

## Beitrag zur Klärung von Ionenaustauschvorgängen im Grundwasser durch die Kombination von hydrochemischen und tonmineralogischen Untersuchungen

Von J. E. GOLDBRUNNER & H. P. LEDITZKY (Graz)

### 1. Einleitung

Bei Grundwasseruntersuchungen ist das Phänomen des Kationenaustausches durch das Vorhandensein von adsorptiv wirksamen organischen und anorganischen Bestandteilen des Untergrundes eine häufig zu beobachtende Erscheinung. Bei diesen Vorgängen gibt es nach G. MATTHESS (1973) sämtliche Übergänge von der Adsorption durch VAN DER WAAL'sche Kräfte, die nur eine schwache Bindung von Adsorbenten und adsorbierter Substanz bedeutet, bis hin zur chemischen Adsorption als Valenzbildung. Diese Form der Bindung bezeichnet man als den eigentlichen Ionenaustausch. Hierbei wird ein adsorbiertes Ion durch ein gelöstes im stöchiometrischen Verhältnis ersetzt. Als Sorbenten und Austauscher treten im Grundwasserleiter vor allem Tonminerale, Zeolithe, Eisen- und Manganhydroxide bzw. -oxidhydrate sowie organische Substanzen in Erscheinung (K. B. KRAUSKOPF, 1956).

In der vorliegenden Arbeit wird der Kationenaustausch am Beispiel des chemischen Jahresganges eines seichtliegenden Grundwassers verfolgt und durch die Kombination von hydrochemischen und tonmineralogischen Untersuchungen die Wechselwirkung zwischen Grundwasser und Sediment aufgezeigt.

### 2. Das untersuchte Ionenaustauschwasser

Nach H. SCHOELLER (1956) kennen wir zwei Arten des Kationenaustausches: Beim sogenannten positiven Ionenaustausch werden die Alkalien des Grundwassers gegen Erdalkalien des Grundwasserleiters ausgetauscht; eine Möglichkeit zur Erkennung derartiger Wässer bietet das Verhältnis  $(\text{Na} + \text{K}) : \text{Cl}$ . Im Falle eines positiven Ionenaustausches ist der Anteil des Chlorids höher als der Anteil der Alkalien Natrium und Kalium.

Im Gegensatz dazu werden beim negativen Ionenaustausch die Erdalkalien des Grundwassers gegen Alkalien des Grundwasserleiters ausgetauscht. In diesem Fall ist der Alkaliengehalt im Grundwasser höher als der des Chlorids.

In der Praxis ist mit Hilfe dieses Verhältnisses allerdings nur das Erkennen eines negativen Ionenaustausches sicher möglich. Da sich im Grundwasser meist ein positiver und negativer Ionenaustausch überlagern, ist das Hinzuziehen von Sedimentuntersuchungen für ein besseres Verständnis der Vorgänge von Vorteil. Dies wird hier am Beispiel des untersuchten Wassers deutlich.

Im Rahmen von hydrogeologischen Untersuchungen in der Langenwanger Schwöb-  
bing im mittleren Mürztal, Steiermark (J. E. GOLDBRUNNER, 1978, 1979) wurden Grundwässer aus verschiedenen stratigraphischen Einheiten untersucht. Es handelt sich dabei um quartäre Terrassen und Schwemmfächer unterschiedlichen Alters.

Durch den Vergleich zahlreicher chemischer und physikalischer Parameter sowie durch die Untersuchung des chemischen Jahresganges der Wässer (14tägige Probenahme) konnten auch innerhalb einzelner stratigraphischer Einheiten unterschiedliche Grundwasserbereiche differenziert werden.

In einem als Riß eingestuften Terrassenkörper wurde ein Ionenaustauschwasser erkannt, das sich in seinem Chemismus von den übrigen Wässern dieser Einheit klar unterschied (Tab. 1 und 2).

Tab. 1: Die Ionenverteilung in mmol/z und mmol/z %<sup>1</sup> des vom übrigen Grundwasser der Rißterrasse zu unterscheidenden Ionenaustauschwassers (Mittelwerte aus 25 Analysen)<sup>2</sup>:

	mmol/z	mmol/z %		mmol/z	mmol/z %
Na <sup>+</sup>	0,129	2,6	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	4,47	88,7
K <sup>+</sup>	0,155	3,0	Cl <sup>-</sup>	0,17	3,4
Ca <sup>++</sup>	3,79	75,2	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,14	2,8
Mg <sup>++</sup>	0,79	19,2	Rest	0,26	5,1

Wie aus den chemischen Daten ersichtlich ist, liegt bei diesem Brunnen ein negativer Ionenaustausch vor; der Faktor (Na + K) : Cl ist mit 1,7 der höchste des gesamten Untersuchungsgebietes. Aus den Analysendaten geht weiters hervor, daß bei diesem Wasser ein Austausch von Kalium gegen Magnesium stattgefunden haben muß, in dem Sinn, daß Magnesium vom umflossenen Sediment aufgenommen und dafür Kalium an das Grundwasser abgegeben wurde. So ist hier der Gehalt an Kalium fünf mal so hoch wie bei den übrigen Wässern der Rißterrasse, der der Brunnen seiner Lage nach angehört; der prozentmäßige Anteil des Magnesiums an der Kationensumme ist der niederste im gesamten Untersuchungsgebiet, während der Gehalt an Calcium den der übrigen Rißterrassenwässer deutlich übersteigt (Tab. 2).

Tab. 2: Die Durchschnitts-Ionenverteilung in mmol/z und mmol/z % der Rißterrassenwässer (Mittelwerte aus 25 Analysen):

	mmol/z	mmol/z %		mmol/z	mmol/z %
Na <sup>+</sup>	0,113	2,6	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3,77	87,3
K <sup>+</sup>	0,031	0,7	Cl <sup>-</sup>	0,22	5,1
Ca <sup>++</sup>	2,94	68,2	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,16	3,7
Mg <sup>++</sup>	1,23	28,5	Rest	0,17	3,9

Petrographische Untersuchungen von Sedimentproben aus dem Grundwasserleiter erbrachten keinerlei Hinweise auf das Vorhandensein von austauschfähigen Substanzen. Es lag daher der Verdacht nahe, daß die Austauschvorgänge auf Wechselwirkungen mit Tonmineralen eines nur im Bereich des Brunnens als Grundwasserstauer auftretenden feinklastischen Sediments zurückzuführen sind. Dieses wurde durch einen Brunnenausgrab für sedimentologische Untersuchungen zugänglich.

Bei den übrigen untersuchten Wässern der Rißterrasse tritt ein durch karbonatisches Bindemittel verkittetes Konglomerat auf, das auch das obertägige Ausfließen des Grundwassers aus dieser Sand-Kiesterrasse bewirkt.

<sup>1</sup> mmol/z = mmol geteilt durch elektrochemische Wertigkeit ersetzt die nicht mehr zugelassene Einheit mval (nach DIN).

<sup>2</sup> Bezüglich der Untersuchungsmethodik siehe J. E. GOLDBRUNNER 1978 und 1979.

### 3. Die mineralogische Zusammensetzung des Sediments

Das durch den Brunnenaushub aufgeschlossene feinklastische Lockersediment weist einen Ton-Schluffanteil von 84% auf.

Die Bestimmung der Mineralphasen erfolgte röntgendiffraktometrisch<sup>1</sup>, wobei bezüglich der Methodik der Tonmineralbestimmung auf H. P. LEDITZKY (1978) verwiesen wird. In Ergänzung der dort beschriebenen Verfahren erfolgte die Identifizierung des Kaolinit mit Dimethyl-Sulphoxid (S. GONZALES GARCIA & M. SANCHEZ CAMAZANO, 1968). Der Kalzitgehalt wurde durch Lösen mit 5%iger Salzsäure bestimmt und die im Sediment enthaltene Quarzmenge durch Vergleiche mit Eichproben ermittelt. Eine grobe quantitative Abschätzung der Tonminerale erfolgte aufgrund der Korngrößenverteilung und der Tatsache, daß Montmorillonit und Kaolinit in dem untersuchten Sediment vorwiegend in der Kornfraktion <6,3 $\mu$  auftreten.

Nach den beschriebenen Untersuchungen ergibt sich folgender Mineralgehalt:

Calcit:	52%
Quarz:	10–15%
Muskowit/Illit:	15–20%
Montmorillonit:	5–10%
Kaolinit:	5%

Für die Ionenaustauschvorgänge sind in diesem Sediment Kaolinit, Illit und hauptsächlich Montmorillonit verantwortlich. Zur Untersuchung des Verhaltens des Montmorillonits gegenüber verschiedenen mineralisierten Lösungen wurden nach den entsprechenden Behandlungen Fraktionen <6,3 $\mu$  abgetrennt und einer röntgendiffraktometrischen Untersuchung zugeführt.

### 4. Laborversuche mit Austauschlösungen und die tonmineralogischen Untersuchungen

#### 4.1. Bestimmung der Austauschkapazität und der austauschbaren Kationen

In Anlehnung an DIN 19684 (Bestimmung der Austauschkapazität und der austauschbaren Kationen) wurden die austauschbaren Kationen durch Schütteln in einer gepufferten BaCl<sub>2</sub>-Lösung aus dem Sediment verdrängt und in der Lösung bestimmt (Tab. 3).

Aus dem Rücktausch der Ba-Ionen mit einer 0,2 m MgCl<sub>2</sub>-Lösung wird die Austauschkapazität des Austauschers ermittelt. Sie wird in mmol/z je 100 g Sediment angegeben.

Die freigesetzten Kationen wurden mit einem Atomabsorptions-Spektrophotometer (Instrumentation Laboratory 551) wie folgt bestimmt:

Calcium: in Absorption; Wellenlänge: 422,7 nm, Spalt: 0,32 mm, Luft-Azetylen, Einschlitzbrenner; Zusatz: 2,5 ml 2%-CsCl-Lösung auf 100 ml Probe und Standards.

Magnesium: in Absorption; Wellenlänge: 285,2 nm, Spalt: 0,32 mm, Luft-Azetylen, Einschlitzbrenner; Zusatz: 0,1 ml La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Lösung auf 100 ml Probe und

<sup>1</sup> Für die Bereitstellung von Labors und Geräten sind wir Herrn Prof. Dr. H. SEELMEIER (ehem. Institut für Baueologie) und Herrn Prof. Dr. H. HÖLLER (Institut für Technische Geologie, Petrographie und Mineralogie) der Technischen Universität Graz zu Dank verpflichtet.

Standards (10 g  $\text{La}_2\text{O}_3$  werden mit conc. HCl p. a. übergossen und unter Erwärmen gelöst. Nach Eindampfen wird mit 10 ml conc. HCl p. a. aufgenommen und auf 100 ml mit dest. Wasser aufgefüllt).

Natrium: in Emission; Wellenlänge: 589 nm, Spalt: 0,16 mm, Luft-Azetylen, Einschlitzbrenner.

Kalium: in Absorption; Wellenlänge: 766,5 nm, Spalt: 0,32 mm, Luft-Azetylen, Einschlitzbrenner; Zusatz: 2,5 ml 2%-CsCl-Lösung auf 100 ml Probe und Standards.

Barium: in Emission; Wellenlänge: 553,5 nm, Spalt: 0,04 mm, Lachgas-Azetylen, Lachgasbrenner; Zusatz: 0,2 g KCl zu 100 ml Probe und Standards.

Titrimetrisch:

H-Ionen: Titration mit 0,05 n HCl; Mischindikator nach H-Ionenbestimmung in DIN 19684.

Tab. 3: Die durch die Bariumchlorid-Behandlung freigesetzten Kationen (in mmol/z je 100 g Sediment; Bestimmungen aus drei gleichbehandelten Sedimentproben).

	Einwaage in g	H <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>
Probe 1	6,151	139,82	0,19	0,30	45,09	2,75
Probe 2	5,209	139,03	0,32	0,33	46,43	3,02
Probe 3	5,155	138,43	0,27	0,31	46,99	2,85

Gegenüber den in großer Menge freigesetzten Wasserstoff- und Calciumionen treten die Magnesium-, Kalium- und Natrium-Ionen stark in den Hintergrund, wobei jedoch die Menge der einzelnen freigesetzten Ionen nicht nur von ihrer Austauschbereitschaft, sondern auch von der jeweiligen Ionenbelegung des Austauschers abhängt.

Für das Gesamtsediment wurde durch den Rücktausch mit Magnesiumchlorid eine Kationenaustauschkapazität von 4,44 mmol/z je 100 g Sediment ermittelt.

Aufgrund seiner großen Austauschkapazität ist zweifellos der im Sediment mit einem Anteil von 5-10% vorhandene Montmorillonit hauptverantwortlich für den beobachteten Austausch (nach R. E. GRIM, 1968, beträgt die Kationenaustauschkapazität für primäre Montmorillonite 100-150 mmol/z je 100 g; für sekundär gebildete sind nach U. SCHWERTMANN, 1962, geringere Werte anzunehmen).

Gegenüber unterschiedlichen Kationenbelegungen reagiert der Montmorillonit durch Abstandsänderungen der Schichtpakete, welche röntgenographisch nachgewiesen werden können: So läßt sich auch die oben durchgeführte Ionenbelegung mit Magnesium- und Bariumchlorid beweisen. Der Montmorillonit, dessen Basisabstand bei ursprünglicher Ionenbelegung 15,2 Å betrug, kontrahierte nach der Bariumchlorid-Behandlung auf 12,6 Å, durch die anschließende Magnesiumbelegung war eine Aufweitung auf 14,2 Å möglich (Fig. 1).

In Ergänzung zu den Behandlungen nach DIN 19684 wurde das Verhalten des Montmorillonits gegenüber Natrium, Kalium und Calcium durch Schütteln in entsprechenden Lösungen getestet. Durch die Kaliumaufnahme wurde eine Kontraktion auf 10 Å erreicht, während die Absättigung mit Calcium eine Aufweitung auf 15,2 Å bewirkte; dies entspricht dem Schichtabstand der ursprünglichen Ionenbelegung.

Bemerkenswert ist das Verhalten des Minerals gegenüber Natrium: mit diesem Ion war nur eine geringfügige Kontraktion zu erreichen. Dies zeigt an, daß der untersuchte Montmorillonit Natrium nur beschränkt aufnehmen kann. Hinweise darauf lieferte bereits die geringe Menge an Natrium, die sich nach erfolgter Bariumchlorid-Behandlung in der Austauschlösung nachweisen ließ (Tab. 3).

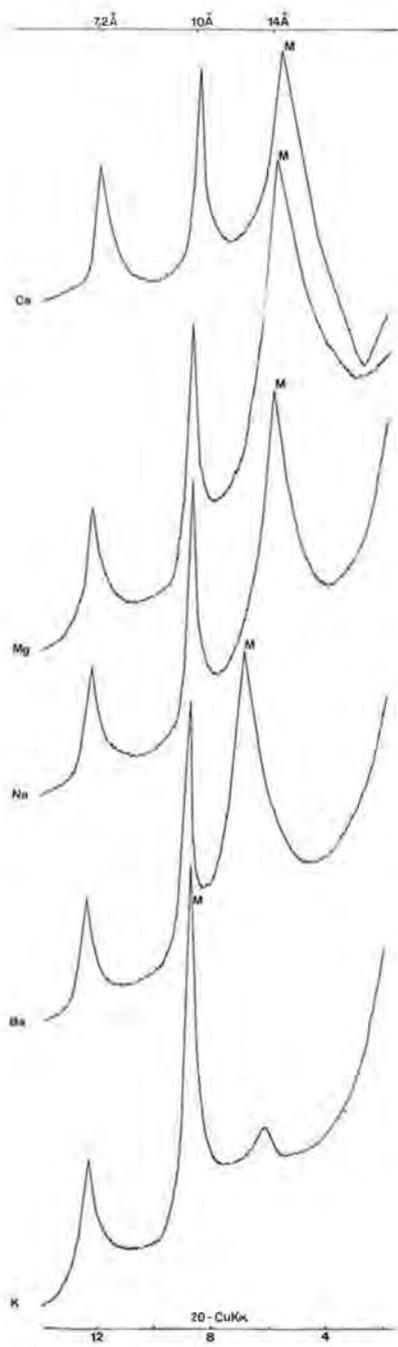


Fig. 1: Veränderung des 1. Basisreflexes des Montmorillonits durch unterschiedliche Kationenbelegungen.

## 4.2. Behandlung des Sediments mit Lösungen niedriger Konzentration

Daß die Wechselwirkung Sediment-Wasser im Labor auch mit Lösungen, die in ihrer Mineralisation natürlichen Grundwässern entsprechen, nachvollzogen werden kann, zeigt die folgende Versuchsserie. Das Sediment wurde nach Neutralwaschen in Wässern geschüttelt, deren Kationenverhältnis zwei Extremwerten des im Jahresgang 1977/78 untersuchten Wassers nachempfunden wurde. Die so festgelegten Austauschlösungen unterschieden sich in der Kalium- und Calciumkonzentration (Tab. 4).

Aus der Analyse der Austauschwässer ist zu erkennen, daß für die Wechselwirkung Grundwasser-Sediment das primäre Ionenangebot des auf den Austauscher einwirkenden Wassers ein wichtiger Faktor ist. So wird der Ionenaustausch bei dieser Untersuchungsserie durch das Angebot an Kalium gesteuert:

Im Falle der Behandlung mit der Lösung A (kaliumreich) nahm das Sediment durch das erhöhte Angebot von Kalium im Austauschwasser dieses auf (Differenz = 5,14 mg/l), während 15,91 mg/l Calcium abgegeben wurden. Daneben erfolgte eine geringfügige Aufnahme von Magnesium durch das Sediment (2,09 mg/l). Noch deutlicher werden diese Vorgänge durch die Verteilung der Ionen in mmol/z % ausgedrückt. Im Austauschwasser nimmt nun das Calcium mit 58,02% (gegenüber 41,1%) eine dominierende Stellung ein, während der Anteil an Magnesium von 40,1 auf 28,9% zurückging. Bei den Alkalien ist der Rückgang des Kaliums von 12% auf 6,4% beträchtlich, während der Anteil des Natriums unverändert bleibt.

Tab. 4: Die Änderung der Kationen-Konzentration von gering mineralisierten Lösungen durch Schütteln mit dem Sediment.

		Na		K		Ca		Mg	
		mg/l	mmol/z %	mg/l	mmol/z %	mg/l	mmol/z %	mg/l	mmol/z %
Lösung A	vor	4,65	6,85	13,55	11,97	23,99	41,10	14,17	40,07
	nach	5,29	6,71	8,41	6,41	39,90	58,02	12,08	28,86
Lösung B	vor	4,63	5,45	4,65	3,27	42,68	58,04	14,89	33,24
	nach	5,24	6,06	4,32	2,90	43,32	56,99	15,50	34,05

Gänzlich anders liegen die Verhältnisse nach Behandlung mit der Lösung B (kaliumärmer). Hier bleiben die Änderungen der Ionenkonzentrationen durchwegs unter 2 mmol/z % und somit ohne signifikante Änderungen. Die unbedeutende Erhöhung der Gesamtmineralisation ist vermutlich auf Lösungsvorgänge zurückzuführen, obwohl das Sediment neutral gewaschen wurde.

Daß sich die Kationenaustauschvorgänge röntgenographisch nicht nur durch die Behandlung des Sediments mit hochkonzentrierten Lösungen, sondern sogar nach Behandlung mit gering mineralisierten Wässern, wie sie unseren natürlichen Grundwässern entsprechen, zeigen die Aufnahmen des mit Lösung A und B behandelten Sediments (Fig. 2).

So wurde aus der kaliumreicheren Lösung A vorwiegend dieses Ion aufgenommen, eine Tatsache, die sich wiederum in einem Intensitätsverlust des 15,2-Å-Reflexes zugunsten des Reflexes bei 10 Å widerspiegelt. Dies bedeutet, daß aus dem Montmorillonit freigewordenes Calcium durch Kalium ersetzt wurde.

Daß diese wenn auch nur geringfügige Intensitätsverlagerung keineswegs auf Textureffekte zurückzuführen ist, konnte dadurch bestätigt werden, daß in jeweils 5 Präparationen die gleichen Intensitätsverhältnisse auftraten.

Durch die Behandlung mit der Lösung B traten hingegen keine Intensitätsveränderungen im Vergleich mit dem Ausgangsmaterial auf, was als Beweis dafür angesehen

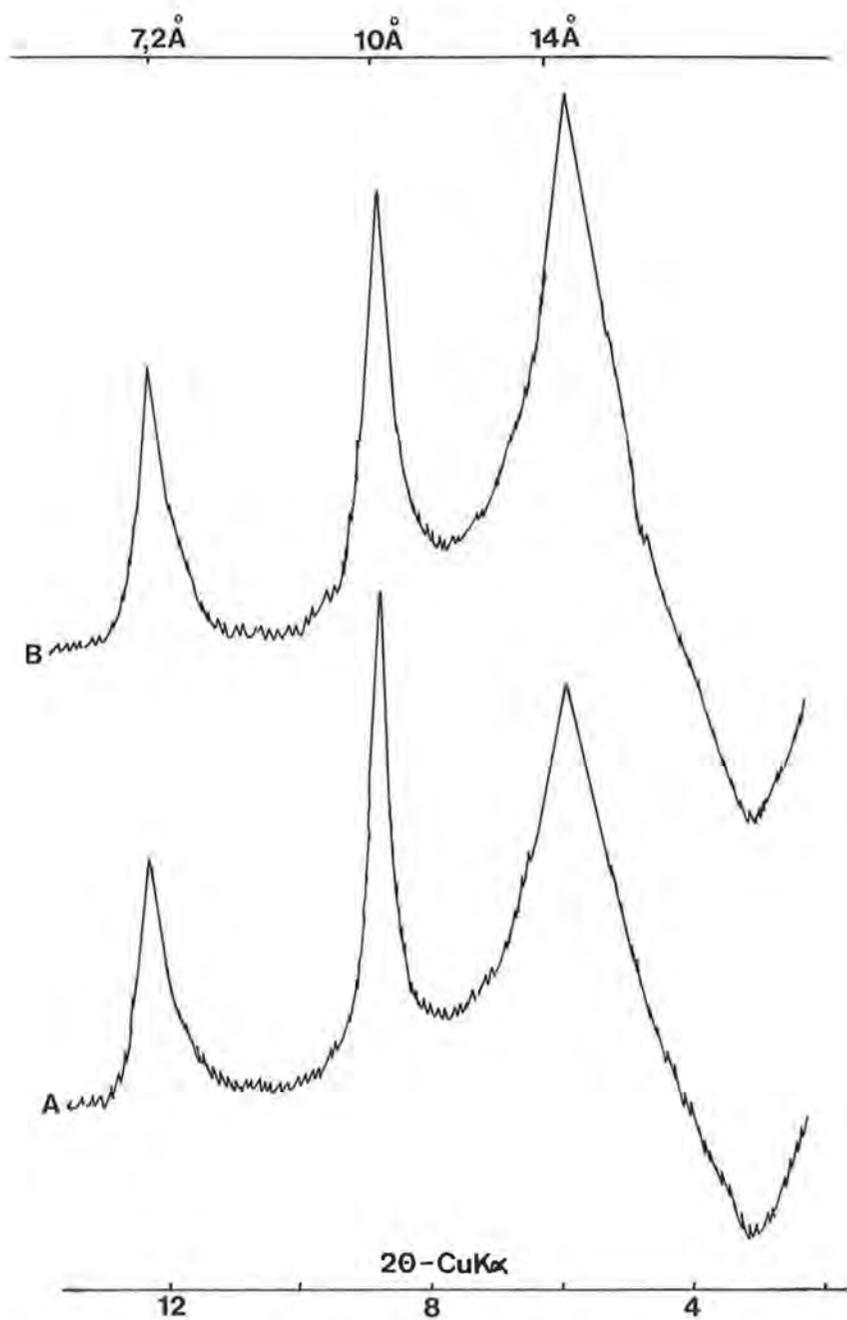


Fig. 2: Veränderung des 1. Basisreflexes des Montmorillonits durch die Behandlung mit der Lösung A (kaliumreicher) und Lösung B (kaliumärmer).

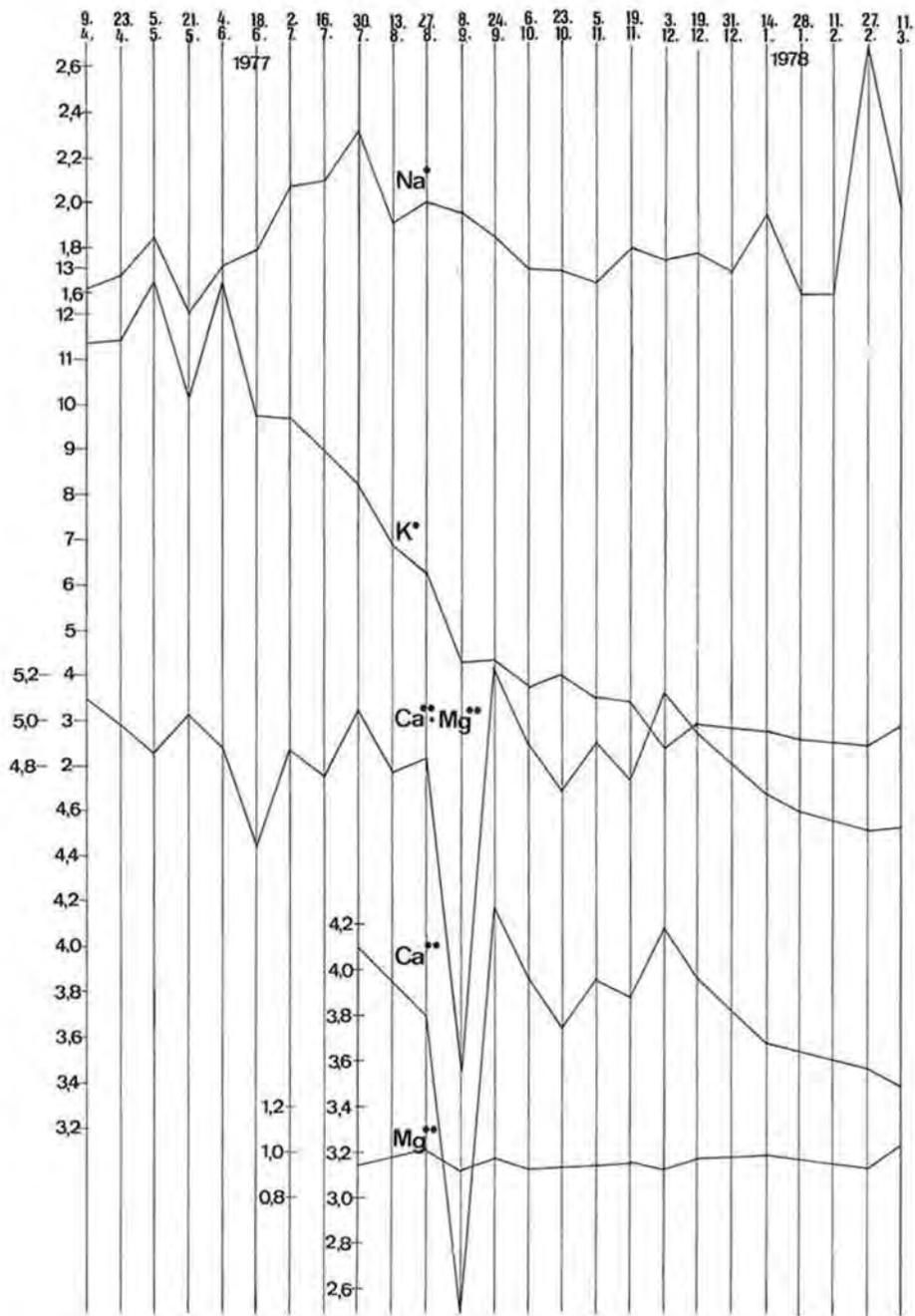


Fig. 3: Der Gang der Kationen Natrium, Kalium, Calcium und Magnesium des untersuchten Brunnens in der Beobachtungszeit vom 9. 4. 1977 bis 11. 3. 1978. (Na, K in mg/l, Ca und Mg in mmol/l)

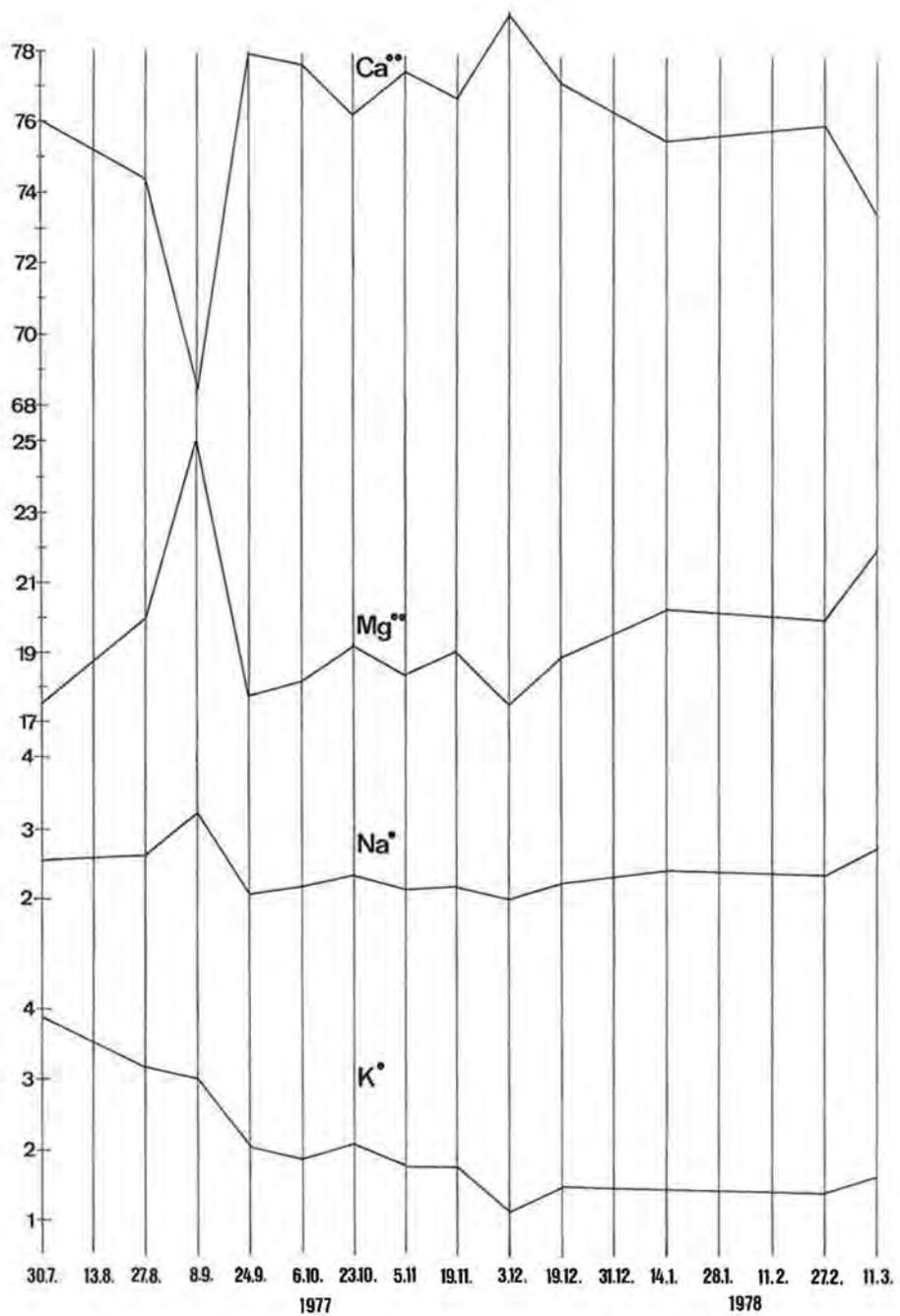


Fig. 4: Der Gang der Kationen Natrium, Kalium, Calcium und Magnesium des untersuchten Brunnens in mmol/l % (Na, K-Kurven 2fach überhöht)

werden kann, daß keine nennenswerten Austauschvorgänge stattgefunden haben (Fig. 2). Somit werden die Ergebnisse der chemischen Analyse des Austauschwassers bestätigt.

## 5. Hydrogeologische Interpretation der Laborversuche und der Erfahrungen aus dem Jahresgang des untersuchten Grundwassers

Wie der Jahresgang der Kationen des untersuchten Wassers zeigt (Fig. 3 und 4), sind die Vorgänge und Wechselwirkungen Grundwasserleiter-Grundwasser im Jahresablauf sehr kompliziert und heterogen.

Am Beginn der Beobachtung bis Ende August 1977 lag im untersuchten Wasser vornehmlich ein negativer Ionenaustausch vor, der auf den Austausch von Magnesium gegen Kalium zurückzuführen war. Dadurch kam es zu der gegenüber den übrigen Rißterrassenwässern stark erhöhten Kaliumkonzentration. Eine starke Veränderung in der Grundwasserchemie war in der Probe vom 8. 9. 1977 zu beobachten, bei der eine Kationenverteilung auftrat, die jener der übrigen Rißterrassenwässer entsprach. Diese Veränderung ist auf die große Niederschlagstätigkeit der Monate Mai bis August 1977 zurückzuführen, die eine Regenmenge von 387,8 mm brachte. Wie auch aus dem Verhalten der übrigen Rißterrassenwässer hervorging, wirken sich Niederschlagsereignisse in dieser Terrasse aufgrund der 2 m mächtigen Lehmbedeckung erst mit einiger Verzögerung aus. Es kommt dadurch durch das hinzukommende Niederschlagswasser zu keiner Veränderung der Ionenverteilung (Fig. 4).

Diese Veränderung im Grundwasserchemismus löste einen geänderten Ionenaustauschmechanismus mit der Aufnahme von Kalium und gleichzeitiger Abgabe von Magnesium und in geringerem Maße auch Calcium durch das Sediment aus. Die spezifische Abgabe von Magnesium ist durch die Belegung des Austauschers erklärbar.

Wie die Laborversuche mit den gering mineralisierten Lösungen gezeigt haben, stehen die hier stattgefundenen Ionenaustauschvorgänge unmittelbar mit dem Angebot von Kalium im Grundwasser in Zusammenhang: Die Lösung A, deren Kaliumkonzentration der des Grundwassers in den Sommermonaten entsprach, bewirkte einen Austausch, wie er auch im Jahresgang beobachtet wurde (aufgrund der geänderten Belegung des Austauschers wurde in diesem Fall Calcium abgegeben).

Hingegen bewirkte die in bezug auf Kalium geringer mineralisierte Lösung B keinen Austausch, was den Verhältnissen im Grundwasser in den Wintermonaten 1977/78 entsprach (Fig. 3 und 4).

Der Jahresgang des Natriums zeigt aufgrund seiner Regelmäßigkeit keine Beeinflussung durch Ionenaustauschvorgänge, eine Tatsache, die auch aus den tonmineralogischen Untersuchungen abgeleitet werden kann.

## 6. Zusammenfassung

In Grundwässern ist der Kationenaustausch ein häufig zu beobachtendes Phänomen. Am Beispiel eines Brunnens, von dem ein chemischer Jahresgang vorlag, wird die komplizierte Wechselwirkung zwischen Grundwasser und Sediment aufgezeigt, wobei in diesem Fall der Montmorillonit hauptverantwortlich für den beobachteten Austausch ist. Durch die Kombination von Laborversuchen, tonmineralogischen Untersuchungen und den Erkenntnissen aus dem hydrochemischen Jahresgang ist ersichtlich, daß für die Ionenaustauschvorgänge und deren Ausmaß primär das Ionenangebot des auf den Austauscher einwirkenden Grundwassers verantwortlich ist. Im

Falle des untersuchten Sediments ist das Angebot an Kalium entscheidend für die Art und Größe des Austausches. Es konnte der Nachweis geliefert werden, daß bei einer geringen Konzentration an Kalium kein Austausch mehr stattfindet.

## Literatur

- DIN 19684, Teil 8: Bestimmung der Austauschkapazität und der austauschbaren Kationen.
- GOLDBRUNNER, J. E.: Hydrogeologische Untersuchungen in der Langenwanger Schwöbing (Mürztal). – Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergb. Landesmus. Joanneum, Heft 39, S. 67–84, 2 Abb., 3 Tab., 4 Beil., Graz 1978.
- GOLDBRUNNER, J. E.: Hydrogeologische Untersuchungen im Bereich von Schwöbing (Mittleres Mürztal/Steiermark). – Unveröff. Diss., Graz 1979.
- GONZALES GARCIA, S. & SANCHEZ CAMAZANO, M.: Differentiation of kaolinite from chlorite by treatment with dimethyl-sulphoxide. – *Clay minerals*, **7**, S. 447–450, 1 Abb., 3 Tab., Oxford 1968.
- GRIM, R. E.: *Clay Mineralogy*. – 596 S., Abb., Tab., New York (Mc Graw-Hill) 1968.
- KRAUSKOPF, K. B.: Factors controlling the concentration of thirteen rare materials in sea water. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **9**, S. 1–32, 9 Tab., London–New York 1956.
- LEDITZKY, H. P.: Interpretation von Ionenaustauschvorgängen beim Einsatz von Salzen zur Verfolgung unterirdischer Wasserwege durch Sedimentuntersuchungen. – *Steir. Beitr. z. Hydrogeol.*, **30**, S. 169–174, 3 Abb., Graz 1978.
- MATTHESS, G.: Die Beschaffenheit des Grundwassers. – In: W. RICHTER: *Lehrbuch der Hydrogeologie*, Bd. 2, 324 S., 89 Abb., 86 Tab., Berlin–Stuttgart (Bornträger) 1973.
- SCHWERTMANN, U.: Eigenschaften und Bildung aufweitbarer (quellbarer) Dreischicht-Tonminerale in Böden aus Sedimenten. – *Beitr. z. Min. u. Petr.*, **8**, S. 199–209, Heidelberg 1962.

## Summary

The cation exchange, which arises from the complicated mutual effect between sediment and groundwater is a phenomenon, which occurs very often in groundwater systems. The chemical changes in such "ion exchange water" have been investigated during the period of almost one year. Radiographic examinations of the sediment showed, that the montmorillonite is mainly responsible for these processes. The combination of the hydrochemical experiences, the radiographic examinations and the laboratory experiments have proofed, that above all the ionic concentration of the groundwater is the most important factor for the ion exchange processes and their proportion. In the case of the investigated sediment, the concentration of potassium is responsible for the cation exchange as well as for its type. Experiments showed, that if there is only a little concentration of this ion in water, no mutual effects between groundwater and sediment can be recognized.

Anschrift der Verfasser: cand. phil. J. E. GOLDBRUNNER & Dr. H. P. LEDITZKY, Institut für Geothermie und Hydrogeologie, Forschungszentrum Graz, Elisabethstraße 16, A-8010 Graz.