen aus der Hartberger Sarmatentwicklung (K. NEBERT, 1951), an der Nordflanke des Steirischen Beckens aus dem Raum Grafendorf (vgl. auch W. BRANDL, 1950). Weitere 4 Analysen wurden an artesischen Wässern aus dem Obersarmat des Ilzbachtales zwischen Prebensdorf und Sinabelkirchen durchgeführt. Eine weitere Probe entstammt einer Bohrung in der Ortschaft Gnas im Übergangs-

bereich zwischen dem Gnaser Becken und der Auersbach-Schwelle (Obersarmat). Die restlichen 4 Proben wurden im Bereich der Auersbach-Schwelle bei Feldbach genommen.

Als jüngster Komplex mit relativ geringer Mächtigkeit finden sich über den schon zum Teil limnisch beeinflussten Ablagerungen des höchsten Obersarmat die Sedimente des zum größten Teil limnisch-terrestrisch entwickelten Pannon (K. KOLLMANN, 1964) über weite Bereiche der Oststeiermark verbreitet. Aus dem höheren Unterpannon (Pannon C) wurden 6 Proben aus Bohrungen im Bereich des unteren Rittschein-Tales analysiert. Weitere 5 Proben stammen aus dem Raabtal zwischen Fehring und Jennersdorf, deren Bohrungen das Pannon C, im Osten auch das Pannon D und E (Mittelpannon), erreichen. Die Sedimente des Pannon C sind durch einen mehrfachen Wechsel grobklastischer Ablagerungen mit feinklastischen Zwischenserien gekennzeichnet (K. KOLLMANN, 1964, H. FLÜGEL & H. HERITSCH, 1968), bieten also Verhältnisse, welche die Ausbildung artesischer Horizonte besonders begünstigen.

3. Die Untersuchungsmethodik

Für die Auswahl der Bohrungen aus der sehr umfangreichen Arteserkartei der VHFG (ca. 1500 Brunnen) waren nach Möglichkeit folgende Gesichtspunkte zu berücksichtigen:

- eindeutige Lage und Zuordnung des Wasserhorizontes zu Schichten einer bestimmten Fazies,
- einwandfreie Verrohrung, Speisung der Bohrung aus einem einzigen Wasserhorizont bekannter Tiefe,
- andauernder, freier Überlauf,
- ausgeschieden wurden Brunnen mit betonierten Fassungen ohne direkte Entnahmemöglichkeit.

Diese Auswahlkriterien reduzierten die große Zahl der zur Verfügung stehenden Arteser in vielen Bereichen ganz beträchtlich.

Die Probenentnahme erfolgte in den Sommer- und Herbstmonaten 1972 mittels Plastikflaschen, die bis zur Probennahme einige Tage mit destilliertem Wasser gefüllt waren. Die Untersuchung auf Na, Ca, B, Br, Sr und J wurde im allgemeinen nicht später als 3 Tage nach der Probennahme durchgeführt. Der Nachweis von Na und Ca (H. KOLMER) erfolgte flammenphotometrisch an einem ZEISS-PMQ-II-Gerät nach den üblichen Methoden, z. B. nach W. SCHUHNECHT (1961).

Der Nachweis von Bor (H. KOLMER) erfolgte kolorimetrisch mit Kurkumin (Merck 5232) als Indikator (vgl. Standard Methods, 1965). 1 ml der Probe wurde mit 4 ml Kurkumin-Reagenz in Teflonschälchen am Wasserbad bei $55 \pm 1^\circ \text{C}$ eingedampft. Der trockene Rückstand wurde in 25 ml Alkohol aufgenommen und die Extinktion

bei 540 nm gemessen. Die Werte in Tab. 1 sind das Mittel aus zwei Messungen, wobei jedesmal frisch bereitete Eichproben mit 0,0 / 0,3 / 0,7 ppm B mitgemessen wurden. Traten höhere Konzentrationen auf, wurde entsprechend verdünnt. Die Reproduzierbarkeit lag bei $\pm 0,025$ ppm B.

Der Nachweis auf Brom (H. KOLMER) erfolgte kolorimetrisch mit Phenolrot als Indikator in Gegenwart von Chloramin T (Standard Methods, 1965). 50 ml der Probe wurden mit 2 ml Na-Azetatlösung als Puffer, 2 ml Phenolrot-Lösung und 0,5 ml Chloramin T-Lösung versetzt. Die Reaktionszeit zur Bildung des rötlich-violetten Farbkomplexes wurde mit 20 min begrenzt, dann wurde mit 0,5 ml 2 m Na-Thiosulfat-Lösung die Reaktion durch Dechlorierung abgebrochen und die Extinktion bei 590 nm gemessen. Die Werte in Tab. 1 sind das Mittel aus zwei Messungen, wobei jedesmal frisch bereitete Eichproben mit 0,0 / 0,2 / 0,5 / 1,0 ppm Br mitgemessen wurden. Traten höhere Konzentrationen auf, wurde entsprechend verdünnt. Die Reproduzierbarkeit lag bei $\pm 0,011$ ppm Br.

Die Jodbestimmung (G. KNAPP) wurde mit einem JODOMAT/J-1-(Bodenseewerk-Perkin-Elmer-)Analysengerät zur katalytischen Jodbestimmung durchgeführt (vgl. G. KNAPP & H. SPITZY, 1969 a, b).

Reagenzien:

Dest. Wasser: Im allgemeinen genügt einfach dest. Wasser; sollte jedoch der Jodgehalt des einfach dest. Wassers zu hoch sein, so ist dieses in einer Glas- oder Quarz-Apparatur über Kaliumkarbonat nochmals zu destillieren.

Salpetersäure: HNO_3 mind. 65% (Merck p. a.), HNO_3 70% (BDH „Analar“) oder äquivalente Produkte.

Arsenige Säure: 4g As_2O_3 Merck p. a. resubl. werden in 50 ml 1 N NaOH unter Erhitzen gelöst. Nun werden 2 ml H_2SO_4 konz. und 2 g NaCl zugefügt. Das Gemisch wird mit H_2O auf 500 ml aufgefüllt.

Cer-(IV-)Reagenz: 3 g $\text{Ce}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ (Merck p. a., BDH „Analar“ u. a.) werden in 100 ml H_2O und 10 ml H_2SO_4 konz. unter Erhitzen gelöst. Anschließend wird mit H_2O auf 500 ml aufgefüllt.

Jodat-Stammlösung: 168,64 mg KJO_3 (Merck p. a.) werden in einem Liter Wasser gelöst. Diese Lösung enthält 100 g Jod pro ml. Durch entsprechendes Verdünnen erhält man Standardlösungen mit einem Jodgehalt von 5, 10, 15, 20 und 25 ng/100 ml. Alle Reagenzien sind einige Monate haltbar.

Eichung des Gerätes:

1,5 ml dest. Wasser werden mit 0,2 ml Arsenige Säure, 0,5 ml HNO_3 und 0,1 ml Cer-(IV-)Reagenz vermischt. Die Geschwindigkeit der ablaufenden Reaktion wird mit dem JODOMAT vermessen.

Ein zweiter Eichpunkt resultiert aus der Messung eines Reaktionsgemisches, dem 0,1 ml einer Jodat-Standard-Lösung (10 ng Jod absolut)

zugefügt wurden. Aus diesen beiden Meßpunkten berechnet der JODOMAT den Jodgehalt der gemessenen Wässer.

Durchführung der Messung:

1,5 ml des zu untersuchenden Wassers werden mit 0,2 ml Arsenige Säure, 0,5 ml HNO_3 und 0,1 ml Cer-(IV-)Reagenz vermischt. Die Messung wird hierauf im JODOMAT durchgeführt.

Die Bestimmung des Strontium (H. KRAINER) erfolgte mit einem Doppelstrahlgerät der Fa. Perkin-Elmer (Atomabsorptionsspektrophotometer, Mod. 403) in Emission. Zur Vermeidung der Störungen durch P, Si, Al wurden der Probe und den Eichlösungen 1000 ppm Lanthan, zur Vermeidung der Störungen durch Ionisation wurden 1000 ppm Caesium zugesetzt.

Arbeitsbedingungen:

Wellenlänge: 4607 Å, Spalt: 0,3 mm, Einschlitzbrenner, Acetylen: 6,8 l/min, Luft: 21,2 l/min.

4. Die Ergebnisse

Die Konzentration der Elemente B, Br, Sr und J sowie weitere Meßdaten der untersuchten artesischen Wässer bringt Tab. 1. Die zugehörigen Durchschnittswerte und Streuungen wurden nach den üblichen Methoden, z. B. D. MARSAL (1967), E. KREYSZIG (1968) berechnet. Sieht man von der Probe RIBITZ (Säuerling aus dem marinen Torton) ab, entsprechen die Werte innerhalb der hier untersuchten Faziesbereiche näherungsweise Normalverteilungen. Die stark positiven Abweichungen der Probe RIBITZ könnten durch die Lage des Artesers am Rande eines überdeckten Ergußgesteinskörpers (vgl. Tafel I) eine zwanglose Erklärung finden. Aufgrund der hohen Werte wurde diese Probe nicht in die Mittelwertberechnung einbezogen.

Für die Entscheidung, ob die 3 Faziesbereiche hinsichtlich der Konzentration der Elemente Bor, Brom, Strontium und Jod differieren, wurden die Mittelwerte einem Student-t-Test bei 90% Wahrscheinlichkeit unterzogen; eine graphische Darstellung der Konzentrationsverteilungen in Form von Histogrammen bringt Fig. 1. Für die Elemente B und Br ist ein signifikanter Unterschied zwischen den Proben aus den Pannonhorizonten einerseits und den Proben aus dem Sarmat bzw. Torton andererseits offensichtlich, da die Konzentration für beide Elemente im Pannon Null ist. Weiters läßt sich mit den vorhandenen Werten ein sehr deutlicher Unterschied in bezug auf den Bor-Gehalt auch zwischen den Torton- und Sarmat-Proben sowie in bezug auf den Jod-Gehalt zwischen den Proben aus dem Torton bzw. Sarmat einerseits und dem Pannon andererseits errechnen. Keine faziesbedingten Unterschiede ergeben sich für die hier gefundenen Strontiumkonzentrationen. Viel mehr zeigen die Sr-Gehalte der meisten Proben des Torton und Pannon eine deutlich positive Korrelation mit den jeweiligen Ca-Werten (vgl. auch K. KREJCI-GRAF, 1963). Die Proben aus dem Sarmat fallen etwas aus diesem Schema heraus.

Tabelle 1: Konzentrationen der Elemente Na, Ca, B, Br, Sr und J sowie Tiefe der Bohrungen, pH-Wert und elektrolytische Leitfähigkeit von artesischen Wässern des Steirischen Tertiärbeckens.

Ort der Probenentnahme	Tiefe m/ verbohrt	pH	elektrolyt. Leitfähigkeit μS	Na mg/l	Ca mg/l	B mg/l	Br mg/l	Sr mg/l	J $\mu\text{g/l}$
TORTON									
1 STEINER/Mureck	100	7,4	528	18	134	0,14	0,19	0,38	7,1
2 ZECHNER/Oberakitsch	70	7,5	671	84	109	0,43	—	3,48	6,3
3 SIXT/Siebing	100	7,5	357	19	75	0,18	0,18	0,15	4,5
4 RIBITZ/Saßbachtal	90	6,5	3117	376	481	2,25	2,20	4,05	220,0
5 WEBER/Wetzelsdorf	84	7,6	324	48	36	0,42	0,25	1,15	3,0
6 PRATTES/Gussendorf	125	7,6	910	208	24	0,35	0,69	0,48	13,4
7 OSWALD/Gussendorf	89/89	7,5	395	63	39	0,02	—	0,76	1,5
8 ZENZ/Wettmannstätten	70/20	7,6	523	124	17	0,49	0,23	0,10	3,6
9 LAMBAUER/Wettmannstätten	90/30	7,6	579	134	4	0,49	0,10	0,12	2,7
10 PRADER/Wettmannstätten	52/44	7,5	322	38	52	0,08	0,07	1,06	2,7
11 PUNTIGAM/St. Florian	43	7,6	429	110	17	0,21	0,39	0,46	7,0
12 LOIBNER/St. Florian	127	7,6	560	130	25	0,23	0,13	0,70	8,1
13 SCHWARZL/Nassau	55/55	7,5	450	28	91	0,00	—	1,82	1,2
14 KÖGL/Frauenthal	135/135	7,5	282	26	36	0,05	0,23	0,50	1,5
15 STEIFER/Grafendorf	138/115	7,6	1152	204	36	1,01	0,11	0,94	11,9
16 HERZOG/Grafendorf	120	7,5	870	152	58	0,92	—	1,36	4,6
17 WALTER/Mettersdorf	80	7,6	1133	272	13	0,81	0,18	0,30	14,7
Mittelwert \bar{x}						0,364	0,172	0,860	5,86
Varianz s^2						0,101	0,031	0,720	18,39

SARMAT

18 Grafendorf/Hartberg, Nr. I	54/54			7,1	54	0,17	0,41	2,20	11,8
19 Grafendorf/Hartberg, Nr. II	44/44			5,3	68	0,11	0,55	2,20	7,8
20 Grafendorf/Hartberg, Nr. III	86/86			7,0	52	0,14	0,23	2,10	2,0
21 Grafendorf/Hartberg, Nr. IV	168/168			8,6	44	0,09	—	2,30	4,9
22 TRUMMER/Gnas	104/100	7,5	510	21	119	0,03	—	1,00	3,1
23 PODNAR/Prebendorf 56	142/142	7,0	—	15	143	0,37	0,24	0,60	8,6
24 SACHS/Prebendorf 70	85/75	7,0	—	12	88	0,13	—	0,10	1,0
25 STIX/Sinabelkirchen 68	90/70	7,3	—	16	116	0,25	0,15	0,66	2,0
26 FASCHING/Untergrossau 20	100/96	7,5	—	20	120	0,06	—	0,78	2,4
27 GEIGER/Gniebing	70	7,2	447	13	116	0,05	0,47	0,64	0,9
28 BAUMGARTNER/Feldbach	85/80	7,4	510	13	119	0,06	—	0,66	1,0
29 TRUMMER/Feldbach, Mühlgasse 6	100/90	7,4	533	14	129	0,21	—	0,74	1,4
30 HIRSCHMANN/Mühldorf 109	70-90	7,3	458	15	129	—	0,17	1,12	1,9
Mittelwert \bar{x}						0,128	0,171	1,161	3,75
Varianz s^2						0,010	0,039	0,575	12,21

PANNON

31 SIEGEL/Gillersdorf 12	86/86	7,5	350	38	70	—	—	0,96	2,6
32 SIEGEL/Gillersdorf 24	100/70	7,6	350	46	38	—	—	0,80	2,6
33 MÜLLER/Gillersdorf 34	100/95	7,6	317	45	39	—	—	0,70	3,2
34 DEUTSCH/Gillersdorf 35	100/70	7,6	317	43	42	—	—	0,71	3,3
35 JANDL/Loipersdorf 4	84/84	7,6	326	33	48	—	—	0,86	2,7
36 WAGNER/Dietersdorf 65	96/96	7,5	435	34	73	—	—	1,06	6,6
37 SIEGEL/Weinberg 39	60/30	7,5	462	14	123	—	—	1,66	3,3
38 ÖBB/Weinberg	80	7,5	435	16	97	—	—	1,00	2,7
39 ÖBB/Hohenbrugg	80	7,6	462	14	120	—	—	1,16	3,6
40 ÖBB/km 182,7	80	7,5	462	14	104	—	—	1,16	2,9
41 ÖBB/km 180,8	80	7,5	350	12	89	—	—	0,18	2,2
Mittelwert \bar{x}						—	—	0,932	3,24
Varianz s^2						—	—	0,138	1,40

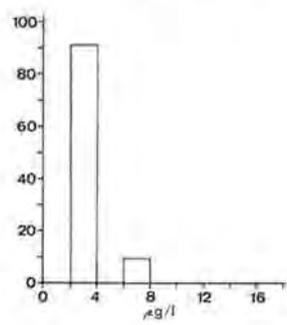
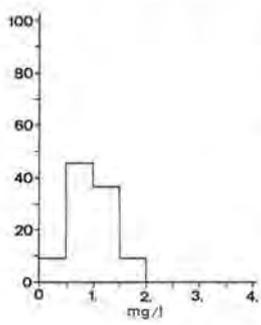
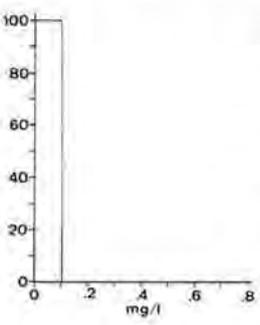
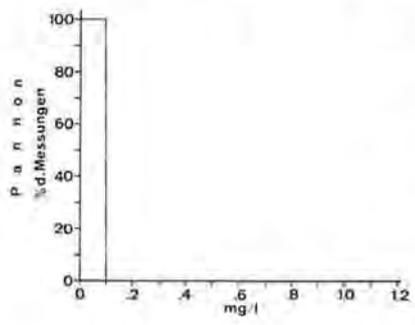
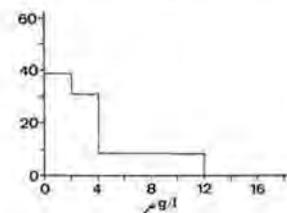
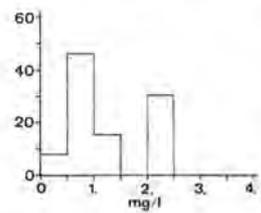
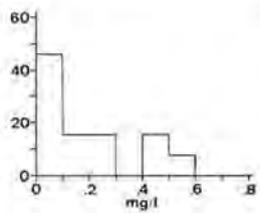
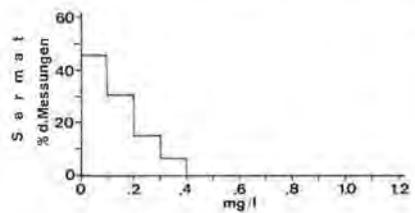
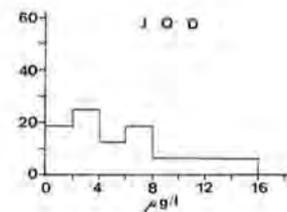
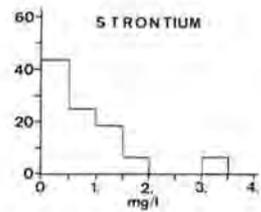
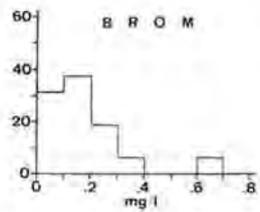
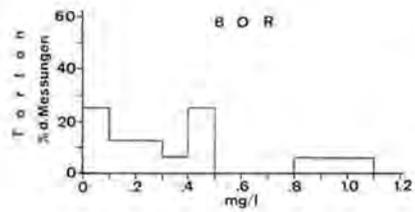


Fig. 1: Histogramme des Analyseergebnisses.

Für die B-Gehalte der Proben aus dem Torton bzw. Sarmat ist eine gewisse Abhängigkeit vom Na-Gehalt festzustellen (Fig. 2), wobei die B-Gehalte mit steigender Na-Konzentration ebenfalls zunehmen (vgl. z. B. R. P. PAWLOWA, 1957). In Wässern aus der Brackwasserfazies des Sarmats schwanken die Borgehalte unabhängig vom Na-Gehalt, sind jedoch im allgemeinen niedriger.

Die Verwendung von Bor in Tonen als Salinitätsindikator geht auf die Untersuchungen von V. M. GOLDSCHMIDT & C. L. PETERS (1932), S. LANDERGREN (1945) und in weiterer Folge z. B. W. ERNST & H. WERNER (1960) zurück. H. HARDER (1959, 1961, 1963) stellte experimentell den Einbau marinen Bors anstelle von Aluminium im Illit-Gitter fest, wobei das Bor nur über sehr lange Zeiträume wieder herauszulösen ist. In der vorliegenden Untersuchung wird aber nicht der Tonanteil der jeweiligen Sedimente selbst, sondern streng genommen nur deren Auslaugung untersucht.

Trotzdem scheinen sich die faziellen Bedingungen der Ablagerung in den artesischen Wässern aus den jeweiligen Horizonten wieder abzubilden, wenngleich die Größenordnung der B-Konzentration in den Wässern gegenüber den B-Gehalten in den marinen und brackischen Tonen (z. B. H. HARDER, 1963, R. C. REYNOLDS, 1965 a, b) um einen Faktor 10^{-2} bis 10^{-3} verschieden ist.

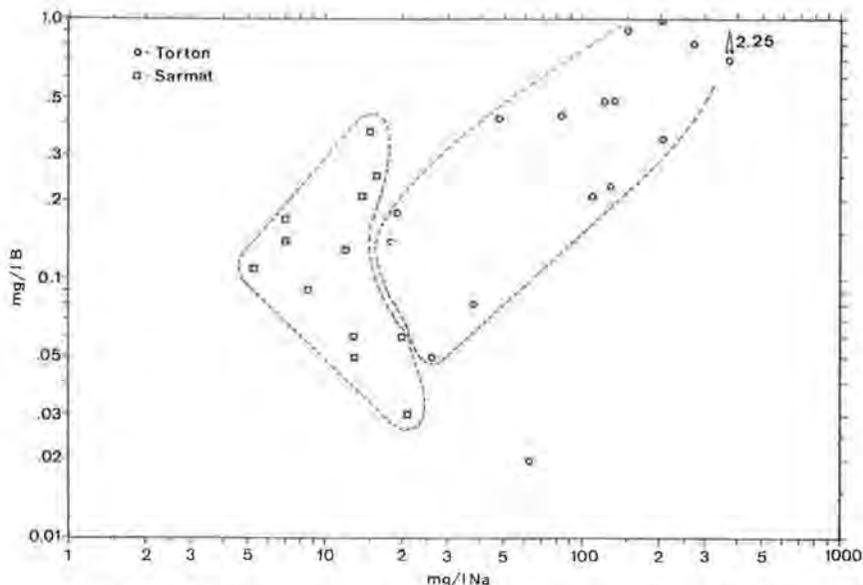


Fig. 2: Korrelationsdiagramm der Bor-Konzentration gegen den jeweiligen Natriumgehalt.

5. Zusammenfassung

Als Beitrag zur Kenntnis der artesischen Wässer im Steirischen Tertiärbecken werden Analysen auf die Spurenelemente B, Br, Sr und J vorgelegt. Die Mittelwerte der Konzentrationen der Wässer aus den drei Faziesbereichen *marin* (Torton), *brackisch* (Sarmat) und *limnisch-terrestrisch* (Pannon) werden mit statistischen Methoden miteinander verglichen. Danach ist in bezug auf B und Br das Pannon deutlich vom Sarmat bzw. Torton zu trennen. Letztere sind mit den hier gefundenen Werten hinsichtlich des B-Gehaltes signifikant (90-⁰/₀-Niveau) zu unterscheiden. Mit den Konzentrationswerten für Jod ist die marine bzw. brackische Fazies von der limnisch-terrestrischen Fazies zu unterscheiden. Die Konzentrationen von Sr erweisen sich als nicht faziesabhängig, wohl aber zeigen sie, von wenigen Ausnahmen abgesehen, eine deutlich positive Korrelation mit den jeweiligen Ca-Konzentrationen. Die Bor-Gehalte der Wässer aus dem Torton zeigen eine gewisse Abhängigkeit vom Na-Gehalt.

Literatur

- BERNHART, L.: Zur Problematik der Wasserversorgung aus artesischen Brunnen. Berichte der Wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, **21**, 7—20, Graz 1972.
- BRANDL, W.: Die artesischen Brunnen im Gebiet der Gemeinde Grafendorf bei Hartberg und ihre hydrogeologischen Voraussetzungen. Beitr. z. e. Hydrogeologie Steiermarks, **4**, 31—39, Graz 1950.
- DAVIES, G. H., G. L. MEYER & C. K. YEN: Isotope hydrology of the artesian aquifers of the Styrian Basin, Austria. Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **20**, 51—62, Graz 1968.
- ERNST, W. & H. WERNER: Die Bestimmung der Salinitätsfazies mit Hilfe der Bor-Methode. Glückauf, **96**, 1064—1070, Essen 1960.
- FLÜGEL, H. & H. HERITSCH: Das Steirische Tertiärbecken. Sammlg. Geol. Führer, **47**, Borntraeger, Berlin—Stuttgart 1968.
- GOLDSCHMIDT, V. M. & C. L. PETERS: Zur Geochemie des Bors. Nachr. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-phys. Kl., 402—407/528—545, Göttingen 1932.
- HARDER, H.: Beitrag zur Geochemie des Bors. Teil I: Bor in Mineralien und magmatischen Gesteinen. Teil II: Bor in Sedimenten. Nachr. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-phys. Kl., 67—183, Göttingen 1959.
- HARDER, H.: Einbau von Bor in detritische Tonminerale. Geochim. et Cosmochim. Acta, **21**, 284—294, Oxford 1961.
- HARDER, H.: Inwieweit ist das Bor ein marines Leitelement? Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **10**, 239—252, Krefeld 1963.
- HERITSCH, H.: Vorläufige Mitteilung über Untersuchungen an Vulkaniten aus den neuen Tiefbohrungen von Mitterlabill und Walkersdorf, Steiermark. Anz. Österr. Akad. Wiss. Wien, math.-naturw. Kl., 409—411, Wien 1964.
- HERITSCH, H.: Mitteilung über den Fortschritt von Untersuchungen an Vulkaniten aus den Tiefbohrungen von Mitterlabill und Paldau, Steiermark. Anz. Österr. Akad. Wiss. Wien, math.-naturw. Kl., 316 ff., Wien 1965.
- HERITSCH, H.: Ein Dazit aus der Tiefbohrung von Mitterlabill östlich von Wildon, Steiermark. Mitt. Naturw. Ver. Stmk., **96**, 43—49, Graz 1966.

- HERITSCH, H.: Eine weitere chemische Untersuchung aus dem Quarzlatit der Tiefbohrung von Mitterlabill, östlich Wildon, Steiermark. Mitt. Naturw. Ver. Stmk., 97, 14—16, Graz 1967.
- HERITSCH, H., J. BORSCHUTZKY, & H. SCHUCHLENZ: Zwei vulkanische Gesteine aus den Tiefbohrungen von Mitterlabill, östlich von Wildon, und von Walkersdorf, südlich von Ilz (Stmk.). Mitt. Naturw. Ver. Stmk., 95, 104—114, Graz 1965.
- HILBER, V.: Das Tertiärgebiet um Hartberg in Steiermark und Pinkafeld in Ungarn. Jhb. K. K. Geol. Reichsanstalt, 44, 389—414, Wien 1895.
- KAPOUNEK, J., A. PAPP & K. TURNOVSKY: Grundzüge der Gliederung von Oligozän und älterem Miozän in Niederösterreich nördlich der Donau. Verh. Geol. B. A., 217—226, Wien 1960.
- KNAPP, G. & H. SPITZY: Untersuchungen zur Optimierung der Reaktionsbedingungen für die katalytische Jodwirkung auf das System Ce(IV)-arsenige Säure (eine modifizierte Sandell-Kolthoff-Reaktion). Talanta, 16, 1353—1360, Oxford 1969 (1969 a).
- KNAPP G. & H. SPITZY: Eine Apparatur zur automatischen Jodbestimmung im Nanogrammbereich. Talanta, 16, 1361—1368, Oxford 1969 (1969 b).
- KOLLMANN, K.: Jungtertiär im Steirischen Becken. Mitt. Geol. Ges. Wien, 57, 479—632, Wien 1964.
- KOPETZKY, G.: Das Miozän zwischen Kainach und Laßnitz in Südweststeiermark. Mitt. Mus. Bergbau, Geologie und Technik am Landesmus. Joanneum, Graz, H. 18, 1957.
- KREJCI-GRAF, K.: Diagnostik der Salinitätsfazies der Ölwässer. Fortschr. Geol. Rheinl. u. Westf., 10, 367—448, Krefeld 1963.
- KREYSZIG, E.: Statistische Methoden und ihre Anwendungen. 3. Aufl., Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen 1968.
- LANDERGREN, S.: Contribution to the geochemistry of boron. Ark. Kemi, Miner., Geol. 19 A, 25, 1—7, 26, 1—31, Stockholm 1945.
- MARSAL, D.: Statistische Methoden für Erdwissenschaftler. (Schweizerbart) Stuttgart 1967.
- MAURIN V. & J. ZÖTL: Atlas der Steiermark. Bl. Hydrogeologie und Verkarstung, 1 : 300.000. Akad. Druck- u. Verlagsanstalt, Graz 1964.
- MOSER, H., W. STICHLER & J. ZÖTL: Altersgliederung von tiefliegenden artesischen Wässern. Die Naturwissenschaften, 59, 122—123, Berlin-Heidelberg—New York 1972.
- NEBERT, K.: Sedimentologisch-stratigraphische Untersuchungen im Jungtertiär südwestlich von Hartberg (Oststeiermark). Berg- u. Hüttenm. Mh., 96, 9—14, 30—37, 50—57, Wien 1951.
- PAWLOWA, R. P.: Über die Bor-Gehalte in den Grundwässern der Podkirmkinsk-Schicht im Erdölgebiet Apscheron. Dokl. Akad. Nauk Aserbajdschan. SSR., 13, 1091—1094, 1957 (Russ.). Ref. Nr. 1998 Zbl. Geol. Pal. 1962, 684.
- REYNOLDS jr., R. C.: The concentration of boron in Precambrian seas. Geochim. et Cosmochim. Acta, 29, 1—16, Oxford 1965 (1965 a).
- REYNOLDS jr., R. C.: Geochemical behaviour of boron during the metamorphism of carbonate rocks. Geochim. et Cosmochim. Acta, 29, 1101—1114, Oxford 1965 (1965 b).
- RONNER, F. & J. SCHMIED: Raubbau an artesischem Wasser in der Oststeiermark. Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, 20, 63—80, Graz 1968.
- SCHUHKNECHT, W.: Die Flammenspektalanalyse. (F. Encke), Stuttgart 1961.
- STANDARD METHODS for the examination of water and wastewater. 12. Ed., New York 1965.
- WINKLER-HERMADEN, A.: Die Bedeutung der gespannten Grundwässer für die Wasserversorgung der Steiermark und des südlichen Burgenlandes. Österr. Wasserwirtschaft, 13, 86—90, Wien 1961.

- WINKLER-HERMADEN A. & W. RITTLER: Erhebungen über artesische Wasserbohrungen im Steirischen Becken unter Berücksichtigung ihrer Bedeutung für die Tertiärgeologie. Geol. u. Bauw., 17, 33—96, Wien 1949.
- ZOJER, H.: Untersuchungen zur Frage des Wasserverlustes an der mittleren und unteren Feistritz. Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, 24, 11—45, Graz 1972.
- ZÖTL, J.: Die Anwendung natürlicher Isotopen zur Untersuchung tiefliegender Grundwässer. Unveröff. Ergebnisbericht, Graz 1969.
- ZÖTL, J.: Die Anwendung natürlicher Isotopen zur Untersuchung tiefliegender Grundwässer. Unveröff. Ergebnisbericht, Graz 1971.
- ZÖTL, J.: Studie zur Planung von Untersuchungen über die Ergiebigkeit und Nutzbarkeit von Quell- und Grundwässern im Raume Grafendorf—Hartberg (Oststeiermark) mit besonderer Berücksichtigung der artesischen Wässer. Berichte der Wasserwirtschaftl. Rahmenplanung, 21, 21—45, Graz 1972.

Summary

Distribution of some trace-elements in artesian waters of the Styrian Tertiary Basin.

As a contribution to the knowledge of the artesian waters in the Styrian Tertiary Basin trace-analyses on the elements boron, bromine, strontium and iodine have been carried out. The means of the element concentrations in the waters out of the three facieses marine (Tortonian), brackish (Sarmatian) and lacustrine-terrestrial (Pannonian) are compared by statistical methods. According to these tests the lacustrine-terrestrial facies of the Pannonian can be differentiated significantly (on the 90%-level) from the marine Tortonian and the brackish Sarmatian by the elements boron and bromine. Artesian waters from Tortonian and Sarmatian can be differentiated too by their B-content. Using the concentrations of iodine the waters of the marine and brackish facies can be differentiated from the lacustrine-terrestrial facies. The Sr-concentrations are not facies-dependent but except few samples they show a distinct positive correlation to the Ca-concentrations. The B-concentrations of the artesian waters from the Tortonian show a certain dependence on the sodium-contents.

Anschriften der Verfasser:

Dr. H. GAMERITH, Institut für Baugeologie, Technische Hochschule in Graz, Technikerstraße 4, A-8010 Graz.

Dipl.-Ing. Dr. G. KNAPP, Dipl.-Ing. Dr. H. KRAINER, Institut für Allgemeine Chemie, Mikro- und Radiochemie, Technische Hochschule in Graz, Technikerstraße 4, A-8010 Graz.

Dr. H. KOLMER, Institut für Technische Petrographie und Mineralogie, Technische Hochschule in Graz, Rechbauerstraße 12, A-8010 Graz.

