

Wechselwirkungen zwischen Baggerseen und Grundwasser

Ergebnisse isotopenhydrologischer und hydrochemischer
Untersuchungen im Teilprojekt 6 des Forschungsvorhabens
„Konfliktarme Baggerseen (KaBa)“

Bearbeiter: BRUNO BERTLEFF
HANS PLUM
JOACHIM SCHUFF
WILLIBALD STICHLER
DIETHARD H. STORCH
CHRISTIAN TRAPP

Freiburg i. Br. 2001

ISSN 0940-0834

Herausgeber: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg
Albertstraße 5, D-79104 Freiburg
Telefon (0761) 204-4375, Fax (0761) 204-4438
E-Mail schriftleitung@lgrb.uni-freiburg.de
Internet <http://www.lgrb.uni-freiburg.de>

Bearbeiter: Dr. B. BERTLEFF, Dr. H. PLUM, Dipl.-Ing. J. SCHUFF, Dr. W. STICHLER, Priv.-Doz. Dr. D. H. STORCH & Dr. CH. TRAPP

Redaktion: Priv.-Doz. Dr. DIETHARD H. STORCH

Satz, Gestaltung: HEIKE MERKT & ANGELIKA HERR

Druck: Poppen & Ortmann KG, Unterwerkstraße 5, D-79115 Freiburg

Februar 2001

Vorwort

Die Rohstoffgewinnung und langfristige Sicherung der Rohstoffvorkommen und der Schutz des genutzten und nutzbaren Grundwasserdargebots führen oft zu Konflikten, deren Lösung eine sachbezogene, fachlich fundierte Beurteilung erfordert. Das Gewinnen von Kies und Sand berührt daher grundsätzlich wasserwirtschaftlich–hydrogeologische Belange, u. a. auch Fragen des quantitativen und qualitativen Grundwasserschutzes.

Um differenziertere Strategien entwickeln zu können, die sowohl den Bedürfnissen nach einer gesicherten Rohstoffversorgung als auch nach einem effektiven Grundwasserschutz Rechnung tragen, sind umfangreiche Kenntnisse der jeweiligen hydrogeologischen Situation erforderlich. Das im Rahmen des Projekts „Konfliktarme Baggerseen“ (KaBa) gemeinsam von LfU, LGRB, GSF und ISTE durchgeführte Forschungsvorhaben hat zum Ziel, dafür die fachlichen Grundlagen zu liefern.

Die hier vorgestellten Ergebnisse vor allem isopenhydrologischer und hydrochemischer Untersuchungen belegen die komplexen Wechselwirkungen zwischen Baggerseen und Grundwasser.

Die Ergebnisse des Projekts dienen einer Versachlichung der Diskussion und sind Anregung zu weiteren wissenschaftlichen Untersuchungen zu diesem Thema, die bereits begonnen haben.

Prof. Dr. H. Schneider

Präsident des Landesamts für Geologie,
Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg



Blick auf den Waldsee im Landkreis Emmendingen, Fläche 2,5 ha, mittlere Tiefe 5 m

Foto: Trapp

Kurzfassung

Die komplexen Wechselwirkungen zwischen Baggerseen und dem Grundwasser wurden nach einer Auswahl aus rund 100 Baggerseen an acht repräsentativen Baggerseen untersucht. Ziel der Untersuchungen war, die Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit bei der Baggerseepassage qualitativ und quantitativ zu erfassen und die wichtigsten Einflussfaktoren zu ermitteln. Zur Beurteilung der Auswirkungen des Kiesabbaus auf das Grundwasser sind neben Kenntnissen der limnologischen Verhältnisse auch fundierte Kenntnisse der jeweiligen hydrogeologischen Situation erforderlich.

Die ausgewählten Baggerseen und das Grundwasser oberstromig und unterstromig der Seen wurden mit hydrogeologischen, isotopehydrologischen und hydrochemischen Methoden untersucht. Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich über rund zwei Jahre. Der Messumfang beinhaltete Vorortparameter (T, LF, O₂, pH-Wert), hydrochemische Analytik (Gesamthärte, Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, NH₄, Cl, SO₄, HCO₃, NO₃, H₂SiO₃ sowie die Spurenstoffe P, Pb, Al, Cr, As und bei einem See F) und Isotopengehaltsbestimmungen (²H, ¹⁸O). Von diesen Parametern wurden Vertikalprofile, Zeitreihen und flächige Verteilungen an Stichtagen gemessen. Organische Substanzen und die mikrobiologische Beschaffenheit des See- und Grundwassers gehörten nicht zum Untersuchungsumfang.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind, getrennt für die einzelnen Baggerseen, in acht separaten Berichten ausgewertet und umfassend dokumentiert.

Anhand der Isotopengehaltsbestimmungen konnten für das Grundwasser unterstromig der jeweiligen Baggerseen die Seewasseranteile bestimmt werden. Die mit Hilfe der Isotopendaten ermittelten Abstandsgeschwindigkeiten liegen zwischen 0,5 und 2 m/d und zeigen eine gute Übereinstimmung mit den aus den hydraulischen Kennwerten abgeschätzten Geschwindigkeiten. Die mittleren Aufenthaltszeiten des Grundwassers in den Seen liegen zwischen < 0,7 und 8,7 Jahren.

In Bezug auf die untersuchten hydrochemischen Parameter zeigen die Ergebnisse, trotz der unterschiedlichen Trophiezustände der untersuchten Baggerseen, keine nachhaltigen negativen Auswirkungen der Seen auf das unterstromige Grundwasser. Auswirkungen auf die Temperatur und die Sauerstoff-Konzentrationen des Grundwassers sind auf den direkten Nahbereich beschränkt. Weiterreichende Auswirkungen auf die Grundwasserbeschaffenheit infolge der Baggerseepassage sind eine Teilenthärtung, bei oxidierenden Grundwasserverhältnissen die Verringerung der Nitrat-Konzentrationen, in geringerem Umfang der Sulfat-Konzentrationen, sowie bei reduzierenden Grundwasserverhältnissen ein Rückgang der Eisen- und Mangan-Konzentrationen. Unter bestimmten Randbedingungen kann ein Baggersee somit als effektive Stoffsenke wirken und zu einer Verbesserung der Grundwasserqualität führen. Diese Befunde stimmen überein mit den Ergebnissen anderer, bisher durchgeführter Studien zu diesem Thema.

Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die untersuchten Seen nicht alle der möglichen Randbedingungen abdecken. Somit gelten diese Aussagen nur unter den folgenden Einschränkungen:

- Bei stark erhöhten Schadstofffrachten in der Staub- oder Niederschlagsdeposition sind negative Auswirkungen auf die See- und eventuell auch auf die Grundwasserqualität denkbar. Ein entsprechend starker Anstieg ist derzeit jedoch nur im Rahmen von Katastrophenszenarien vorstellbar und würde sich in gleicher Weise auf jedes uferfiltrierte Grundwasser auswirken (z. B. Schadstofffreisetzung nach einem Chemieunfall).
- Ein massiver Schadstoffeintrag durch belastete oberirdische oder oberflächennahe Randzuflüsse und oberirdische Fließgewässer kann zu einer nachhaltigen Verminderung der Seewasserqualität und damit auch der Qualität des unterstromigen Grundwassers führen.
- Alle untersuchten Seen werden nur für Freizeit und Angelsport genutzt bzw. noch zur Kiesgewinnung betrieben. Die Beurteilung der Auswirkungen anderer Nutzungen war nicht Gegenstand der Untersuchungen.
- Keiner der untersuchten Baggerseen ist stockwerksübergreifend angelegt. Durch eine hydraulische Verbindung getrennter Grundwasserstockwerke (so vorhanden) besteht grundsätzlich die Möglichkeit negativer Auswirkungen auf die Grundwasserbeschaffenheit durch eine Verlagerung von geogen belasteten Grundwässern in höhere und von anthropogen belasteten Grundwässern in tiefere Stockwerke.

- Die Grundwasserfließgeschwindigkeiten im Umfeld der untersuchten Seen sind mit Werten bis 2 m/d relativ gering. Bei höheren Fließgeschwindigkeiten, wie sie im Alpenvorland z. T. nachgewiesen wurden, können sich auch die unterstromigen Auswirkungen über größere Entfernungen erstrecken.

Als wichtige Voraussetzungen für die Anlage von Baggerseen sind im Hinblick auf den Grundwasserschutz zu nennen:

- Anlage des Baggersees unter Berücksichtigung der Grundwasserfließverhältnisse.
- Gestaltung der Baggerseemorphometrie nach limnologischen Erfordernissen.
- Bei hydrochemischen Kontrasten kein stockwerksübergreifender Abbau.
- Bei ordnungsgemäßer Kiesgewinnung, Kiesaufbereitung und Kiesverarbeitung ist ein Eintrag von grundwassergefährdenden Substanzen im Gefolge der Kiesgewinnung nicht zu erwarten. Besonderes Augenmerk ist jedoch auf den Einsatz von Hilfsstoffen, wie z. B. Flockungsmitteln, zu richten.
- Schutz vor belasteten oberirdischen Zuflüssen.
- Umweltverträgliche Folgenutzungen, die nicht mit größeren Einträgen von eutrophierungsrelevanten Stoffen oder Schadstoffen in den Baggersee verbunden sind.
- Keine Einlagerung von Fremdmaterial in Baggerseen.

Insgesamt zeigen die durchgeführten Untersuchungen im Grundwasser unterstromig der Baggerseen für einzelne Parameter Veränderungen, die aufgrund der geringen Reichweite der Beeinflussung nicht als nachteilig zu beurteilen sind. Einzelne Parameterveränderungen können hinsichtlich der Grundwasserbeschaffenheit sogar positiv beurteilt werden.

Summary

Complex lake–groundwater interactions in dredging lakes (artificial groundwater lakes in gravel pits) were the subject of a research program in the last few years. Among 100 lakes, a totality of eight lakes was selected for detailed investigations. These eight lakes represent various geometric properties (ratio of water surface to depth of lake) as well as lakes with various hydraulic connection to the groundwater flow system. The detection of qualitative and quantitative changes in groundwater hydrochemical composition during lake passages and their controlling factors was the aim of the study. The evaluation of gravel mining impacts on downgradient groundwater requires a sound understanding of the individual hydrogeological and limnological situation.

The eight lakes as well as upgradient and downgradient groundwater were studied by means of geohydraulic, isotope and hydrochemical techniques. The study covered a period of two years. In general, all measuring points were sampled on a monthly basis. Sampling locations of special interest provided weekly data. The measured characteristics of the groundwater included physico-chemical parameters (temperature, conductivity, oxygen, pH-value), chemical parameters (Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, NH_4 , Cl, SO_4 , HCO_3 , NO_3 , and H_2SiO_3), trace elements (P, Pb, Al, Cr, As, and only for one lake F), and stable isotopes (^2H and ^{18}O). Organic substances and the microbiological quality of lake water and groundwater were not subject of the study.

The results of the investigations have been comprehensively documented in eight separate reports.

The rate of lake water in downgradient groundwater could be determined on the basis of stable isotope contents. Additionally, mean groundwater flow velocities between 0,5 and 2 m/d could be derived from stable isotope contents. These values match the data estimated from hydraulic calculations. The mean residence times of water in the lakes range between <0,7 and 8,7 years.

Despite various trophic conditions in the lakes, the results of hydrochemical investigations carried out show no lasting negative impact on downgradient groundwater quality. Impact on groundwater temperature and oxygen content is restricted to the downgradient aquifer areas in close proximity to the lakes. Impact on downgradient groundwater quality beyond the close proximity can be identified: Oxidizing aquifer conditions

force the decrease of nitrate and partially of sulfate, reducing aquifer conditions lead to a decrease of iron and manganese contents. In general, total dissolved solids in groundwater are reduced after the lake passage. Under certain boundary conditions the lakes represent a mass sink for the investigated dissolved solids in upgradient groundwater and improve downgradient groundwater quality. Our findings match the results of other, comparable studies.

Looking at the evaluation of the results, it has to be taken into account that the lakes studied do not represent all possible natural boundary conditions. Our statements are only valuable under the following restrictions:

- High contaminant loads in atmospheric depositions and precipitation can lead to a negative impact on lake water quality and possibly groundwater quality. The release of serious contaminant loads is restricted to disaster scenarios. In any way they would affect any groundwater derived from bank filtration (e. g. contaminant release after an accident).
- Massive contaminant loads in upgradient groundwater and inflowing surface waters can strongly reduce lake water quality and thus also the downgradient groundwater quality.
- All lakes studied are subject to recreational use, fishery, and gravel exploitation respectively. The evaluation of impact by different uses was not subject of this study.
- Although being partially situated in multi-layer aquifer systems, no lake studied penetrates confining layers between individual aquifers. Principally, the penetration of confining layers between individual aquifers can induce the upward migration of naturally contaminated or the downward migration of anthropogenically contaminated groundwater and thus, having a negative impact on groundwater quality in circulation systems.
- Mean groundwater flow velocities in the vicinity of the lakes studied are about 2 m/d and can be declared as relatively low. Higher flow velocities induce longer downgradient distances of impact.

The results of the investigation reported here indicate that it is possible to provide effective groundwater protection when the gravel pits are being carefully positioned and developed. Important prerequisites are:

- The lake must be set up with respect to the local groundwater flow situation.
- The lake's shape must be designed due to limnological requirements.
- The lake must not penetrate confining layers in case of hydrochemical contrasts between individual aquifers.
- Gravel exploitation, preparation, and processing have to be performed according to the rules. In this case an input of contaminants is not to be expected. Special attention has to be paid to substances harmful to groundwater, e. g. flocculation agents.
- The lake must be protected against contaminant loaded superficial influx.
- After gravel exploitation the lake shall be used in a way that ensures no or few input of nutrients into the lake water.
- No dumping of offsite material into a lake.

In general, the investigations in downgradient groundwater show changes in the concentrations of particular parameters. Due to the limitation of this impact to areas in close proximity to the lakes these changes are not evaluated harmful to groundwater quality in the downgradient aquifer. Changes in particular parameters can be evaluated as a benefit for downgradient groundwater quality.

Inhalt

		Seite
1	Einleitung und Zielsetzung	10
2	Bisheriger Kenntnisstand	11
3	Grundlagen für die Untersuchung von Baggerseen	12
3.1	Hydraulische Grundlagen	12
3.2	Hydrochemische Grundlagen	12
3.2.1	Einflussfaktoren	12
3.2.2	Kalk-Kohlensäure-System	12
3.2.3	Redox-Reaktionen	13
3.2.4	Biochemische Prozesse	13
3.3	Isotopenhydrologische Grundlagen	14
3.3.1	Isotopenfraktionierung	14
3.3.2	Mischung zwischen Seewasser und Grundwasser	16
3.3.3	Verweilzeit und Fließgeschwindigkeit des Grundwassers	16
3.3.4	Grundwasserzustrom und Mittlere Aufenthaltszeit	17
4	Untersuchungsumfang	19
4.1	Auswahl der Testseen	19
4.2	Probenahmestellen	19
4.3	Parameterumfang	20
4.4	Untersuchungszeitraum und Beprobungsrhythmus	20
4.5	Probenahmemodus	22
5	Beschreibung der untersuchten Baggerseen	23
5.1	Leissee	23
5.2	Epplesee	24
5.3	Waldsee/Hesselhurst	25
5.4	Binninger Baggersee	26
5.5	Apostelsee	27
5.6	Waldsee/Emmendingen	31
5.7	Bechinger See	32
5.8	Alter Vogelbaggersee	33
6	Untersuchungsergebnisse	36
6.1	Allgemeines	36
6.2	Oberstromiges Grundwasser	36
6.2.1	Grundwassertemperatur	36
6.2.2	Allgemeine hydrochemische Charakteristik	39
6.2.3	Calcium, Magnesium, Hydrogenkarbonat, Gesamthärte, pH-Wert	39
6.2.4	Sauerstoff	41
6.2.5	Stickstoff, Schwefel	41
6.2.6	Eisen, Mangan	42
6.2.7	Natrium, Kalium, Chlorid	42
6.2.8	Silizium	42
6.2.9	Spurenelemente	42
6.3	Baggerseen	43
6.3.1	Grundwasserzustromraten, Mittlere Aufenthaltszeiten	43
6.3.2	Seewassertemperatur	45
6.3.3	Calcium, Magnesium, Hydrogenkarbonat, Gesamthärte, pH-Wert	45

	Seite
6.3.4 Sauerstoff	48
6.3.5 Stickstoff, Schwefel	48
6.3.6 Eisen, Mangan	48
6.3.7 Natrium, Kalium, Chlorid	49
6.3.8 Silizium	49
6.3.9 Spurenelemente	49
6.4 Unterstromiges Grundwasser	50
6.4.1 Seewasseranteile, Grundwasserfließgeschwindigkeiten	50
6.4.2 Grundwassertemperatur	52
6.4.3 Calcium, Magnesium, Hydrogenkarbonat, Gesamthärte, pH-Wert	52
6.4.4 Sauerstoff	53
6.4.5 Stickstoff, Schwefel	54
6.4.6 Eisen, Mangan	54
6.4.7 Natrium, Kalium, Chlorid	54
6.4.8 Silizium	55
6.4.9 Spurenelemente	55
7 Auswirkungen der Baggerseen auf die Grundwasserbeschaffenheit	56
7.1 Übersicht	56
7.2 Eintrag in den Baggersee	56
7.3 Austausch mit der Atmosphäre	57
7.4 Verlagerung durch Umwälzung	57
7.5 Fixierung von Substanzen	57
7.6 Stoffabbau	59
7.7 Bildung von Stoffen	60
7.8 Remobilisierung	60
7.9 Veränderung der Milieubedingungen	61
8 Bewertung der Ergebnisse	62
Literatur	63