

ÜBER HYDROCHEMISCHE VERÄNDERUNGEN DES OBEREN GRUNDWASSERS IN DER UMGEBUNG VON BAGGERSEEN

Mounir W. Banoub

Summary:

Hydrochemical investigations on gravel-ponds in the state of Baden/Württemberg, FRG, have shown that they resemble their surrounding groundwater in their water-quality. Some differences, however, occur during dredging leading to a decrease in some ions and increase in others, but with a resultant decrease in their total salt content as compared to the original groundwater. In a 6 year study of one of these lakes "Testsee", Langenbrücken, it was possible to follow the temporal and spatial variations in the pond and its surroundings through 29 groundwater wells. Temporal variations in groundwater and pond water quality show relations to the prevailing meteorological conditions, as well as to groundwater recharge. Spatial variations were attributed to the pattern of groundwater flow in these surroundings, to local agricultural activities (intensive use of fertilizers in the surrounding land) and to the pond itself which acts as a window for gaseous exchange with the atmosphere, as well as energy-gate to groundwater. It is estimated that about 3128 kg/m² (0.2086 kg/m³) of salts were lost by precipitation, CO-precipitation and other physical processes, as well as by nitrogen respiration during the initial dredging. About 0.1 - 0.3 of this amounts takes place annually through groundwater exchange with the pond. If we consider that the pond in its present state (not used for fishing), sport or boating) is capable of maintaining its trophic equilibrium, or the balance between production and consumption of organic matter, then the only input to it is through infiltration by groundwater. The possible build up of mineral-precipitates at the lake bottom is discussed.

I. Einführung

Durch das Ausbaggern von Sand und Kies bis in Tiefen, wo das Grundwasser erreicht wird, wird dieses nunmehr der Atmosphäre ausgesetzt und es bilden sich Seen, welche in der Oberrheinebene bis zu 60 m Tiefe erreichen können. Diese Seen weisen auch nach ihrer Entstehung Beziehungen zum ursprünglichen Grundwasseraquifer auf, und zwar in Abhängigkeit von der Permeabilität der Seebodensedimente in unterschiedlichem Ausmaß. Die wichtigste Veränderung im Chemismus des Grundwassers nach seiner Öffnung gegen die Atmosphäre ist eine Abnahme im Mineralstoffgehalt und eine Zunahme in organisch abbaubarer Materie. Der Vorgang der Entmineralisierung wird hauptsächlich als Folge der Belüftung durch den Verlust von freier Kohlensäure und von Karbonaten bereits während des Ausbaggerns bewirkt. Die Zunahme an organischen Substanzen in dem aufgeschlossenen Grundwasser erfolgt hauptsächlich durch die Entwicklung einer Photosynthese-leistenden Le-

bensgemeinschaft und der damit verbundenen Erzeugung von Biomasse aus Kohlensäure und anderen anorganischen Stoffen. Aufgrund dieser Vorgänge unterscheidet sich das geöffnete Grundwasser alsbald von dem erdüberdeckten, und es ist deshalb möglich, Infiltrationswege zwischen Grundwasser und Seewasser und umgekehrt aufzuspüren. Derartige Erscheinungen wurden in einer ganzen Reihe von Baggerseen der Ober-rheinebene beobachtet, bei denen im Oberstrom und im Unterstrom des Grundwassers Probenahmebrunnen angelegt worden waren. Besonders intensiv wurden diese Vorgänge am Testsee untersucht.

Die Landfläche rund um den Testsee wird landwirtschaftlich genutzt, was sich in den örtlich hohen Konzentrationen von Nitrat im Grundwasser widerspiegelt. In den Untersuchungen am Testsee wird versucht, die jahreszeitlichen Veränderungen der chemischen Bestandteile des Grundwassers dieses Bereiches zu erfassen und sie mit den hydrologischen, meteorologischen und soweit möglich, mikrobiologischen Wirkungsfaktoren auf das Grundwasser in Beziehung zu bringen. Die räumliche Verteilung der vorherrschenden Ionen-Arten rund um den See wurde ebenfalls in seinen Beziehungen zum vorherrschenden Grundwasserstrom erforscht. Es wird versucht, den Einstrom von Grundwassermineralstoffen in den See und die Umsetzungen der Mineralstoffe im See zu quantifizieren. Auch wird der Ausstrom des Seewassers in den umgebenden Grundwasserbereich, seine dabei auftretenden chemischen Veränderungen durch Vermischung mit dem Grundwasser oder durch geochemische oder biochemische Prozesse verfolgt.

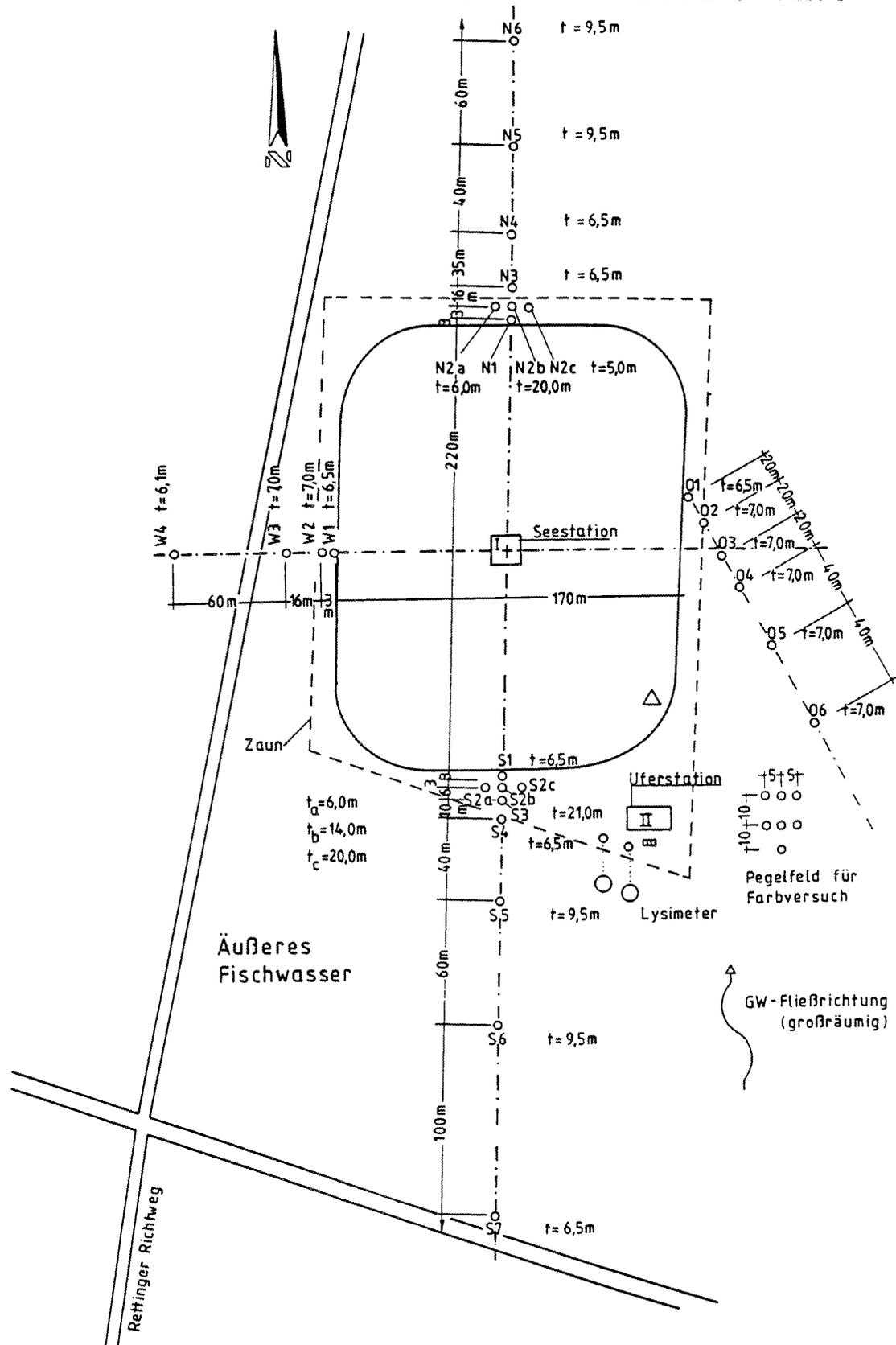
2. Methodik

Seit 1975 werden regelmäßige chemische Untersuchungen des Grundwassers von 24, zeitweise von 28 Grundwasserentnahmebrunnen rings um den Baggersee "Testsee" bei Langenbrücken in der nordbadischen Ober-rheinebene auf monatlicher Basis ausgeführt. Der See ist 3,4 ha groß und hat eine Tiefe von 15 m. Die Grundwasserbrunnen wurden in seinem Umkreis in allen Richtungen angelegt und erreichten Tiefen zwischen 6,5 und 21 m unter dem durchschnittlichen Grundwasserniveau (Abb. 1, S. 46). Wasserproben wurden aus diesen Grundwasserbrunnen, nachdem das Wasser zunächst 15 Min. lang mit einer Förderleistung von 20 l/min abgepumpt worden war, entnommen, um das Aufsammeln von stagnierendem Wasser im Bohrloch zu vermeiden. Die Proben wurden durch PO_4 -freie Membranfilter ($0,45 \mu$) filtriert und innerhalb von 24 Stunden nach der Entnahme analysiert. Die Bestimmung der vorherrschenden Ionen erfolgte nach den DEV, mit Ausnahme des Sulfates, das turbidometrisch nach GOLTERMAN und CLYMO (1969).

Kalzium und Magnesium wurden atomabsorptiometrisch in der Flamme gemessen, Natrium und Kalium durch Flammen-Immissions-Photometrie. Von den Ionen, die in geringeren Konzentrationen auftraten, wurden Ammonium, Nitrit, Orthophosphat, Eisen und Silikat nach den DEV bestimmt. Elektrische Leitfähigkeit und pH wurden in der unfiltrierten Probe bei 20° C im Laboratorium gemessen. Gelöster organischer Kohlenstoff wurde durch Trockenverbrennung bei 900° C mit dem TOC/UNOR-Infrarot-Analysengerät (Firma Maihak, Hamburg) bestimmt. Die Temperatur des Grundwassers wurde mit einem Quecksilberthermometer während des Abpumpens des Wassers gemessen. Proben zur Bestimmung des Sauerstoffs und freier Kohlensäure wurden in 135 ml-Glasstopfenflaschen gesammelt, die Probe zur Sauerstoffbestimmung nach WINKLER fixiert und beide bis zur Analyse kühl aufbewahrt.

Abb. 1: Lageplan des Testsees, Bad Langenbrücken

TESTSEE BAD LANGENBRÜCKEN



3. Ergebnisse

Im folgenden werden die Untersuchungsdaten von 1975 bis 1979 im Hinblick auf ihre zeitliche und örtliche Variation erörtert. Da der Hauptfluß des Grundwassers in nord-nordöstlicher Richtung erfolgt (LfU 1977), sollen hier zunächst die Grundwasseruntersuchungen der in Nord-Süd-Richtung gelegenen Brunnen diskutiert werden.

Zeitliche Veränderungen:

Wie aus den Abb. 2 - 8 (S. 49 - 54) ersichtlich, zeigt das Grundwasser beträchtliche Schwankungen in physikalischer und chemischer Hinsicht. Beim Grundwasser um den Testsee waren langfristige und kurzfristige Veränderungen zu erkennen. Die kurzfristigen Veränderungen lassen sich nicht durch chemische oder meteorologische Faktoren erklären. Ihre Ursache liegt möglicherweise an plötzlichen, kurz andauernden Veränderungen in der Geschwindigkeit und Richtung des Grundwasserstroms, besonders wenn die Grundwassereigenschaften wenig homogen sind, wie es im Oberstrom des Testsees der Fall war. Aus hydrologischen Untersuchungen des Testsees ist bekannt, daß der Grundwasserabfluß starken Schwankungen unterliegt (LfU 1977).

Langfristige Veränderungen im Grundwasserchemismus können sich über Perioden von mehr als einem Jahr erstrecken und stehen in der Regel mehr oder weniger stark mit dem Wechsel der meteorologischen Bedingungen in Beziehung. Regenfälle und Verdunstung, die chemische Schwankungen im Grundwasser bewirken, scheinen hierbei die Hauptfaktoren zu sein. Nach den Untersuchungen von SCHNEIDER (1973) war zu vermuten, daß mit steigendem Grundwasserstand die Mineralbelastung des oberen Grundwasserkörpers ansteigt. Bei unseren Untersuchungen ergab sich, daß Silicat, Sulfat und die Leitfähigkeit in ihren Schwankungen im besonderen Maße Beziehungen zu Grundwasserspiegelschwankungen aufwiesen, und zwar im besonderen Maße im oberstromigen Grundwasser.

3.1 Temperatur

Die jährliche Fluktuation der Temperatur im oberstromigen Grundwasser des Sees liegt zwischen 10 und 12° C, im unterstromigen Grundwasser zwischen 6 und 20° C. Die Jahresganglinien der Temperatur unterstromig zum Testsee verliefen phasenungleich mit den Seewassertemperaturen und zeigen an, daß Seewasser durch den Seeboden permiiert. NIEMAYER (1978) ist der Auffassung, daß der Hauptwärmetransport vom See in den Grundwasserunterstrom durch Advektion zustande kommt. Unter dieser Voraussetzung läßt sich die Temperatur zum Erkennen von Wasserbewegungen im Grundwasser unterhalb des Sees verwenden und ebenfalls das Mischungsverhältnis von Seewasser und Grundwasser im Grundwasserunterstrom berechnen.

3.2 Chloride

Chlorid gilt im allgemeinen als konservatives Element und die im Grundwasser vorliegenden Konzentrationen sind im wesentlichen geologisch bedingt. Neuerdings spielt die Zufuhr durch Salzstreuung auf Straßen oder durch Luftverunreinigung und Niederschläge ebenfalls eine Rolle. Im Grundwasser um den Testsee treten kurzfristige Schwankungen der Chloridkonzentration auf, die sich nicht durch Veränderungen des Grundwasserflusses erklären lassen und möglicherweise ihre Ursache in Verschmutzungseffekten haben. In der Zeit von 1975 bis 1978 nahm der Chloridge-

halt des Sees von durchschnittlich 37 mg/l auf 44 mg/l zu. Dieses Verhalten ist invers gegenüber den langfristigen Seespiegelveränderungen und steht möglicherweise in Beziehung zu überwiegend trockenen Wetterverhältnissen. Die Veränderungen der Natrium-Ionenkonzentrationen sind ganz ähnlich.

3.3 pH

Die Schwankungen des pH-Wertes im Grundwasser sind nicht groß, sie liegen zwischen 7 und 7,5 im oberstromigen Grundwasser und zwischen 7,5 und 8 im unterstromigen; jahreszeitlich bedingte Schwankungen sind nicht zu erkennen.

3.4 Elektrische Leitfähigkeit

Bei der elektrischen Leitfähigkeit, die weitgehend dem Gesamtsalzgehalt entspricht, sind kurzfristige und langfristige Schwankungen zu verzeichnen. Im oberstromigen Grundwasser bestehen Beziehungen zu Grundwasserspiegelschwankungen. Einige lokale Varianten in den jahreszeitlichen Trends lassen sich möglicherweise durch lokal unterschiedliche landwirtschaftliche Nutzung erklären. Der Schwankungsbereich im oberstromigen Grundwasser beträgt 800 bis 1 100 μS und im unterstromigen Bereich 600 bis 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

3.5 Freie Kohlensäure

Die Schwankungen im oberstromigen Grundwasser liegen zwischen 0,2 und 0,8 mM/l und sind im unterstromigen Grundwasser geringer als 0,2 mM/l. Eine erkennbare langfristige Schwankung scheint in Beziehung zu Zeiten geringen Grundwasserabflusses zu stehen, was die Meinung von SCHNEIDER (1973) bestätigen würde.

3.6 Alkalinität

Entsprechend den niedrigen pH-Werten wird die Alkalinität vorwiegend durch Hydrogenkarbonat-Ionenkonzentration bestimmt. Kurzfristige und langfristige Schwankungen sind erkennbar, die sich jedoch nicht eindeutig interpretieren lassen. Wahrscheinlich spielen als Ursache dafür chemische Wechselwirkungen mit Bodenpartikeln und das Gleichgewicht von Carbonat eine Rolle. Der Schwankungsbereich lag im oberstromigen Grundwasser zwischen 4,5 und 5 mM/l und im unterstromigen Grundwasser zwischen 3 und 4,5 mM/l. Bei der Zunahme der Alkalinität spielt auch in der Regel die Zunahme des Kieselsäuregehaltes eine Rolle.

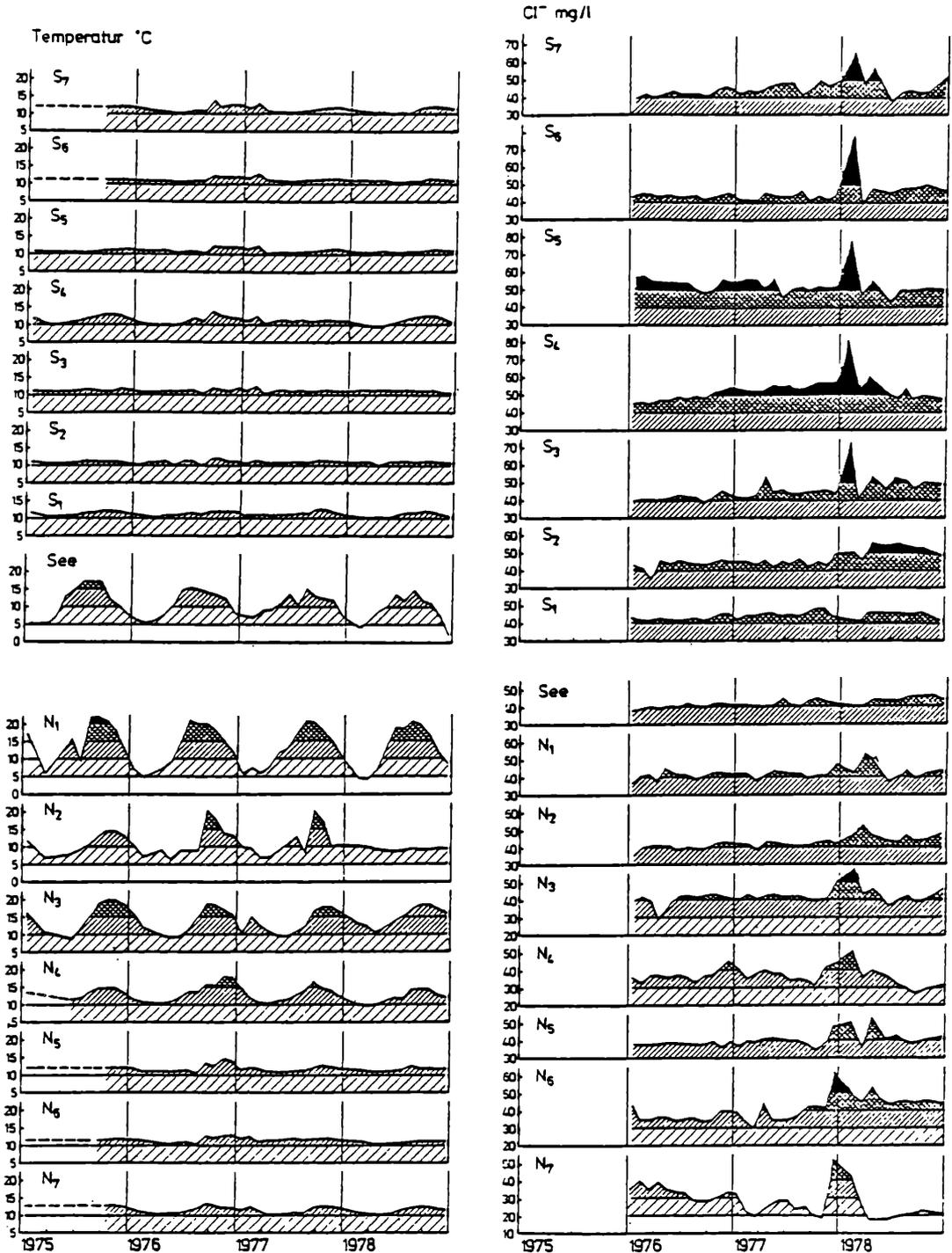
3.7 Nitrat

Die sehr hohen Nitratwerte im Areal des Testsees in der Größenordnung von 20 bis 50 mg N/l wird man der intensiven Benutzung von Düngemitteln in der Landwirtschaft zuschreiben müssen. Beim Nitrat ergeben sich kurzfristige und langfristige Variationen, die in einigen Entnahmebrunnen mit den Grundwasserspiegelschwankungen korrelieren. Im Seewasser und den Seesedimenten wird ein großer Teil der Nitrate durch Überführung in gasförmigen Stickstoff verloren. Es ist bekannt, daß dieser Typ der Nitratreduktion unter Bedingungen niederen Sauerstoffgehaltes und nahe dem Neutralpunkt des pH optimal verläuft (WUHRMANN u. MECHSNER 1964). Diese Bedingungen sind weit verbreitet im Grundwasser dieser

Abbildungen 2 - 8:

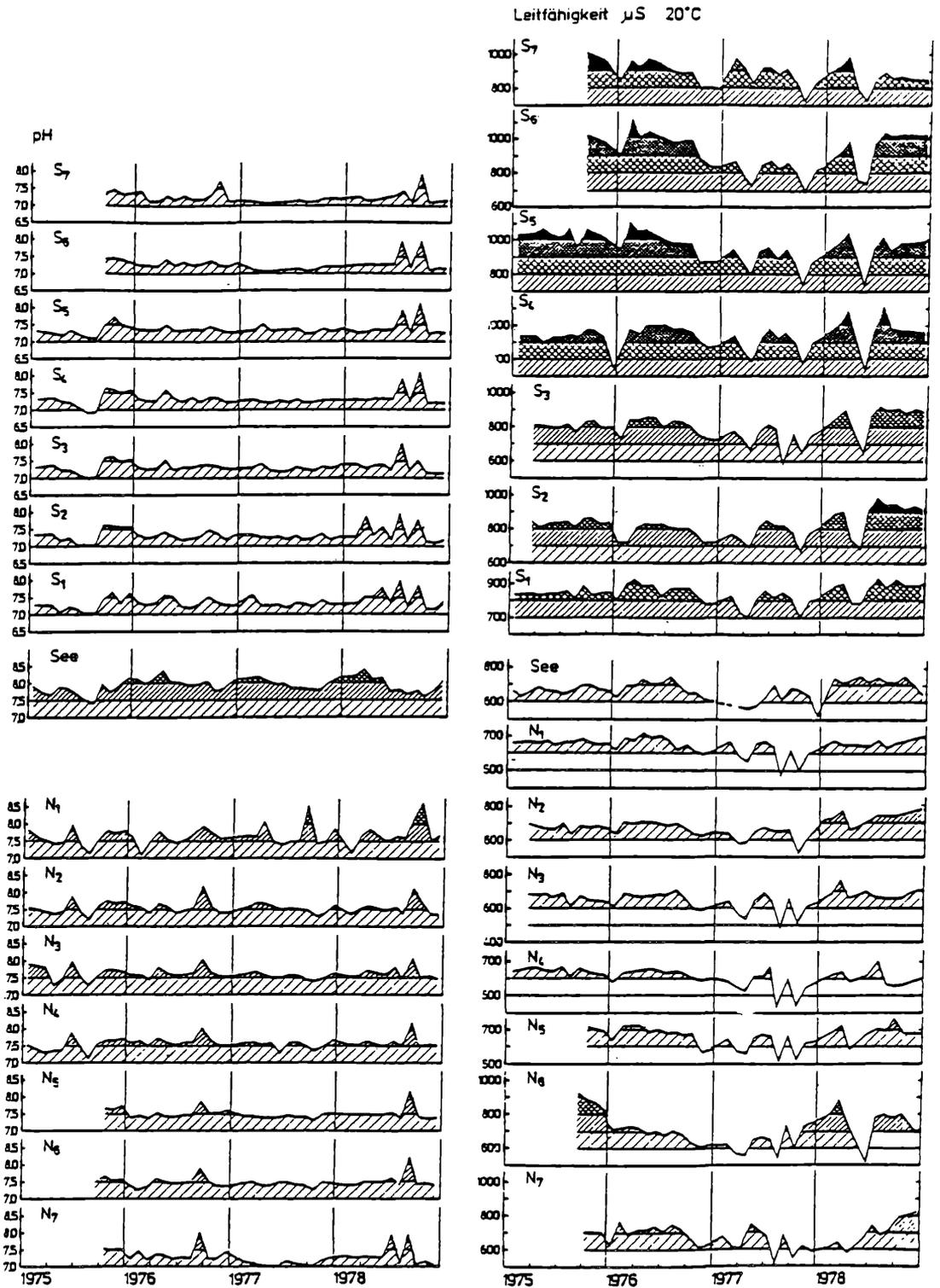
Monatliche Veränderungen der chemischen Zusammensetzung des Testseewassers und seines umgebenden Grundwassers in der Süd-Nord-Richtung

Abb. 2:



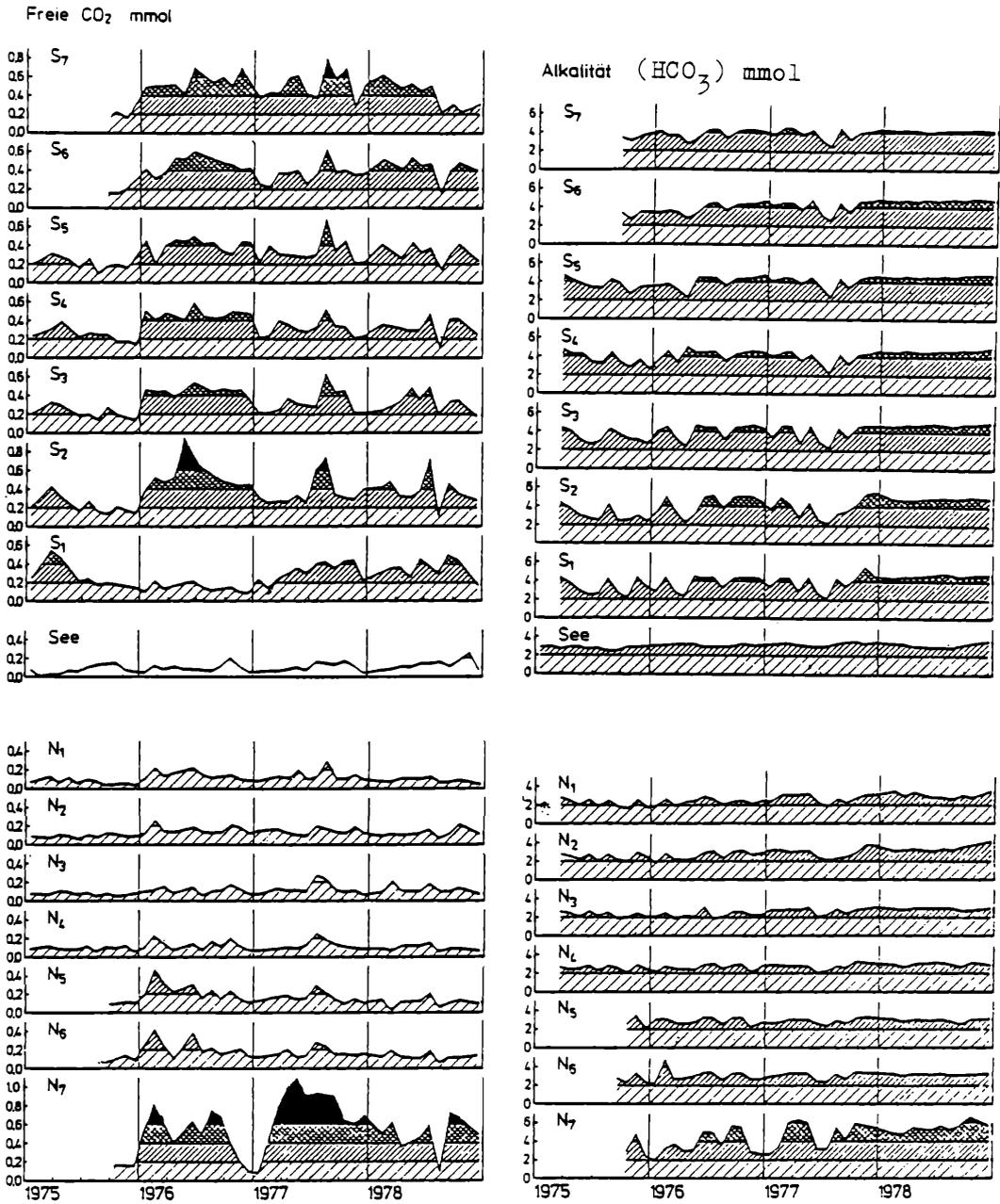
Verlauf der Temperatur und des Chloridgehaltes, im umgebenden Grundwasser nördlich und südlich des Testsees.

Abb. 3:



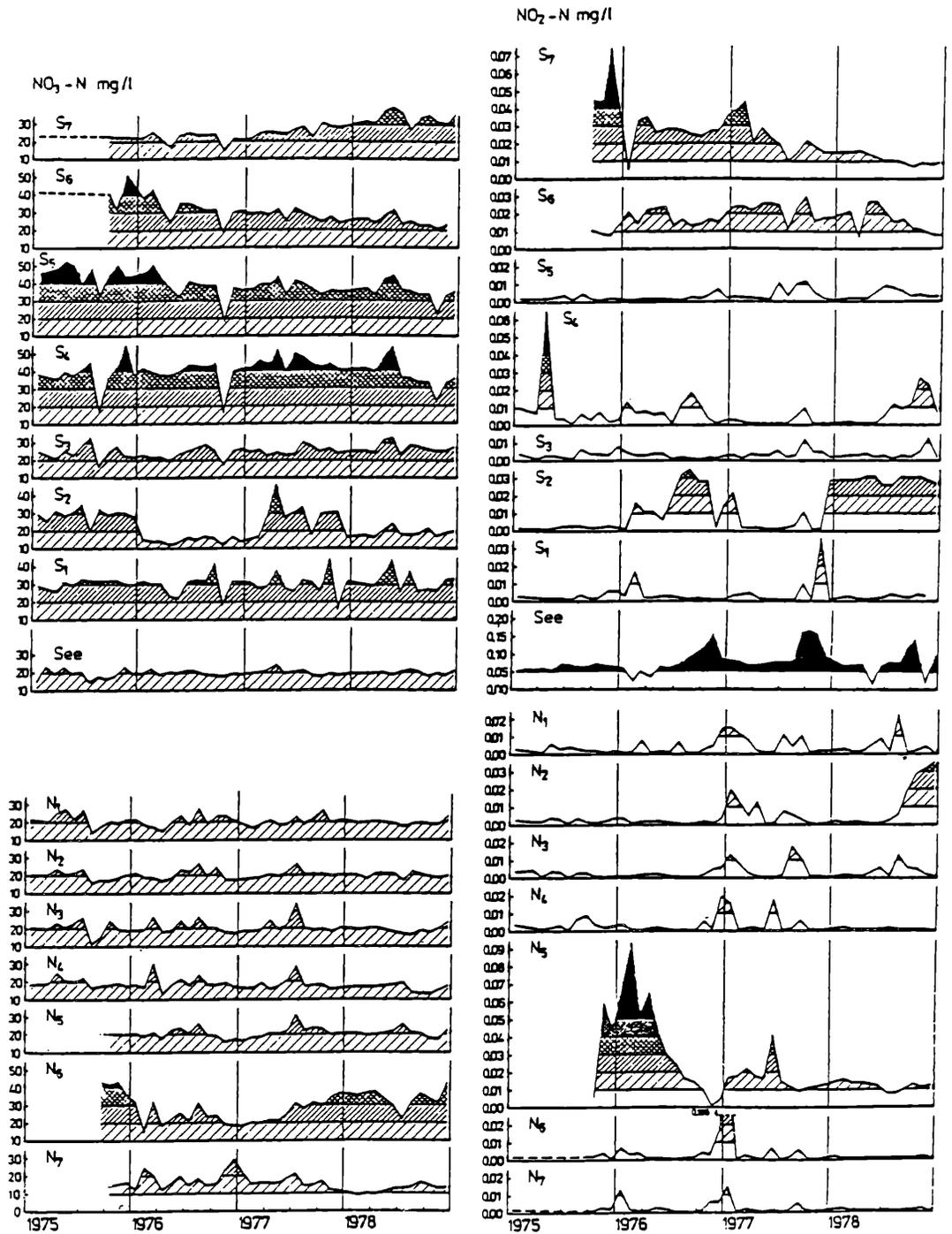
Verlauf des pH und der Leitfähigkeit, im umgebenden Grundwasser nördlich und südlich des Testsees.

Abb. 4:



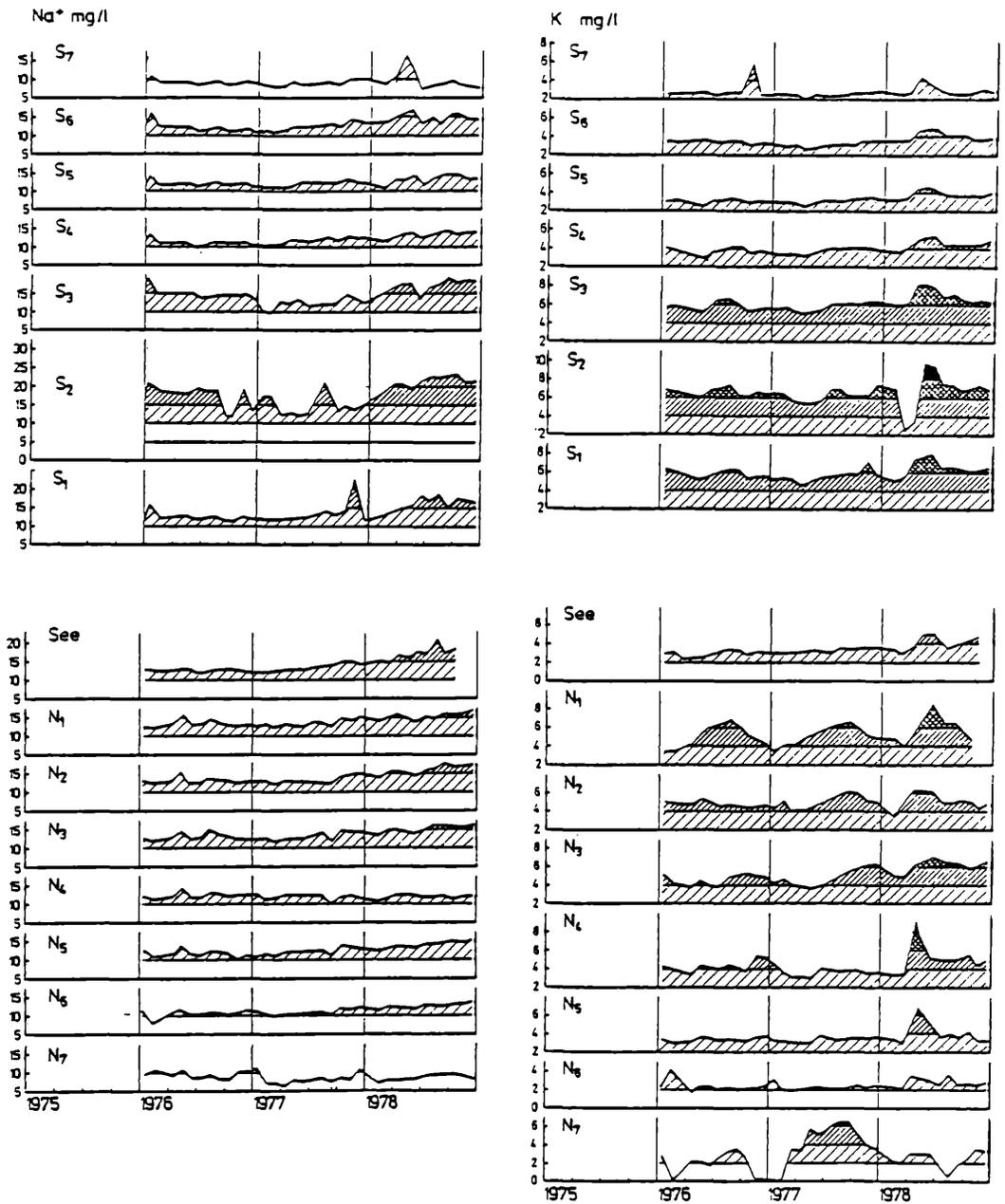
Verlauf des freien Kohlenstoffdioxides und der Alkalität, im umgebenden Grundwasser nördlich und südlich des Testsees

Abb. 5:



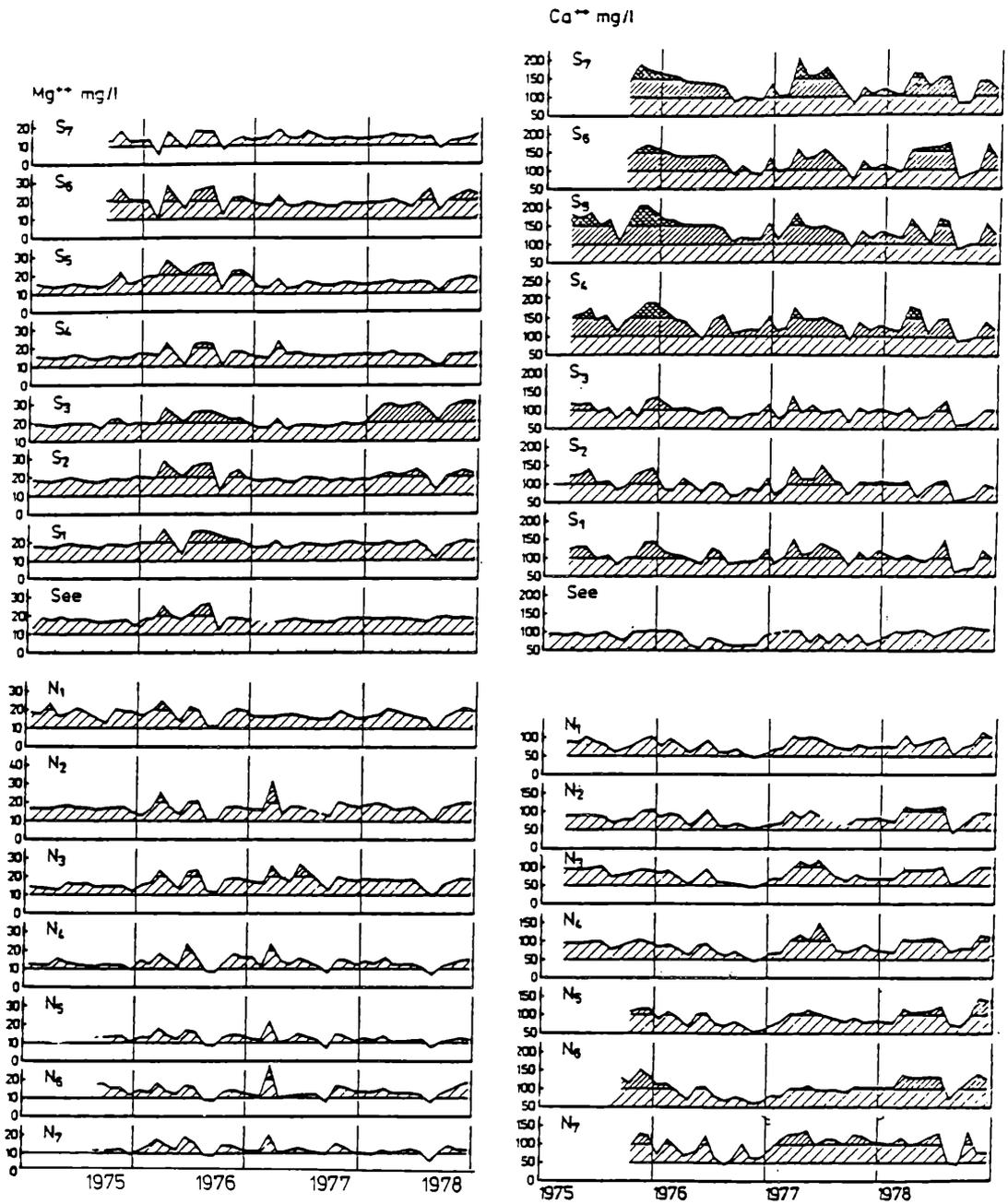
Verlauf des Nitrat - und Nitrit-gehaltes,
 im umgebenden Grundwasser nördlich
 und südlich des Testsees.

Abb. 6:



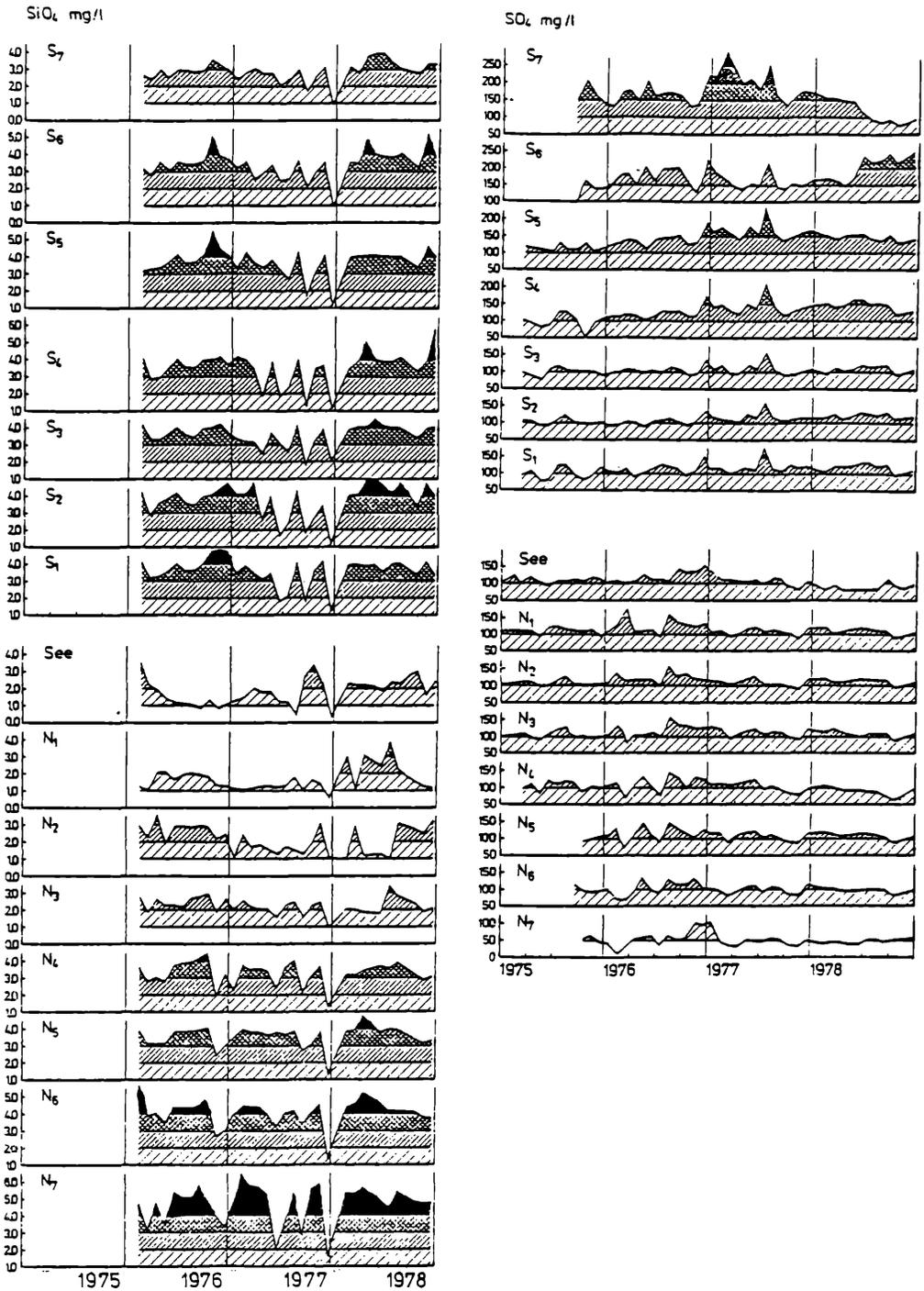
Verlauf des Kalium - und Natrium-
 gehaltes, im umgebenden Grund-
 wasser nördlich und südlich
 des Testsees.

Abb. 7:



Verlauf des Calcium - und Magnesium-
 gehaltes im umgebenden Grundwasser
 nördlich und südlich des Testsees

Abb. 8:



Verlauf des Silikat - und Sulfat-
 gehaltenes, im umgebenden Grund-
 wasser nördlich und südlich
 des Testsees.

Gegend. Die sehr hohen Nitratkonzentrationen beschränken sich auf das Gelände um den See, das intensiv landwirtschaftlich genutzt wird. Die Nitratkonzentrationen zeigten im Grundwasser während der Untersuchungsperiode insgesamt einen abnehmenden Trend.

3.8 Nitrit

Beim Nitrit treten große jahreszeitliche Schwankungen im Bereich von 0,000 bis 0,090 mg N/l auf. Nitrit ist ein Zwischenprodukt bei der Reduktion von Nitrat. Einige Grundwasserbrunnen zeigen eine Schwankung des Nitrits von Jahr zu Jahr, die invers zum Nitratgehalt korreliert ist und auch zu den Grundwasserspiegelschwankungen (Brunnen S 2 und N 5 im Grundwasser unterhalb landwirtschaftlich kultivierten Landes).

3.9 Natrium

Die lokalen und zeitlichen Schwankungen liegen zwischen 7 und 25 mg/l und laufen im wesentlichen parallel mit den Schwankungen des Chlorids und Grundwasserspiegels. Die durchschnittliche Konzentrationszunahme von 12 bis 18 mg/l in der Zeit von 1975 und 1979 ist stöchiometrisch größer als die der Chloride. Sie muß auf eine zusätzliche Verschmutzungsquelle zurückzuführen sein, vielleicht der Minereraldüngung, oder auf einem bevorzugten Austausch mit Kalziumpartikeln des Bodens beruhen.

3.10 Kalium

Der Schwankungsbereich liegt zwischen 3 und 9 mg/l. Es zeigen sich deutliche jahreszeitliche Fluktuationen im unterstromigen Grundwasser, die sich in Beziehung setzen lassen zur Infiltrationsrate des Seewassers und auch den Temperaturvariationen im unterstromigen Grundwasser entsprechen.

3.11 Magnesium

Die beobachteten Konzentrationsschwankungen zwischen 10 und 20 mg/l und ihr jahreszeitlicher Verlauf erscheinen derzeit nicht deutbar.

3.12 Kalzium

Der Schwankungsbereich lag zwischen 50 und 200 mg/l. Zeitliche Fluktuationen sind besonders im oberstromigen Grundwasser ausgeprägt. Im unterstromigen Grundwasser erscheinen die Schwankungen invers gegenüber denen des Silikats und gleichsinnig zu denen des Sulfats.

3.13 Silikate

Die Konzentrationsschwankungen lagen zwischen 1 und 6 mg Si/l. Im Seewasser wird Silikat im Sommer durch Algen aufgebraucht und wird während des Winters wieder rückgelöst. Im unterstromigen Grundwasser treten ähnliche Konzentrationsschwankungen auf. Im oberstromigen Grundwasser stehen die Konzentrationsschwankungen des Silikats in Bindung mit Bewegungen des Grundwassers.

3.14 Sulfat

Die Konzentrationsschwankungen im Grundwasser lagen zwischen 50 und 250 mg/l, ihr zeitlicher Verlauf ist invers zu den Grundwasserspiegelschwankungen.

4. Schlußfolgerungen bezüglich der zeitlichen Schwankungen

Im zeitlichen Verlauf der Konzentrationsschwankungen einzelner chemischer Komponente im Grundwasser um den Testsee bestehen keine erkennbaren Zusammenhänge der Komponenten untereinander. Dies mag auf folgende Faktoren zurückzuführen sein:

1. Große Differenzen im Chemismus auf engem Raum, die im allgemeinen landwirtschaftlichen Verschmutzungsquellen zugeschrieben werden müssen.
2. Jahreszeitliche Unterschiede und auch solche von Jahr zu Jahr bei der Benutzung von mineralischen und organischen Düngestoffen.
3. Unterschiedliche Wanderungsgeschwindigkeit von Ionen und Molekülen entlang der Sandablagerungen im Untergrund, wie sie von GAILLARD (1979) beobachtet wurden.
4. Einzelne Ionen-Arten mit unterschiedlicher geochemischer Aktivität können auf Grundwasserspiegelschwankungen unterschiedlich reagieren, nämlich in der Konzentration zunehmen oder abnehmen.
5. Als weiterer Faktor kann die mikrobiologische Aktivität in bezug auf Ionenarten, wie Nitrat, Sulfat und Karbonat, eine Rolle spielen.
6. Einige Ionen, wie Phosphat und Eisen sind unter anaeroben Bedingungen und in Gegenwart von hohen Nitratkonzentrationen fest an das Sediment gebunden und zeigen dann keinerlei zeitlichen Schwankungen im Grundwasser. Durch die hohen Nitratkonzentrationen bleibt auch bei niedrigen Sauerstoffgehalten das Redoxpotential hoch genug, um Rücklösung von Eisen und daran gebundens PO_4 zu verhindern (RIPL 1979).

In den Abb. 9 - 11 (S. 58) werden über 3 Monate fortlaufende Analysenwerte des ober- und unterstromigen Grundwassers in Mittelwerten zusammengefaßt; dadurch entfallen die kurzzeitlichen Veränderungen. Aus den Abb. 9 - 11 folgt, daß die zeitlichen Variationen einiger chemischer Bestandteile im oberstromigen und unterstromigen Grundwasser weitgehende Phasengleichheit zeigen, wie z.B. elektrische Leitfähigkeit, Alkalinität, Nitrat, Chlorid, freie Kohlensäure, Kalzium, Natrium und Kalium; andere Stoffe, wie Magnesium, Sulfat und Silikat besitzen dagegen keinen gleichphasigen Verlauf. Bei der erstgenannten Gruppe ergibt sich eine Tendenz der Ganglinien direkt oder invers zu den Grundwasserspiegelschwankungen. Sie lassen sich entweder durch den von SCHNEIDER angenommenen Anreicherungsmechanismus oder einfach durch Verdünnung erklären.

4.1 Örtliche Veränderungen

Das Schema der Ionenverteilung im Grundwasser um den See herum soll im folgenden deutlich gemacht werden durch die Zusammenstellung der Resultate in der Hauptfließrichtung des Grundwassers in Nord-Süd-Richtung unter Einbeziehung des Sees (Abb. 12 - 15, S. 59). Dabei zeigt sich eine offensichtliche Abnahme von Mineralstoffkonzentrationen im See und seiner unmittelbaren Nachbarschaft im Grundwasser. Der Einfluß des Seewassers läßt sich in unterstromiger Richtung auf eine beträchtliche Distanz verfolgen. Da dieses Verhalten sogleich nach der Ausbaggerung des Sees zu verzeichnen war, muß angenommen werden, daß die Mineralstoffabnahme im Seewasser und angrenzenden Grundwasser bereits während des Ausbaggerns sich eingestellt hatten. Eine Abnahme von Hydro-

Abbildungen 9 11:

Zeitliche Veränderung der chemischen Zusammensetzung des oberstromigen \circ und unterstromigen Grundwassers \bullet jeweils über 3 Monate gemittelt

Abb. 9:

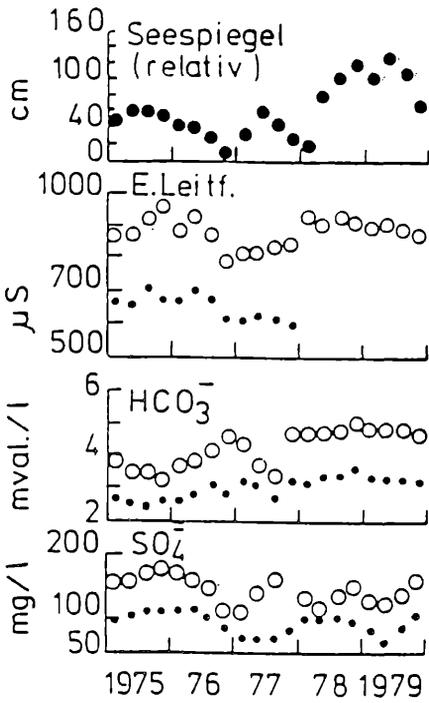


Abb. 10:

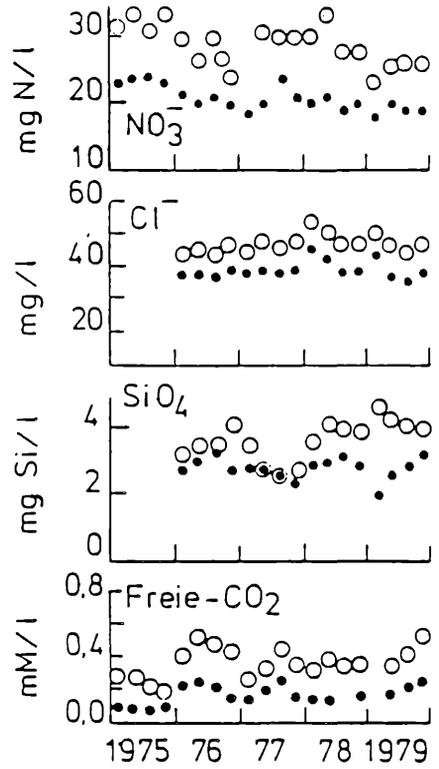
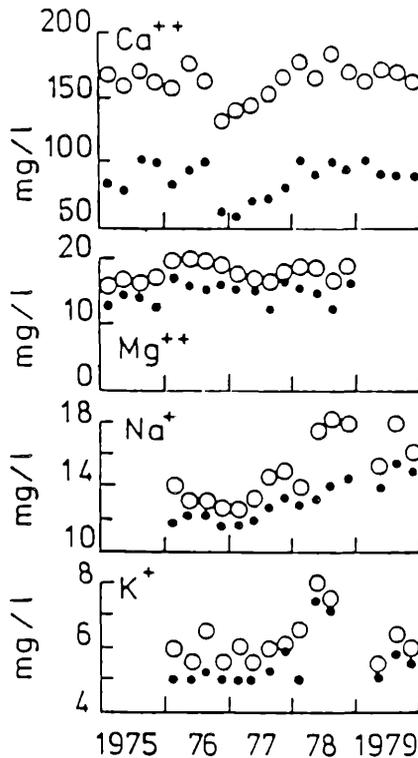


Abb. 11:



Abbildungen 12 15:

Räumliche Verteilung der chemischen Zusammensetzung des oberstromigen und unterstromigen Grundwassers sowie des Seewassers (Mittelwerte über 5 Jahre)

Abb. 12:

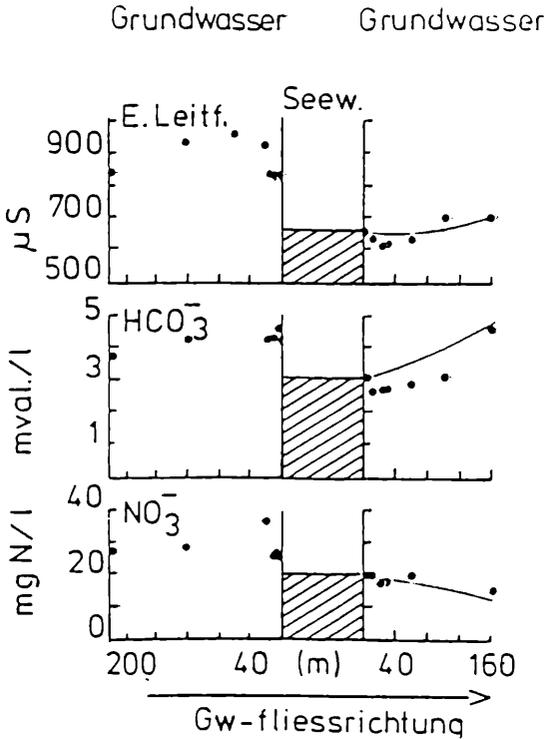


Abb. 13:

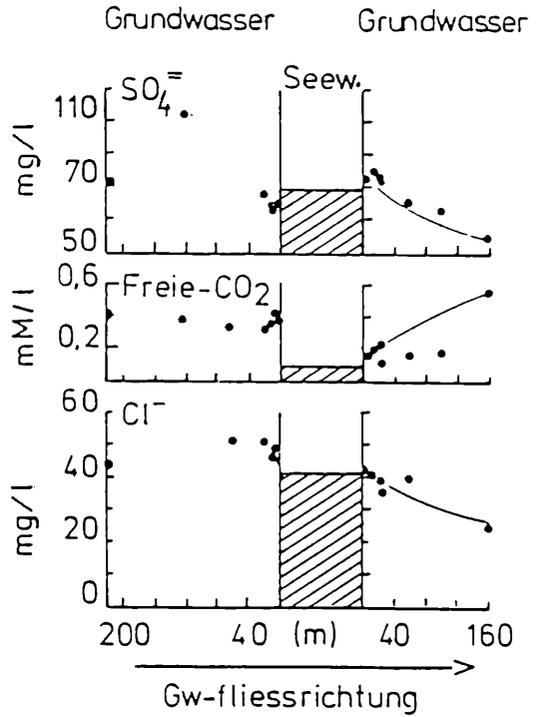


Abb. 14:

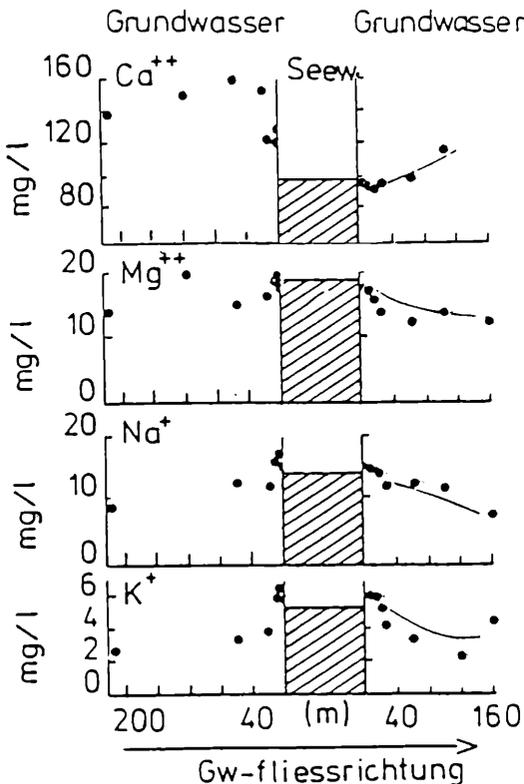
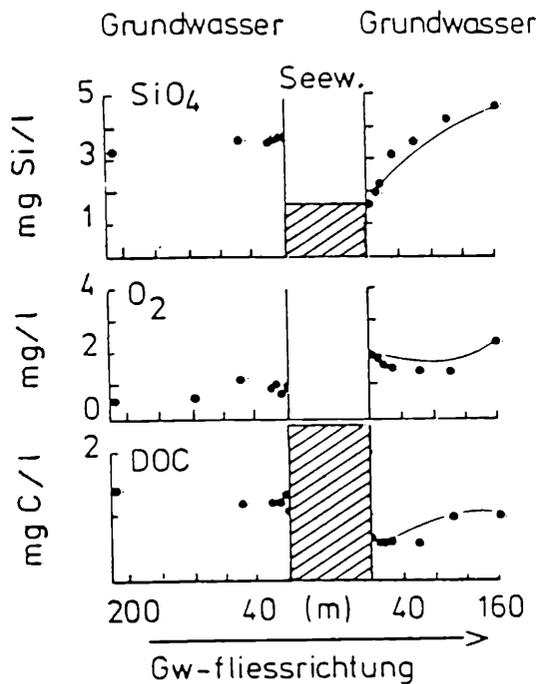


Abb. 15:



genkarbonat, Kalzium und Nitrat auf ähnliche Konzentrationen wie sie im See beobachtet wurden, ließ sich auch experimentell mit Grundwasser, das belüftet oder geschüttelt wurde, erreichen.

4.2 Mineralische Ablagerungen

Die Daten der Tabelle 1 erlauben es, die Verluste an Mineralstoffen abzuschätzen. Hier wurden die geometrischen Mittelwerte der Ionen-Konzentrationen von oberstromigem Grundwasser, Seewasser und unterstromigem Grundwasser einander gegenübergestellt. Aus der Differenz zwischen durchschnittlichem oberstromigem Grundwasserchemismus und Seewasserchemismus läßt sich das Ausmaß der Ausfällung von Mineralstoffen und der Verluste durch Nitratreduktion abschätzen.

	Oberstromiges Grundwasser		Seewasser		Unterstromiges Grundwasser	
	mg/l	mequ/l	mg/l	mequ/l	mg/l	mequ/l
HCO ₃ ⁻	257.0	4.22	189.1	3.10	205	3.36
SO ₄ ⁻	88.0	1.74	62.0	1.29	61	1.28
NO ₃ ⁻ -N	30.5	2.18	20.0	1.43	21.8	1.56
Cl ⁻	47.3	1.33	40.0	1.13	38.6	1.09
Ca ⁺⁺	148.0	7.40	96.0	4.80	110.0	5.50
Mg ⁺⁺	17.5	1.40	19.0	1.52	13.5	1.08
Na ⁺	12.0	0.52	14.0	0.61	12.0	0.52
K ⁺	3.6	0.09	5.2	0.13	4.2	0.11
o-PO ₄ ⁻ -P	0.012		0.003		0.010	
SiO ₄ -Si	3.40		1.80		3.78	
BH ₄ -N	0.131		0.077		0.096	
NO ₂ -N	0.014		0.083		0.008	
G-Fe	0.087		0.074		0.085	
DOC	1.25		2.40		0.62	
O ₂	0.9		11.80		2.00	
BOD ₅	0.83		1.41		0.62	
pH*	9.30		7.92		7.46	
E.cond.20°C µS	910		660		670	

*) pH-Einheiten

Entsprechend der Tabelle 2 (S. 61) müssen etwa 106 t Mineralstoffe durch das Ausbaggern verloren gegangen sein, davon 81 t als ausgefällte Substanzen und 25 t als Stickstoffverluste durch Denitrifikation. Bei der Ausfällung ist das Kalzium die größte Komponente, und zwar hauptsächlich in der Form von Kalziumkarbonat. Kalzium-Verluste können jedoch auch durch Ionen-Austausch zustandekommen, da Magnesium, Natrium und Kalium im Seewasser eine größere Konzentration erreichten als im

Grundwasser. SCHLOZ (1980) berichtet über solche Austauscherscheinungen im Grundwasser von Karstregionen. Über den Aufbau von Sedimentschichten am Seeboden bei einer derartigen Mineralverlustrate wie beim Testsee ergibt sich folgendes Bild:

Aus der Differenzrechnung angenommenen jährlichen Sedimentationsmengen ergeben bei gleichmäßiger Verteilung über den Seeboden einen Betrag von 2,4 kg/m², was bei einem angenommenen spezifischen Volumen der Sedimentstoffe von 0,38 ml/g eine jährliche Sedimentzunahme von 0,9 mm ergibt, d.h. der Aufbau einer 1 m dicken Sedimentschicht würde über 1000 Jahre benötigen, vorausgesetzt, daß das Seewasservolumen einmal jährlich durch zuströmendes Grundwasser ersetzt wird.

Tabelle 2: Berechneter Mineralienmassenverlust oder -gewinn am Ende des Ausbaggern des Testsees		
	kg/Gesamtsee kg/whole lake	kg/m ²
HCO ₃ ⁻	37 166.1	1.093
SO ₄ ⁻	11 750.4	0.345
NO ₃ ^{-*}	25 296.0	0.744
Cl ⁻	3 862.4	0.114
Ca ⁺⁺	28 288.0	0.832
Mg ⁺⁺	+ 816.0	0.024
Na ⁺	+ 1.126.0	0.033
K ⁺	+ 870.4	0.023

* = Stickstoffrespiration
 (-) = Sedimentation
 (+) = Freisetzung

4.3 Infiltration

Die Infiltration des Wassers vom Testsee in den nördlichen, unterstromig gelegenen Aquifer konnte in einer Entfernung von 94 m verfolgt werden. Dabei nehmen die hohen Konzentrationen von Kalium, Natrium und Magnesium im Testseewasser ab, wenn dieses in den Untergrund eintritt. Zum Teil liegt das an der eintretenden Durchmischung und damit bedingten Konzentrationsverdünnung mit Grundwasser, zum Teil kann auch Ionen-Austausch mit Kalzium eine Rolle spielen. Dies wird deutlich, wenn tatsächliche Meßwerte verglichen werden mit den theoretischen Verdünnungskurven der Ionen. Die mengenmäßigen Proportionen der Zumischungen von Grundwasser lassen sich aus dem Vergleich der Chloridkonzentrationen in den Beobachtungsbrunnen N1 und N7 erschließen. Die Verhältnisse im einzelnen sind aus den Abb. 12 - 15 (S. 59) zu entnehmen. Daraus geht auch hervor, daß Kalium, Magnesium und Hydrogenkarbonat von den Bodenpartikeln aufgenommen werden, während Sulfat, Silikat und Kalzium abgegeben werden.

Die gelösten organischen Stoffe, gemessen als DOC, erreichten im See eine durchschnittliche Konzentration von 2,4 mg C/l. Diese Menge wird unterstromig im Untergrund nach Austritt aus dem See in einer Distanz

von 3 m auf einen Betrag von 0,6 mg C/l abgebaut. Dies bedeutet, daß die organische Substanz im See in erheblich höherem Maße aus biodegradierbarem Material besteht als im ursprünglichen Grundwasser.

Der Sauerstoff des Seewassers wird innerhalb der ersten 3 m im Untergrund nach der Infiltration bereits zu 90 % aufgebraucht. Trotzdem verbleibt im unterstromigen Grundwasser ein etwas höherer Sauerstoffgehalt als im oberstromigen.

Die Nitratgehalte zeigen in einem Fall in Disharmonie mit Trends anderer Ionen eine Zunahme im Grundwasserunterstrom. In diesem Fall stellte sich heraus, daß die Quelle für diese Nitratzunahme in der intensiven landwirtschaftlichen Kultur zu suchen war.

Die durchschnittlichen Phosphorkonzentrationen betragen 12 mg P/m³ im oberstromigen Grundwasser. Im See reduzieren sich die Konzentrationen auf 3 mg P/m³, im unterstromigen Grundwasser steigen sie wieder auf 10 mg P/m³ an. Daraus ist zu schließen, daß Phosphor im See aus dem Durchflusssystem des Grundwassers entfernt wird, und zwar durch Sedimentation. Unter der Annahme einer Austauschrate des Seewassers von 1 pro Jahr und gleichmäßiger Sedimentation über dem Seeboden ergibt sich eine Sedimentationsrate von 0,14 gP/m². Bezogen auf die oben errechnete Gesamtsedimentation von 2,4 kg/m² müßte der Phosphorgehalt des Sedimentes 0,06 mg P/g Trockengewicht betragen. Bestimmungen des Phosphorgehaltes entnommener Sedimentproben ergaben allerdings 25-fach höhere Phosphoranteile (1,5 mg P/g).

Vergleicht man die Stoffkonzentrationen des oberstromigen mit dem unterstromigen Grundwasser, so kommt man zu der Schlußfolgerung, daß man in verschiedener Hinsicht durch das Ausbaggern die Grundwasserqualität verbessert. So vermindern sich die Mineralstoffkonzentrationen im Grundwasser insgesamt. Auch der Gehalt an organischem Stoff ist im unterstromigen Wasser niedriger als im oberstromigen, obwohl die organischen Stoffe im See selbst erheblich höhere Konzentrationen annehmen. Die Zunahme an organischen Stoffen im Seewasser ist in erster Linie auf pflanzliche Photosynthese zurückzuführen, die zur Bildung von abbaubarer organischer Substanz führt. Diese Stoffe werden nicht nur, wie die Bilanz zeigt, im See und im unterstromigen Infiltrationsbereich restlos abgebaut, sondern zuzüglich ein Teil der Substanzen, die aus dem oberstromigen Grundwasser in den See gelangen und im Grundwasser, möglicherweise in Verbindung mit dem Sauerstoffmangel, offenbar weniger rapide abgebaut werden. Dieses Phänomen wurde übrigens auch bei anderen Baggerseen, in denen eine Grundwasserprobeentnahme in der Nachbarschaft erfolgen konnte, beobachtet.

Offenbar werden einige Ionen im See durch Austauschvorgänge durch Kalzium zusätzlich in Lösung gebracht. Allerdings werden sie bei der anschließenden Infiltration des Seewassers offenbar wieder im Untergrund zurückgehalten, so daß sie die unterstromige Wasserqualität nicht beeinflussen.

Das vielleicht wichtigste Untersuchungsergebnis ist die Tatsache, daß Nitrat-verunreinigtes Grundwasser durch den Baggersee zu einem guten Teil durch Denitrifikationsvorgänge in seinem Nitratgehalt vermindert wird. Insofern kann eine potentiell gefährliche Anreicherung des Nitrats durch Überdüngung z.T. durch Aufbaggern des Grundwassers wieder wettgemacht werden. Auch tritt im See keine Verschlechterung der Grundwasserqualität durch die Primärproduktion der Algen ein, weil diese Mehrproduktion durch entsprechende Dekomposition wieder beseitigt

wird. Die Gegenwart von Sauerstoff in dem geöffneten und dadurch belüfteten Grundwasser begünstigt die Oxidationsvorgänge im Gegensatz zu den ursprünglichen Verhältnissen im Grundwasser. Das System entspricht daher einer teilnatürlichen Kläranlage, wie sie von ROTT (1977, 1978) konzipiert worden ist. Hierbei wird verunreinigtes Grundwasser mit sauerstoffreichem Wasser behandelt, ein Vorgang, welcher in den Kiesseen auf natürliche Weise geschieht.

Die räumliche Verteilung der chemischen Substanzen lehrt uns, daß die Auswirkung der Landwirtschaft auf die obere Bodenschicht eine Verschlechterung der Grundwasserqualität herbeiführen kann, besonders wenn ohne mengenmäßige Kontrolle organische Düngungs-Prozeduren verwendet werden. Die Nitratzufuhr scheint jedoch in der Weise begünstigend, daß extreme anaerobe Verhältnisse mit sehr niedrigem Redoxpotential und damit Freisetzung von Eisen, Mangan, Ammonium und Phosphat in Grenzen hält. Bei aller Problematik hoher Nitratkonzentrationen im Grundwasser scheint es, daß ein gewisser Nitratbetrag wünschenswert ist, wenn im Aquifer Verhältnisse geringerer Sauerstoffkonzentration herrschen.

In der räumlichen Verteilung der Ionen und des Wärmegehaltes in der Umgebung von Baggerseen besteht eine gewisse Gegensätzlichkeit. Auf der einen Seite trifft man kühleres Wasser mit mineralstoffreicherem an, auf der anderen wärmeres und mineralstoffärmeres. KLEY und NIESKENS (1975) haben die Möglichkeit der Benutzung des Aquifers als Wärmereservoir untersucht. Es erscheint naturgemäß auch möglich, die auf natürliche Weise in Baggerseen gespeicherte Wärme in Wintermonaten zu nutzen oder auch die Ionen-Differenz von Grundwasser und Seewasser in einem technischen System auf der Grundlage der osmotischen Zelle. Wahrscheinlich hat auch der Unterschied in der nur geringen Temperaturfluktuation im Grundwasser oberstrom im Vergleich zu den starken Temperaturfluktuationen im Grundwasserunterstrom nicht unwesentliche ökologische Auswirkungen auf Makro- und Mikroorganismen im Grundwasser.

Der unklarste Punkt in der Hydrologie der Baggerseen ist die Frage, ob eine Sedimentation zu einer Unterbrechung in der Permeabilität des Wasseraustausches führt. Zwar ist der Betrag der Mineralstoffsedimentation, wie oben gezeigt wurde, nur unbedeutend und das Zustandekommen von Ablagerungen von Meterdicke erfordert einen Zeitraum von einigen Tausend Jahren. Dennoch könnte trotzdem ein Abdichtungseffekt in viel kürzerer Zeit erfolgen. Berichte darüber, daß Baggerseen vollständig impermeabel für den Grundwasserdurchlaß geworden sind, liegen bisher nicht vor. Nach NIEMEYER (1978) ergibt sich in einer Modellstudie, daß eine vollständige Undurchlässigkeit von Baggerseen nicht erreicht wird und daß Infiltrationen besonders im oberen Uferbereich des Sees erfolgen. ERB (1965) berichtet über seine Arbeiten über die Uferinfiltration, daß selbst wenn man 90 % einer Uferfläche abdichtet, dennoch 90 % der Wassermengen gegenüber dem vorherigen Zustand permeieren. In den Baggerseen werden gewöhnlich die oberen Uferpartien durch Wind und Wellen ständig angegriffen, so daß feinere Sedimente nur im tieferen Wasser zum Absetzen kommen.

Insgesamt kann man schließen, daß die Auswirkung von Baggerteichen auf das umgebende Grundwasser vom chemischen Standpunkt unschädlich ist, wenn nicht sogar günstig für den Fall, daß ein bereits verschmutztes Grundwasser vorliegt. Selbstverständlich setzt dies voraus, daß nicht irgendwelche schädlichen Stoffzufuhren oder Einleitungen von Abwässern in den Baggersee erfolgen.

Zusammenfassung

Hydrochemische Untersuchungen an Baggerseen in Baden-Württemberg haben ergeben, daß sie in ihrer Wasserqualität dem umgebenden Grundwasser ähneln. Einige Unterschiede stellen sich jedoch während des Ausbaggerns ein, wobei der Gehalt von einigen Ionen abnimmt und von anderen zunimmt. Insgesamt nimmt der Gesamtsalzgehalt im Vergleich zu dem des ursprünglichen Grundwassers ab. Während eines sechsjährigen Studiums eines solcher Seen, des "Testsees" bei Langenbrücken, war es möglich, zeitliche und räumliche Veränderungen im Gewässer selbst und seiner Umgebung mittels 29 Grundwasserbrunnen zu verfolgen. Die zeitlichen Veränderungen in der Grundwasser- und Seewasserqualität weisen Beziehungen zu den vorherrschenden meteorologischen Bedingungen sowie zum Grundwasserabfluß auf. Örtliche Veränderungen können dem Fließverhalten des Grundwassers in der Umgebung des Sees, Auswirkungen der Landwirtschaft (Intensivdüngung in dem umliegenden Gelände) und auch dem See selbst zugeschrieben werden, der als Öffnung des Grundwassers für den Gasaustausch mit der Atmosphäre sowie auch für den Energieaustausch wirksam ist. Es konnte berechnet werden, daß etwa 3 kg/m^2 , bzw. $0,2 \text{ kg/m}^3$ Salzverlust im See durch Niederschläge, Ausfällung und andere physikalische Prozesse sowie auch durch Denitrifikation bereits während des Ausbaggerns oder kurz danach eintritt.

Etwa $1/10$ bis $1/3$ dieser Stoffumsetzungen erfolgen jährlich durch den Austausch des Grundwassers mit dem Seewasser. Wenn man bedenkt, daß der See in seinem gegenwärtigen Zustand (keine Nutzung für Fischerei, Baden und Wassersport) einen Gleichgewichtszustand im Mineralstoff- und Nährstoffgehalt erreicht hat und sich Produktion und Konsumption organischen Materials ausbalanciert haben, so bedeutet dies, daß Stoffzu- und Stoffabstrom sich ebenfalls im Gleichgewicht befinden. Zu- und Abstrom erfolgen hauptsächlich durch Infiltration zwischen Grundwasser und Seewasser und umgekehrt. Diskutiert wird hierbei auch die Deponie von Mineralstoffen durch Ausfällung auf dem Seeboden.

Literatur

DEV (1976):

Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. Fachgruppe Wasserchemie in der Gesellschaft Deutscher Chemiker, Dritte Auflage, Verlag Chemie GmbH, Weinheim

ERB, C. (1965):

Die Sicherströmung in Erdstaudämmen geringer Höhemitteilung des Inst. f. Wasserwirtschaft, Hydrobiologie und landwirtschaftl. Wasserbau der TU Hannover, H. 7

GAILLARD, B. (1976):

Méthode de traceurs pour la détermination des paramètres des transports de substances en solution dans l'eau des aquifères. These présentée à l'Université scientifique et médicale de Grenoble; Band I (Textband) 118 S., Band II, 81 Abb., Grenoble 26. Juni 1976

GOLTERMANN, H.G. & R.S. CLYMO (1969):

Methods for chemical analysis of Freshwater. IBP Handbook No.8, Blackwell Scientific Publ., Oxford & Edinburgh

KLEY, W. & H.G. NIESKENS (1975):

Möglichkeiten der Wärmespeicherung in einem Porengrundwasserleiter und technische Probleme bei der Rückgewinnung der Energie. Ztschr. Deutsche Geol. Ges. Bd. 126, S. 397-409

LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (1977):

Wasserwirtschaftliche Untersuchungen, Baggerseen, 2. Bericht

NIEMEYER, R. (1978):

Hydrologische Untersuchungen an Baggerseen und Alternative der Folgenutzung. Mitteilungen Lehrstuhl f. landwirtschaftl. Wasserbau und Kulturtechnik. Heft 3, Bonn, S. 217

RIPL, W. (1979):

Natural and induced sediment rehabilitation in hypertonic lakes Proc. Workshop on hypertonic ecosystem - in Press.

ROTT, U. (1977):

Verbesserung der Grundwasserqualität im Boden durch Beeinflussung des Redoxpotentials, SFB 79, Wasserforschung im Küstenbereich, TU Hannover, Techn. Bericht 22, Dezember

ROTT, U., P.W. BOOCHS & G. BAROVIC (1978):

Unterirdische Grundwasseraufbereitung durch Einleitung von sauerstoffhaltigem Wasser in den Boden. Wasser und Boden, 30, (8), 206-211

SCHLOZ, W. (1980):

Anmerkungen zur Hydrochemie des Karstgrundwassers der östlichen Schwäbischen Alb. Laichinger Höhlenfreund, 15, (1), 37-42

SCHNEIDER, H. (1973):

Die Wassererschließung Grundlagen der Erkundigung, Bewirtschaftung und Erschließung von Grundwasservorkommen in Theorie und Praxis. Vulkan Verlag, Essen

WÜHRMANN, K. & K. MECHSNER (1964):

Über den Einfluß von Sauerstoffspannung und Wasserstoffionenkonzentration des Milieus auf die mikrobielle Denitrifikation. Schweiz. Mikrobiol. Ges. Genf

Anschrift des Verfassers:

Dr. M.W. Banoub
Landesanstalt für Umweltschutz
Hebelstraße 2
7500 Karlsruhe

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Laufener Spezialbeiträge und Laufener Seminarbeiträge \(LSB\)](#)

Jahr/Year: 1980

Band/Volume: [6_1980](#)

Autor(en)/Author(s): Banoub M.W.

Artikel/Article: [Über hydrochemische Veränderungen des oberen Grundwassers in der Umgebung von Baggerseen 44-65](#)