

Preprint:

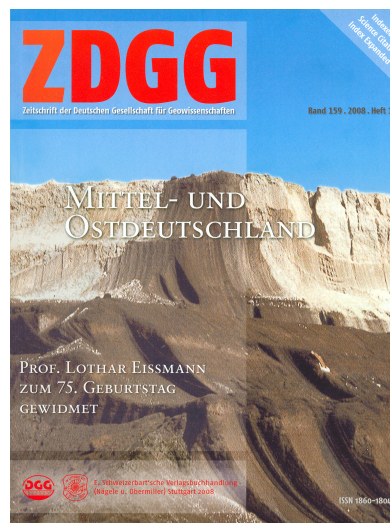
**Die anthropogenen Standgewässer der „Neuen Mitteldeutschen
Seenlandschaft“ (Neuseenland) – Überblick, hydrochemische
Typisierung, ausgewählte Beispiele**

**Hydrochemical und geochemical parameters of new developing lakes of the
Neuseenland (New Central German lake district) – an overview –**

W. Czegka¹⁾, F.W. Junge¹⁾, J. Hausmann²⁾, V. Kuchenbuch²⁾, R. Wennrich³⁾

aus:

**Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften (ZDGG)
Z.dt.Ges. Geowiss. 159/1 S.141-154**



Dieses Preprint beinhaltet Korrekturen. Das Erratum hierzu wird in Band 159/4 erscheinen
Layout und Paginierung dieses Preprints ist nicht identisch mit der in der ZDGG gedruckten Version

Die anthropogenen Standgewässer der „Neuen Mitteldeutschen Seenlandschaft“ (Neuseenland) – Überblick, hydrochemische Typisierung, ausgewählte Beispiele

Hydrochemical und geochemical parameters of new developing lakes of the Neuseenland (New Central German lake district) – an overview –

W. Czegka¹⁾, F.W. Junge¹⁾, J. Hausmann²⁾, V. Kuchenbuch²⁾, R. Wennrich³⁾

¹⁾ Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Akademievorhaben „Schadstoffdynamik in Einzugsgebieten“, Karl-Tauchnitz-Straße 1, 04107 Leipzig, E-Mail-Adresse: czegka@saw-leipzig.de, junge@saw-leipzig.de.

²⁾ Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie, Talstraße 35, 04103 Leipzig

³⁾ UFZ - Helmholtz Zentrum für Umweltforschung, Department „Analytik“, Permoserstraße 15, 04303 Leipzig, E-Mail-Adresse: rainer.wennrich@ufz.de

Zusammenfassung

In Mitteldeutschland entsteht durch die Flutung aufgelassener Braunkohletagebaue bis 2050 die größte von Menschen geschaffene technogene Seenlandschaft Europas. Dieses Neuseenland („Mitteldeutsche Seenplatte“) besteht aus zahlreichen größeren und kleineren Seen, die entsprechend ihrer Beschaffenheit zukünftig unterschiedlich genutzt werden sollen (Erholungssee, Brauchwasservorrat, Landschaftssee u.v.m.). Im Beitrag wird eine Übersicht über die zur Zeit bestehenden Seetypen, unter Berücksichtigung ihrer Genese, ihres Alters sowie ihrer natürlichen (Grundwasser) und anthropogen beeinflussten hydrochemischen Charakterisierung gegeben.

Abstract

In Central Germany one of the largest anthropogenic-technogenic lake landscape in Europe will be formed up to the year 2050 by flushing of the widely extended former open-cast lignite mines. This new Central German Lake district consists of many smaller and bigger lakes. These lakes will be used in future for various utilizations (landscape lake, recreation lake, water supply service lake). In this article we will give an overview of the current existing lake types on basis of their natural (e.g. geology, hydrogeological characteristics, water sources e.g.) and anthropogenic (e.g. history, mining and recultivation measures) influenced hydrochemical characteristics.

Schlüsselwörter: Deutschland, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Neuseenland, Bergbaufolgelandschaft, Seegenese, Braunkohleabbau, Hydrochemie, Rekultivierung, Bergbaufolgelandschaft, Wasser

Keywords: Germany, Saxony, Saxony-Anhalt, New Central German Lake district, lake genesis, lignite mining, hydrochemistry, remediation, mining landscape, water

1 Einleitung

Mitteldeutschland war im vorbergbaulichen Zustand einerseits durch mittelgroße und kleinere Flüsse in ausgeprägten, zum Teil bewaldeten Auenlandschaften, andererseits durch eine relative Armut an Standgewässern geprägt. Nach dem Trockenfallen des Salzigen Sees (8,7 km²) bei Eisleben 1892 blieb der unmittelbar benachbarte Süße See (2,1 km²) für die folgenden Jahrzehnte der größte See in der Region, die seit dem Mittelalter durch zahlreiche wasserbauliche Maßnahmen wie die Anlage von Fischteichen und Mühlgräben gestaltet wurde. Der „Leipziger Wasserknoten“ bildete dabei einen

Schwerpunkt. Alle bis dahin zu verzeichnenden Veränderungen wurden etwa ab 1900, intensiver ab 1930, durch die Auswirkungen und Begleiterscheinungen großflächiger Braunkohlentagebaue übertroffen. Mit dem Bedeutungsverlust der flächenhaften Braunkohleindustrie ab 1990 änderten sich diese Rahmenbedingungen grundlegend. Angesichts der Tagebauschliessungen Anfang der 90er Jahre wurden und werden die Tagebaurestlöcher in überschaubaren Zeiträumen planmäßig geflutet, um Standsicherheitserfordernissen und Nutzungsanforderungen gleichermaßen Rechnung zu tragen. Die ökonomische Neuorientierung der Region zielt u.a. auf die Entwicklung von Tourismus und Freizeitwirtschaft im Einklang mit der entstehenden Seenlandschaft. Zur besseren Landesgrenzen überschreitenden touristischen Vermarktung wurden der sich neubildenden mitteldeutschen Seenlandschaft der Name „Sächsisches Seenland“ oder „Neuseenland“ (teilweise auch Schreibweisen: Neuseenl@nd, oder NeuSeenland; englisch "New Central German Lake District": NCGLD) gegeben. Dieser hat sich erstaunlicherweise sowohl in der geografischen Regional- als auch in der täglichen Gebrauchsliteratur (Zeitung etc.) durchgesetzt.

Im Themenkomplex Standgewässer begleitet das Akademievorhaben „Schadstoffdynamik in Einzugsgebieten“ der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig (SAW) den Entstehungsprozess der Seen im Neuseenland mit dem Fokus auf Schadstoffe limnischer Systeme (Junge et al. 2005). Diese Arbeiten stehen in Fortführung früherer Schwerpunktuntersuchungen (z.B. Muldestausee: Zerling et al. 2001, Osternienburg: Kuchenbuch 2006, Kulkwitz: Hausmann 2006) obengenannten Akademievorhabens, dem seit 1994 Herr Professor Lothar Eissmann als Projektleiter vorsteht.

Auf der Basis aktuell erhobener hydrophysikalischer und hydrochemischer Daten, die Bestandteil eines eigens dafür aufgebauten "quasi temporalen GIS" sind (Czegka et al. 2006), wird eine regionale Typisierung der derzeit vorhandenen, überwiegend anthropogen geprägten Seen im Untersuchungsgebiet erarbeitet. Die erhobene Zusammenstellung bildet den Ausgangspunkt für Untersuchungen zur zukünftigen Entwicklung der Seen (Langzeitaspekt). Andererseits wird damit die Grundlage gelegt, um die an ausgewählten Seetypen begonnenen Detailuntersuchungen durch Einbeziehung weiterer, nach verschiedenen Kriterien (Alter, Entwicklungsstadium, hydrogeologisches Einzugsgebiet, Nutzung) ausgewählter Typusseen fortzusetzen und zu ergänzen.

Das Neuseenland umfasst das Mitteldeutsche Braunkohlenrevier i.e.S., also alle westlich der Elbe gelegenen Fördergebiete in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Im Norden bildet die Linie Osternienburg – Dessau – Gräfenhainichen (Elblineament), im Süden Altenburg – Zeitz (Mittelgebirgsschwelle) die Grenze. Im Osten wird das Untersuchungsgebiet (Area of Interest, im weiteren abgekürzt mit AOI) durch die Stauchendmöränen (Dahlen-Dübener Heide), im Westen durch das Mansfelder Land begrenzt.

Die zentralen Abbaugelände des Mitteldeutschen Braunkohlereviers sind:

- das Weißelsterbecken (Südraum Leipzig)
 - der Raum Delitzsch - Bitterfeld – Gräfenhainichen (Nordraum Leipzig)
 - das Halle-Merseburger Revier
- sowie weitere kleinere historische Abbaugelände (Osternienburg, Zeitz -Altenburg). Eine Übersicht ist in Abb. 1 gegeben.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es eine Übersicht über die zur Zeit im Untersuchungsgebiet vorhandenen, anthropogen entstandenen Standgewässertypen, unter Berücksichtigung ihrer Genese, ihres Alters sowie ihrer natürlichen (Grundwasser) und anthropogen (u.a. Flutungsregime) beeinflussten hydrochemischen Charakterisierung

zu geben. Im Untersuchungsgebiet befinden sich zur Zeit (2007) 595 größere Seen / Standgewässer unterschiedlicher Genese. Die maximale Fläche eines Sees beträgt 21 km², nur vier Seen besitzen eine Fläche > 10 km², im Mittel liegt die Seegrösse bei 0,47 km² (47 ha). Die Tabellen 1 und 2 geben einen Überblick.

2 Regionaler Rahmen

2.1 Naturräume des Untersuchungsgebietes – Hydrogeologische Einheiten

Das Untersuchungsgebiet (AOI) deckt sich im wesentlichen mit dem Saaleeinzugsgebiet (mit Ausnahme des Gebietes Gräfenhainichen - Bitterfeld). Dabei umfasst es die folgenden hydrogeologischen Grosseinheiten (BGR nach KOR Saale 2005 / Jordan et al.1995):

- Mitteldeutsches Bruchschollenland
- Mitteldeutsches Lockergesteinsgebiet / Lockergesteinsbereiche Saale,
- Mitteldeutsches Grundgebirge.

2.2 Überblick über die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse des Untersuchungsgebietes

Die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse des zentralen mitteldeutschen Braunkohlegebietes sind im Detail recht komplex, sie können deshalb an dieser Stelle nur sehr schematisch erläutert werden. Eine detailliertere Zusammenfassung mit weiterführender Literatur ist in Jordan et al. 1995, Wimmer 2008 (Hydrogeologie), Eissmann & Litt (1994) oder Benda (1995) (Geologie) zu lesen.

Der prätertiäre Untergrund des Untersuchungsgebiet ist in eine Vielzahl von Schollen zerlegt. Er tritt außer in wenigen Porphyrkuppen nur im südlichen und westlichen Randbereich des Braunkohlegebietes an die Oberfläche. Nachgewiesen sind Gesteine des Algonkiums, Kambriums, Ordoviziums, des Permokarbons und der Trias. Die prätertiäre Schichtenfolge ist in der Regel mehrere 10er Meter tief intensiv kaolinisiert. In den permokarbonen und triasischen Sedimentgesteinen ist auch eine (z.T. hoch mineralisierte) Wasserführung bekannt. Die tektonischen Strukturen des tieferen Untergrundes führten im Tertiär zu unterschiedlich intensiven und in der Richtung variierenden Hebungen und Senkungen, die in Verbindung mit Vorgängen der Subrosion und Halokinese stark schwankende Tertiärmächtigkeiten bedingen. In Zeiten und Gebieten mit kontinuierlicher Absenkung bildeten sich Moore, aus denen die heutigen Braunkohlenflöze entstanden. So entstanden im Raum zwischen Altenburg/Zeitz und Dessau/Gräfenhainichen insgesamt bis zu maximal 6 Flöze und 16 tertiäre Grundwasserleiter mit Ausdehnungen von jeweils mehreren hundert Quadratkilometern (Pester 1978 in Jordan 1999).

Durch das eiszeitliche Geschehen wurden einerseits partiell die Grundwasserleiter des Tertiärs wieder abgetragen und zerschnitten. Andererseits kam es aber zur ausgedehnten Bildung weiträumiger quartärer Grundwasserleiter mit beachtlicher Mächtigkeit. Von Bedeutung sind vor allem frühglaziale Kiese und Schotter, die in der periglaziär geformten, weit gefächerten Flusslandschaft jeweils zu Beginn der Eiszeiten abgelagert wurden. Dazu kommen noch die Ablagerungen, die von Schmelzwässern mitgeführt wurden und die teils zur flächenhaften Verbreitung von Sanden und Kiesen führten, teilweise aber die weit verbreiteten, 10-100 Meter tiefen glaziären Rinnenstrukturen füllten. Insgesamt lassen sich im mitteldeutschen Revier 8 Hauptgrundwasserleiter des Quartärs unterscheiden.

Es dürfte wohl keine Stelle geben, an der die erwähnten 24 Grundwasserleiter des Tertiärs und Quartärs alle übereinander auftreten (vgl. Wimmer 2008). Die räumliche und zeitliche Verlagerung des Absenkungsschwerpunktes im Gebiet zwischen Altenburg –

Zeit und Gräfenhainichen – Bitterfeld kombiniert mit zahlreichen örtlichen Faktoren führte dazu, dass gebietsweise einerseits einzelne Flöze und Grundwasserleiter nicht ausgebildet sind, andererseits aber die Flöze und Grundwasserleiter in anderen Gebieten durch Einlagerung von Tonen weiter in Flözbänke oder Teilgrundwasserleiter untergliedert werden können. Dadurch werden die räumlichen hydrogeologischen Verhältnisse nicht selten noch wesentlich komplizierter.

Spezielle hydrogeologische Probleme sind in Gebieten zu verzeichnen, in denen die Absenkungsvorgänge durch Salz- und Gipsauslaugungsvorgänge im tieferen Untergrund beeinflusst sind. Abfolgen mit teils mächtigen, teils durch Sand- und Toneinlagerungen extrem intensiv aufgespalteten Flözen und mit schwierigen Lagerungsverhältnissen der tertiären Grundwasserleiter sind für diese Gebiete typisch. Ein markantes Beispiel dafür ist das Geiseltal. In diesem und in anderen Fällen kann auch die Wasserführung in prätertiären Gesteinen eine Rolle spielen. Bemerkenswert sind auch die hydrogeologischen Verhältnisse im Raum Merseburg-Ost, wo die tertiären und z.T. quartären Grundwasserleiter durch aufsteigende saline Wässer aus dem tieferen Untergrund beeinflusst sind (vgl. Trettin et al. 2006).

Große hydrologische Bedeutung besitzen im Untersuchungsgebiet die quartären Schotterterrassen, die insbesondere während der frühglazialen Abschnitte (frühpleistozäne Terrasse, frühelsterglaziale Terrasse, frühsaaleglaziale Hauptterrasse, weichselglaziale Niederterrasse) akkumuliert wurden und alle heutigen Flussläufe im Untergrund begleiten. Im Südraum von Leipzig sind das die Terrassenkörper von Mulde, Weiße Elster, Pleiße, Wyhra und Schnauder. Mit dem Abbau der Braunkohle in Großtagebauen erfolgte vielfach die Durchschneidung der tertiären, pleistozänen und holozänen Flußauen. Ihre gegenwärtigen Flussläufe sind über weite Strecken aus ihrem natürlichen System heraus verlegt und die Flussbettsohlen meistens gedichtet worden. Als Beispiele dafür sind im Südraum des Revieres die ehemaligen Tagebaue Witznitz, Espenhain, Zwenkau und Cospuden zu nennen. Die in den abgebauten Gebieten eingebrachten Kippen besitzen generell geringere Transmissivitäten und führen damit zum Aufstau des Grundwassers und, da im Weißelsterbecken die Grundwasserleiter meist bis zur Tertiärbasis ausgeräumt wurden, zu veränderten Fließbedingungen.

Der Verlauf der Flussauen und die dargestellten Abbaugelände lassen erkennen, in welchen Gebieten der unterirdische Abfluss gestört ist. In den Tagebauen sind stets mehrere, teilweise bis zu sechs Grundwasserleiter angeschnitten worden, deren Absenkungstrichter dann, beim Einsatz von Oberflächenwasser, mit diesem aufgefüllt werden. Eine Reinigung des Flutungswassers wird, entsprechend des Nutzungszieles der Restseen, partiell erforderlich. Nach der Regenerierung der Grundwasserstände sind die neu entstandenen Restlochseen in das allgemeine Grundwasserabflussgeschehen eingebunden, so dass das Oberflächenwasser auch weiträumig wieder in die Grundwasserleiter abdriftet. Einen Überblick über die mit dem Grundwasseranstieg und der Flutung der Braunkohlentagebau-Restlöcher einhergehenden Prozesse und Probleme gibt Gläßer (1995) oder Bozau (2005).

3 Material und Methoden

Die Datensammlung zur Hydrochemie der anthropogen gebildeten Standgewässer im UNTERSUCHUNGSGEBIET erfolgte durch Beprobungskampagnen, die im halbjährigen Rhythmus (Sommer, Winter) seit 2004 durchgeführt wurden. Hierbei kamen von den ca. 600 bestehenden und in einem temporalen GIS erfassten Seen 160 genotypische Seen zur Auswahl. Diese wurden in die Beprobungskampagnen einbezogen. Die Wasserbeprobung wurde gemäß Selent et al. (1998) durchgeführt. Die Erfassung der Parameter Temperatur, Leitfähigkeit und pH erfolgte im Gelände mit

mobilen Messgeräten (WTW pH 90/96, LF96). An ausgewählten einzelnen Seen wurden weiterhin Daten zur Sauerstoffsättigung mit WTW Oxi 96 sowie Chlorophyll-a mit dem BackScat I-Fluorometer Black-Scat 1101.6 LP/eexCH1a/2R der Fa. Haardt Optik/Microelectronik erhoben. Trübungen wurden sowohl mit der Seccischeibe als auch mit der Trübungssonde HT (Lange) gemessen. Die an der Wasseroberfläche entnommenen Wasserproben wurden einer kaskadierenden Mikrofiltration (Whatman GF/C, 47mm /Satorius CA <45µm, 10cm) unterzogen. An den mikrofiltrierten Proben erfolgte die Bestimmung der in der Tabelle 3 aufgelisteten Parameter. Als unterstützendes Peripheriegerät gelangte ein GPS (WAAS/Egnos) vom Typ Garmin etrex zum Einsatz. Zur Datenberechnung wurde Phreeqc (Parkhurst 1995) und Aquachem (WaterlooRes.) benutzt.

4 Ergebnisse

4.1 Typisierung anthropogener Standgewässer

4.1.1 Anforderungen

Seit Verabschiedung der Europäischen Wasser Rahmen Richtlinie (WRRL) am 23. Oktober 2000 (WRRL 2000) wird versucht, die Wasserpolitik innerhalb der Europäischen Union zu vereinheitlichen und stärker auf eine nachhaltige und umweltverträgliche Wassernutzung auszurichten. Wegen der stark variierenden lokalen Gegebenheiten innerhalb der EU beschränkt sich die Richtlinie darauf, Qualitätsziele aufzustellen und Methoden anzugeben, wie diese zu erreichen und gute Wasserqualitäten zu erhalten sind. In Deutschland erfolgt die Typisierung gemäß WRRL (2000) in den Ausführungen System B, ergänzt durch weitere Kriterien nach System A des Anhanges II Nummer 1.2.2 der Richtlinie 2000/60/EG (kurz WRRL 2000). Zur Abgrenzung werden in der WRRL geographisch–topographische, geologische, hydrologische und morphometrische Parameter genutzt. Im einzelnen wären dies:

- Geländetopologie (Alpen-Alpenvorland / Mittelgebirge / Tiefland (< 200 m NN). Da die mittlere Höhe des Untersuchungsgebietes bei 198,2 m NN liegt (ermittelt aus SRTM-Daten nach Czegka et al. 2004) sind die Seen des Neuseenland in die Kategorie „Tiefland“ einzuordnen.
- In der WRRL werden nur Seen mit einer Wasserfläche > 50 ha bewertet. Der Mittelwert der Seen des Neuseenlandes liegt bei zwar 47,25 ha, jedoch besitzen lediglich 63 Seen (von 595) eine Wasserfläche, die größer als 50 ha ist (Median liegt bei 3,95 ha !).
- Als „geologischer“ Parameter wird in der WRRL der Calcium-Gehalt (Ca) gewählt, wobei als Grenzparameter 15 mg/L festgelegt ist. Man unterscheidet die Klasse > und < 15 mg/L Ca. In keinem der beprobten Seen liegt der Ca < 15 mg/L . Der Minimalwert beträgt 55,8 mg/L.
- Den hydrologischen Parameter bildet das Einzugsgebiet mit einer Unterscheidung zwischen größer und kleiner 15 km². Als morphometrische Kenngrößen werden Mixis und Verweildauer verwendet.

Insgesamt kann man sagen, dass die Klassifikation nach WRRL für die entstehenden Seen im Neuseenland zu grob und für die spezifische Klassifikation wenig geeignet ist. Ebenfalls zu erwähnen sind die Klassifizierungsversuche rein nach Nutzungsaspekten in o.A. (2006) und RegionalForum Mitteldeutschland [Hrsg.] (2007).

4.1.2 Einflussfaktoren und Typisierungsschema

Ein hydrochemisch orientierter Ansatz von Nixdorf et al. (2001) erscheint erfolgsversprechender. Nixdorf et al (2001) typisieren Seen in Abhängigkeit von Leitfähigkeit, pH und Puffersystem. Ergänzt wird die Klassifikation durch morphometrische, limnische und miktische Parameter. Im Neuseenland liegt der mehrjährige Sommer-Mittelwert (2004 bis 2006) im pH im Rahmen von 7.5 bis 7.6 bei einer leichten Erhöhung der Leitfähigkeit von 1550 auf 1870 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

Bedingt durch die Datenlage wurde für die Klassifikation der künstlichen Standgewässer im Neuseenland eine Auswahl getroffen. Eine Übersicht ist in **Abb. 2** (Flowchart nach Schneider 2005) dargestellt (siehe Schneider 2004, Fruhner 2005). Zu den angewendeten typologischen Aspekten gehören:

A. Genetischer Aspekt. Nach Mietz (1996) gibt die Genese der Seen die natürlichen Alterungsprozesse in den verschiedenen Sukzessionsstadien im wesentlichen vor. Die genetischen Seetypen unterscheiden sich primär in natürliche und anthropogen entstandene Seen. Entscheidend für die Typisierung ist dabei die Ursache der Bildung der Seebecken. Natürliche Seen sind im Neuseenland sehr untergeordnet vertreten, lediglich die durch Subrosion entstandenen Seen „Salziger See“ und „Süßer See“ sind als nennenswert zu erachten. Bei den anthropogen entstandenen Seen kann man in insgesamt 6 verschiedene Haupttypen differenzieren:

- | | |
|------------------------|-------------------------------------|
| (1) Tagebaurestseen, | (4) Stauseen und Flachlandspeicher, |
| 2) Sand- und Kiesseen, | (5) Einbruchseen, |
| 3) Steinbruchseen, | (6) Teiche. |

B. Hydrogeologischer Aspekt. Der Hydrogeologische Aspekt betrifft im wesentlichen das Flutungsregime, wobei hier Alter und der Typus der Flutung eingehen. Zeitlich kann man die Seen des Neuseenlandes in 6 Gruppen unterteilen:

- | | |
|------------------|-------------------|
| (1) in Flutung | (4) 10 – 25 Jahre |
| 2) 0 – 5 Jahre | (5) 25 – 50 Jahre |
| (3) 5 – 10 Jahre | (6) > 50 a. |

Eine weitere Unterteilung der Seen erfolgte nach Typisierung des Zuflusses in initiale und stationäre Flutungsart. Unter dem Begriff der initialen Flutung wird das Wasser, was zur Erstfüllung des Seebeckens benötigt wird, verstanden, während stationäre Zuflüsse die Art der Anbindung an das Gewässernetz charakterisieren. Man unterscheidet Zuflüsse mit:

- | | |
|------------------|----------------------|
| (1) Flusswasser, | (2) Sumpfungswasser, |
| (3) Grundwasser, | (4) Brauchwasser. |

C. Hydrochemischer Aspekt. Der hydrochemische Aspekt, d.h. die Wasserbeschaffenheit der Seen steht im direkten Zusammenhang mit dem geologischen Untergrund, der Flutungsart und der historischen sowie gegenwärtigen anthropogenen Nutzung. Neben der grundsätzlichen Unterscheidung Salz-/Süßwassersee kann eine weitere Klassifizierung über die Hauptelemente vorgenommen werden.

D. Nutzungsaspekt. Die Hauptnutzung der Seen im Neuseenland liegt in keiner (Natur- und Landschaftsschutz) oder der Freizeitnutzung (Badebetrieb, Wassersport). Andere

Nutzungsarten (Brauch-/Trinkwasserreservoir/Fischzucht) spielen nur eine untergeordnete Bedeutung.

E. Morphologischer Aspekt/Mixis. Die Morphometrie der Seebeckengestalt (Tiefe und Fläche) ist für die Stoffwechselprozesse ein wesentlicher Grundparameter. Die Tiefe stellt eine relative Größe dar, die in Bezug auf die Fläche betrachtet werden muss. Jung (1990) unterschied die Seen nach Wassertiefe und –fläche, wobei nach dieser Klassifikation die Seen des Neuseenland (NSL) in die Kategorie: wenig tief (10 -100 m) oder flachgründig < 10 m einzuordnen sind. Aus genetischen Gründen sind die Klassen (tief 100- 500 m oder sehr tief > 500 m) natürlich im NSL nicht vertreten. Nach der Flächenklassifikation nach Jung (1990) sind nur vier Seen mit einer Fläche > 10 km² als mittlere Seen (10 -100 km²) einzuordnen; es dominieren Klein- (Fläche 1 - 10 km²) oder Zwergseen < 1 km²). Schneider (2004) und Fruhner (2005) schlagen deshalb für das NSL die in Tabelle 4 verzeichneten und mit Beispielen belegten Grössenklassen vor.

4.2 Standgewässertypen im Neuseenland und ihre Charakteristik

Unter Berücksichtigung der genannten Einflussfaktoren und –aspekte können wir im Neuseenland die folgend aufgeführten Standgewässertypen (mit Merkmalen und einem jeweils kurz charakterisierten Seebeispiel) unterscheiden (Tabelle 5).

4.2.1 Braunkohletagebaurestseen (grundwassergeflutet, nicht salinar beeinflusst)

Die Grundwassergefluteten, nicht salinar beeinflussten Seen sind sich durch "schwach bis gut" mineralisierte Wässer kennzeichnet. Es sind hauptsächlich Ca-SO₄ - Wässer der Tagebaurestseen. Bedingt durch die historische Nutzung (Ablagerung von Altlasten) konnten teilweise zusätzlich erhöhte Konzentrationen an Magnesium und Hydrogencarbonat festgestellt (z.B. Roitzscher Grube, Förster See) werden. Diese Gruppe kann in 2 Subtypen differenziert werden

Typ 1A: *Junge Braunkohletagebaurestseen (Alter < 10 a), die sich in einer nichtsalinaren Grundwasserregion befinden und nur durch Grundwasser gefüllt wurden:* Die Seewässer sind ebenfalls vom Ca-SO₄ - Typ. Ihre Leitfähigkeiten liegen bei: 1800 bis 2700 µS cm⁻¹; typische pH-Bereiche sind 2,8 bis 7,6 entsprechend der Pufferkapazität, Seealter bzw. der Sanierungsmaßnahmen. Hauptsächlich auftretende Probleme stellen: eine starke Mineralisation (Hartwassersee) und eine teilweise Versauerung durch Pyritoxidation dar. Typische Beispielseen dieser Gruppe sind die Seen Bockwitz oder Lucka (Tabelle 5).

Beispiel Bockwitzsee: Der im Endausbau 1,7 km² große Bockwitzer See östlich Borna (siehe Abb.1–Ziffer 1) wird eine maximale Tiefe von 20 m besitzen. Auf Grund der weitestgehend ungestörten hydrogeologischen Situation in seinem Einzugsgebiet war für den Bockwitzer See keine Fremdwassereinleitung zur Flutung erforderlich. Er füllte sich bis 2006 durch aufgehendes Grundwasser. Im Nordteil sind Planflächen für Freizeit- und Erholungsnutzungen, der Südteil bleibt als Zugvogelrückzugsgebiet naturbelassen. Mit einer Leitfähigkeit von rund 2400 µS cm⁻¹ und einem pH-Wert von ca. 3,3, einer Härte [°d] von 47 (17meq/L) ist der Bockwitzer See in den Bereich Hartwasser einzuordnen. Im Chemismus gleicht das Seewasser vom Typ Ca-Na-SO₄-HCO₃ bis auf den etwas erhöhten Gesamtsalzgehalt den im Bereich anstehenden Grundwässern (Abb. 3b). Dieser

sowie die Na-HCO₃-Betonung ist auf Maßnahmen zur pH-Wert-Pufferung (Zugabe von Soda) zurückzuführen.

Typ 1B: *Ältere Braunkohletagebaurestseen (Alter >>10a) die sich in einer nichtsalinaren Grundwasserregion befinden und durch Grundwasser gefüllt wurden.* Auch hier dominiert der Ca-SO₄ - Typ, die Leitfähigkeiten liegen aber niedriger zwischen 330 bis 850 µS cm⁻¹; der pH-Bereich liegt mit 7,1 bis 8,3 im neutralen Bereich. Als Beispielseen können Bergwitz, oder die Altbergbauseen um Gniest (Schneider 2004) genannt werden (Tabelle 5, Abb. 3a).

Beispiel Bergwitzsee. Der zwischen Gräfenhainichen und Wittenberg gelegene und seit 1955 aus dem aufgelassenen TB „Roberts Hoffnung“ entstandene Bergwitzsee (siehe Abb.1–Ziffer 2) besitzt eine Seefläche von 2 km², seine mittlere Tiefe beträgt 14 m, die maximale Tiefe unterschreitet auf Grund von Rutschungen die 20 m Marke. Das Wasservolumen beträgt 78 Mio m³. Der Seegrund ist vollständig und stark mit Sapropel bedeckt (Schneider 2005). Die Leitfähigkeit beträgt ca. 800 µS cm⁻¹, der pH schwankt zwischen 7,5-8,0. Ebenfalls ist der Gehalt an Gesamtinhaltsstoffen mit 750 mg/l für einen Bergbaufolgesee relativ niedrig. Das Ca-SO₄ geprägte Wasser (Tabelle 5, Abb. 3a) wird stark von den Grundwässern (vgl. Jordan 1995) des Gräfenhainichener-Schmiedeberger Hochflächenkomplexes geprägt. Deutlich ist der Aussüßungsprozess (Tabelle 6) innerhalb der letzten 50 Jahre zu erkennen (interessant ist der Vergleich mit dem sehr jungen See des Tagebaurestloches Zwenkau [s.u.]). Mit einer geogenen Versalzung ist in Folge des Fehlens von Zechsteinablagerungen im tieferen Untergrund nicht zu rechnen.

4.2.2 Braunkohletagebaurestseen (grundwassergeflutet, salinar beeinflusst)

Die zweite Gruppe (Grundwasser-geflutete, salinar beeinflusste Seen) weist eine "gute bis übermäßige" Mineralisation auf. Gehalte an Gesamtinhaltsstoffen > 2000mg/l sind typisch. Der Einfluss des geologischen Untergrundes wirkt sich in dieser Gruppe unmittelbar auf das Grundwasser und damit auf das Seeoberflächenwasser aus, wobei bevorzugt Na-Ca-Mg-Cl-SO₄-Wassertypen auftreten. Hierzu zählen die natürlichen Seen (Salziger und Süßer See), Teile der Osternienburger Seen (vgl. die Detailuntersuchungen in Kuchenbuch 2006, Junge et al 2006) sowie die beiden Seen Merseburg-Ost und Osendorfer See im Gebiet Geiseltal-Merseburg-Halle. Auch hier lassen sich zwei Untergruppen unterscheiden:

Typ 1C: *Junge Braunkohletagebaurestseen oder natürliche Seen, die in einer salinaren Grundwasserregion und durch Grundwasser mit/ohne Fremdwasseranteil gefüllt wurden:* Hydrochemisch werden die Seen dieser Gruppe durch Seewässer vom Typ Na-Mg-Ca-Cl-SO₄-HCO₃, Ca-Na-Mg-SO₄-Cl oder Na-Ca-Cl-SO₄ charakterisiert. Die Spanne der Leitfähigkeit reicht von 1380 bis 11100 µScm⁻¹, der pH-Bereich variiert zwischen 6,7 bis 8,2. Bevorzugt auftretende Probleme sind starke Mineralisation und Versalzung. Als Beispielseen sind u.a. zu nennen: Geiseltal, Kayna-Süd, Osendorf, Salziger See.

Beispiel Osendorfer See. Der Südöstlich des Stadtzentrums von Halle im Stadtteil Dieskau gelegene 22,5 ha große Osendorfer See (siehe Abb.1–Ziffer 3), wird heute im wesentlichen für den Freizeitsport (Kanusportstätte) genutzt. Er entstand aus dem Mitte der 40er Jahre des vergangenen Jahrhunderts aufgelassenen Braunkohletagebau Osendorf. Laut Fruhner (2005) treten im Grundbereich des Osendorfer Sees Solquellen zu Tage (persönliche

Mitteilungen, Frau Kunitzsch, Stufa Halle). Dies führt zu einer hohen Leitfähigkeit (4500 μScm^{-1}), zu einer hohen Gesamtmineralisation (TDS 3512 mg/L) und mit 83.9 °d (adäq 1492 mg/L CaCO_3) zu einem recht harten Wasser. Der Chemismus ist dementsprechend Na-Ca- SO_4 -Cl betont.

Typ 1D: *Ältere Braunkohletagebaurestseen (Alter $\gg 10a$), die sich in einer salinaren Grundwasserregion befinden und nur durch Grundwasser gefüllt wurden:* Hier herrschen hydrochemisch Seewässer vom Ca-Mg- SO_4 - Ca- SO_4 - HCO_3 bzw. Ca-Mg-Na- SO_4 Typ vor. Die Leitfähigkeit reicht von: 950 bis 2350 μScm^{-1} ; der pH-Bereich von 7,4 bis 8,2. Auch hier tritt das Problem einer sehr hohen Mineralisation auf. Als Beispielseen sind zu nennen: Streckauer See, RL397 Theisen.

4.2.3 Braunkohletagebaurestseen (fremdwassergeflutet, nicht salinar beeinflusst)

Die mit Fremdwasser gefluteten Seen im nicht salinar beeinflussten Gebieten sind durch eine "schwache" Mineralisation geprägt. Es herrschen vorwiegend Ca- SO_4 -konzentrierte Wassertypen vor. An Subtypen können unterschieden werden:

Typ 1E: *Junge Braunkohletagebaurestseen ($< 10a$) die sich in einer nichtsalinaren Grundwasserregion befinden und initial durch Fremdwässer (Fluss - Tagebauwässer) gefüllt wurden:* In Abhängigkeit von der Fremdwasserquelle dominieren Seewässer vom Typ Ca- SO_4 , Ca-Mg- SO_4 , Ca- SO_4 - HCO_3 oder Ca-Mg- SO_4 - HCO_3 . Die Leitfähigkeitsspanne liegt bei 630 bis 780 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (Flusswasser), 1590 bis 1910 (Tagebau- bzw. Sümpfungswasser). Die pH-Werte schwanken zwischen 6,4 bis 8,2. Im Anfangsstadium der Füllung treten auch pH-Werte deutlich < 4 auf. Probleme bilden im Anfangsstadium der niedrige pH-Wert (Versauerung), grundsätzlich der erhöhte Nährstoffeintrag durch Flusswasser (Eutrophierung). An Beispielseen sind zu nennen: Harthsee, Golpa-Nord, Gröbern, Cospuden, Goitsche, Markkleeberg und Zwenkau.

Beispiel Markkleeberger See. Aus dem ehemalige TB Espenhain (Baufeld West) entstand durch Fremdfutung (Grund- und Oberflächenwasser aus noch produzierenden Tagebauen Schleenhain/Profen) in den Jahren 1997 – 2006 der Markkleeberger See mit einer Fläche von 250 ha und einer maximalen Tiefe von 58 m (siehe Abb.1–Ziffer 4). Durch eine Landbrücke (zugleich Trasse der Südumfahrung A38) ist der Markkleeberger See von seinem Nachbarn, dem Störmthaler See (ehem. TB Espenhain Baufeld Ost), getrennt. Ein schiffbarer Kanal als Teil des Gewässerverbundes lässt eine Verbindung zu. Freizeit- und Sportnutzung überwiegen. Das Seewasser liegt hinsichtlich des pH-Wertes im neutralen Feld, weist eine recht hohe Leitfähigkeit (1800 $\mu\text{S cm}^{-1}$) bei einem Ca- SO_4 - HCO_3 Wassertyp auf (Tabelle 5, Abb. 3c).

Beispiel Zwenkauer See. Ein weiteres sehr junges Beispiel ist das derzeit in Initialphase der Flutung stehende Restloch des Tagebaus Zwenkau (siehe Abb.1–Ziffer 5). Hier kann man mehrere Wasserflächen unterscheiden. W1 ist der Gründungssee, der durch Abstellen der Sümpfungspumpen auf dem Grund des TB entstanden ist, und direkten Kontakt zur Kippe einerseits und zur anstehenden, stark FeS_2 -betonten tertiären Liegendfolge (Flöz IV und älter) besitzt (vgl. Wiegand 2002). W5 ist eine Wasserfläche, die auf einem Plateau in einer Depression innerhalb einer aus tertiären Kippenmaterial zusammengesetzten Kipprippe durch Niederschlags- und Grundwasser entstanden ist. W1 hat durchwegs höhere Zuflüsse als W5. Deutlich wird dies

zum Beispiel durch die Zeitreihe der Leitfähigkeit (Abb. 4). W1 liegt in einer Region mit hohem Pyrit, Illit und hohem TOC-Gehalt, W5 mit vergleichsweise niedrigen Pyritgehalt, Illit und TOC (Abgleich mit Daten aus LB-Klassifikationen nach Krüger 1999). Ähnlich deutlich ist auch der Wandel des Wasser-Chemismus von W5 zu W1. Während W5 einen Mg-Ca-Fe-SO₄ Typ mit deutlichen Anionenüberschuss darstellt sind die Wässer von W1 Ca-Mg-SO₄ geprägt. Gemeinsam ist den beiden Wassertypen die hohe Gesamtmineralisation (TDS) von 4-6000 mg/L.

4.2.3 Flussstau

Zu dieser Gruppe werden Standgewässer zusammengefasst, die im Durchfluss von Flüssen stehen (Flussstau), wobei sowohl ehemalige Braunkohletagebaurestlöcher, als auch im Flusslauf stehende Rückhaltebecken (z.B. Talsperren, Staueinrichtungen) dieser Gruppe zugeordnet werden.

Typ 1F: *Braunkohletagebaurestlöcher bzw. Rückhaltebecken (z.B. Talsperren)* im nichtsalinaren Einflussgebiet, die mit Flußwasser gefüllt werden bzw. im Durchfluss von Flüssen stehen. Sie sind durch folgende Merkmale ausgewiesen: sehr häufig Ca-Mg-SO₄-HCO₃ - Typ; niedrige Leitfähigkeit von 370 bis 900 µS cm⁻¹; die Spannweite des pH liegt zwischen 7,6 bis 7,9. Auftretende Probleme sind Nährstoff-, Schwermetalleintrag. Als Beispielseen dieser Gruppe sind der Muldestausee (Braunkohletagebaurestsee), als auch die Staueinrichtungen Schömbachtalsperre, Windischleuba, Stausee Rötha zu nennen.

Beispiel Muldestausee. Der Muldestausee ist ein gefluteter Tagebau im Landkreis Bitterfeld/Sachsen-Anhalt (siehe Abb.1–Ziffer 6). Er ist mit 6,3 km² Oberfläche das viertgrößte Gewässer des Landes Sachsen-Anhalt; seine breiteste Stelle beträgt 2 km, die größte Tiefe 35 m. Nach Auskohlung des Tagebau Muldenstein (1954 – 1975) wurde zwecks Erweiterung des Tagebaues Goitzsche (heutiger Goitschesee) die Verlegung der Mulde auf einer Strecke von ca. 11 km nötig. Ein Teil des neuen Flusslaufs wurde durch den ausgekohlten Tagebau Muldenstein gelegt. Die Flutung erfolgte in der Zeit vom 30. April 1975 bis zum 1. März 1976. Der Normalwasserspiegel bewegt sich um 79 m ü. NN bei ca. 110 Mio m³ Speichervolumen. Die Rolle des Muldestausee als Hochwasserrückhaltebecken ist unbedeutend. Nach Angaben (Schultze & Klapper, 1992) kann das Becken bei Hochwasser immerhin 15 Millionen m³ zusätzlich aufnehmen. Im Ergebnis handelt es sich im eigentlichen Sinne auch nicht um einen Stausee sondern einen Flussstau. Da sich beim Zufluss der Mulde deren Fließgeschwindigkeit stark verlangsamt, ist der Muldestausee die Sedimentationsfalle für Grob- und Feinfracht, wobei jährlich ca. 400.000 t Feststoffe (Kies, Sand, Schluff) eingetragen werden. Details zur Rückhaltefunktion sind in Zerling et al. (2001), zur Wasserchemie bei Junge & Jendryschik (2003) sowie zum Seesediment bei Junge et al. (2004) nachzulesen.

Typ 1G: *Flusswasser- geflutete, salinar beeinflusste Seen.* Im wesentlichen sind die Seen dieses Typs durch eine "gute bis übermäßige" Mineralisation mit mittleren Konzentrationen an Gesamt-Inhaltsstoffen von 2140 mg/L charakterisiert. Die Seewässer sind hinsichtlich ihrer Haupt-Inhaltsstoffe als Ca-Na-Mg-SO₄-Cl –Wassertyp ausgewiesen. Als Beispielseen sind die Tagebaurestseen Geiseltalsee, Runstädter See und Südfeldsee zu nennen.

4.2.4 Tiefbaueinbruchseen

Typ 2: *Ältere Tiefbaueinbruchseen (Alter >>10a)* in salinaren Grundwasserregionen und durch Grundwasser mit/ohne Flusswasseranteil gefüllt. Hier treten Seewässer vom hydrochemischen Typ $\text{Ca-Mg-SO}_4\text{-HCO}_3$ oder $\text{Na-Ca-Mg-SO}_4\text{-Cl}$ auf mit Leitfähigkeiten zwischen 1702 bis 2370 $\mu\text{S cm}^{-1}$ und pH-Werten von 7,9 bis 8,2. Als Beispielseen gelten die Seen des Osternienburg-Trebbichauer Seengebietes, wie Großer Rustteich, Lobitzsee, Zuckerteich.

Beispiel Osternienburger Seen. Die Osternienburger Seen (siehe Abb.1–Ziffer 1) liegen entlang der Ortschaften Osternienburg, Trebbichau und Micheln im Landkreis Köthen. Zu den größten Seen zählen der Akazienteich und der Löbitzteich. Die Osternienburger Seen entstanden durch Einsenkungen infolge früheren Braunkohlentiefbaus gekoppelt mit Subrosionserscheinungen (vgl. Czegka et al. 2006). Die in Salinarrandsenken mächtigen Tertiärschichten bestehen aus den bauwürdigen eozänen Kohleflözen sowie dem hangenden bis zu 50 m mächtigen unteroligozänen Rupelton mit eingeschalteten Kalk-(Septarien) und Sandsteinhorizonten. Die Kohleflöze erstrecken sich von SE nach NW entlang der Ortschaften Elsnigk - Micheln bis nach Mennewitz. Durch die schnelle Absenkung des Untergrundes infolge von Salzaufstieg und Subrosion entstanden schmale, lang gestreckte muldenförmige bis zu maximal 80 m mächtige Flöze. Die mit der natürlichen Subrosion einhergehende Absenkung wurde durch den um 1875 einsetzenden Bergbau verstärkt. Durch die Deutsche Solvay-Werke A.G. (DSW), die das Kohlevorkommen für industrielle Zwecke nutzte. In den Jahren 1876 bis 1920 wurden im Osternienburger Bereich 5 Schachtanlagen abgeteuft. Der fortgeschrittene Kohleabbau und die einhergehende Unwirtschaftlichkeit brachten 1960 das Ende des Kohleabbaus. Parallel zum Abbauprozess wurde Senkungserscheinungen sichtbar, die ab 1900 zur Bildung der heute entwickelten Osternienburger Seenplatte führte. Ausführliche Untersuchungen zu den größten Seen des Gebietes, dem Großen Rustteich und dem Lobitzsee sind bei Kuchenbuch (2006) niedergelegt. Sie zeigen, dass der als $\text{Na-Ca-Mg-SO}_4\text{-Cl}$ -Wassertyp und durch eine hohe Leitfähigkeit ($2400 \mu\text{S cm}^{-1}$) ausgewiesene Lobitzsee (siehe Tabelle 5, Abb. 3d, Abb.1–Ziffer 7) nachweisbar durch aufsteigende saline Wässer geprägt wird.

4.2.5 Steinbruchseen

Typ 3: *Ältere Steinbruchseen (Alter >>10a)* in nicht-salinaren Grundwasserregionen und durch Grundwasser gefüllt. Ihre Seewässer sind weitgehend vom $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$ Wassertyp und durch Leitfähigkeiten zwischen ca. 360 bis 1030 $\mu\text{S cm}^{-1}$ und pH-Werten von 7,8 bis 7,9 ausgewiesen. Problematisch bei diesem Seetyp ist oftmals die hohe Belastung durch Nährstoffeintrag. Unter den zahlreichen Beispiele seien hier genannt die Restseen der ehemaligen Porphyrtsteinbrüche von Waldsteinberg bei Naunhof (z.B. Kohlenberg, Tabelle 5), Dewitz bei Taucha und Löbejün nordwestlich Halle.

Beispiel Porphyrtsteinbrüche Löbejün. Drei benachbarte Steinbruchseen (siehe Abb.1–Ziffer 8) und die sie umgebenden Grundwasserbeobachtungspegel im Unteren Halleschen Porphyrtkomplex (Kautzenberg bei Löbejün) wurden geochemisch untersucht, um die hydrogeologischen Eigenschaften des Gebietes sowie die geochemischen Prozesse beim Eintritt des Grundwassers in einen See besser zu verstehen und hydraulische Verbindungen zwischen den Seen nachzuweisen (Bozau et al. 2005). Die für die Untersuchung ausgewählten

Steinbruchseen zeichnen sich dadurch aus, dass sie nahezu parallel zur Grundwasserfließrichtung hintereinander aufgereiht liegen. Eine schwache thermische Schichtung des Seewassers wurde nur in den Sommermonaten nachgewiesen. Die starke Durchmischung der Wassersäule ist auf die windexponierte Lage der Seen sowie Tauchaktivitäten zurückzuführen. See- und Grundwasser können anhand chemischer und isotopengeochemischer Parameter unterschieden werden. Weiterhin werden durch seeinterne biologische Prozesse im Seewasser geringere Si- und NO_3^- -Gehalte gefunden als im einströmenden Grundwasser. Die Verteilung der leichten Seltenen Erden im See- und Grundwasser gibt Hinweise auf Fließpfade, die auch den klufftektonischen Merkmalen des Untersuchungsgebietes entsprechen.

4.2.6 Baggerseen

Typ 4: *Junge Baggerseen (>10a)* in nicht-salinaren Grundwasserregionen und mit Grundwasser gefüllt. Entsprechend dem angeschnittenen Grundwasserhorizont sind Seewässer vom Ca-SO_4 , Ca-Mg-SO_4 oder vom $\text{Ca-Mg-SO}_4\text{-Cl}$ Typ zu beobachten. Während die Leitfähigkeiten eine geringe Schwankungsbreite aufweisen (700 bis 780 $\mu\text{S cm}^{-1}$), zeigt der pH-Wert eine hohe Variabilität (3,7 bis 7,3). Als Probleme sind zu nennen Versauerung (abhängig vom angeschnittenen Grundwasserleiter) und Nährstoffeintrag (abhängig von Nutzung und Einzugsgebiet). Beispielseen: Kies- bzw. Baggerseen Naunhof, Löbnitz, "Adria" Dessau.

Beispiel Kiesgrube Löbnitz. Typisches Beispiel ist der aus der Kiesgrube Löbnitz (siehe Abb.1–Ziffer 9) entstandene Löbnitzsee in unmittelbarer Nachbarschaft der Tagebaurestseen Seelhausener und Goitsche-See bei Bitterfeld (Schultze & Klapper, 1992). Der vom oberen Grundwasserleiter (oGWL; weichselglaziale Niederterrasse) gespeiste See zeigt ähnliche Wasserwerte wie die umliegenden Bergbaufolgeseen. Das Seewasser der Kiesgrube Löbnitz ist vom Ca-SO_4 Wassertyp, besitzt eine Leitfähigkeit um ca. 600 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (entsprechend oGWL).

4.2.7. Künstliche Teiche/Weiher

Typ 5: *Alte künstliche Teiche (Alter >100a)* in nicht-salinaren Grundwasserregionen und durch Oberflächenwasser gefüllt. Ihre Wässer sind häufig vom $\text{Ca-Mg-SO}_4\text{-HCO}_3$ Typ bei Leitfähigkeiten von 510 bis 1280 $\mu\text{S cm}^{-1}$, pH: 7,8 bis 9,5. Die häufigsten Probleme sind: Nährstoffeintrag und Eutrophierung. Als Beispielseen können die Eschefelder Teiche (Tabelle 5), Windischleubaer Teiche, Haselbacher Teiche gelten.

5 Schlussfolgerungen und Résumé

In geologischen Zeiträumen stellt sich jeder See unterschiedlichster Genese auf seinen durch die hydrogeologischen Randbedingungen bestimmten natürlichen Gewässerzustand ein. Die Einstellung des natürlichen Gleichgewichtes kann bei Seen anthropogener Genese in Abhängigkeit von der Stärke des Eingriffes in den Wasserhaushalt Jahrzehnte bis Jahrhunderte benötigen. Der zeitliche Ablauf wird dabei durch steuernde anthropogene Eingriffe verzögert oder beschleunigt.

Der Gesamtprozeß der Gewässerentwicklung in der neu entstehenden anthropogenen Seenlandschaft Neuseenland ist vor allem im Anfangsstadium, durch eine starke Heterogenität gekennzeichnet. Die beobachtete hohe Variabilität der hydrochemischen und die daran gekoppelten hydrobiotischen Eigenschaften der

einzelnen, in Entstehung befindlichen Standgewässer im „Neuseenland“ ergibt sich aus der Vielfalt der Seen unterschiedlichen Entwicklungsalters, sowie unterschiedlicher geogener (u.a. angeschnittene Grundwasserstockwerke, Tiefenwasserzutritt) und anthropogener Einflüsse (u.a. Flutungsregime, Nutzung). Im Vergleich anderer Bergbaufolgeregionen (z.B. Lausitz) sind die Seen des ehemaligen mitteldeutschen Bergbaureviere insgesamt durch einen geringeren Versauerungstrend ausgezeichnet. Darin spiegelt sich einerseits das vorhandene natürliche Pufferungspotenzial der von den Seen vielfach angeschnittenen (z.B. Grundmoränen des Quartärs; marine Rupelfolge) bzw. zum Teil im Untergrund vorhandenen karbonathaltigen Schichten (z.B. Zechstein, Muschelkalk). Andererseits wird dem Versauerungstrend vielfach durch ein geeignetes Flutungsregime (z.B. Flutung durch Fluss- und Sumpfungswässer) entgegengewirkt.

Die neu entstehenden Bergbaufolgeseen Neuseenlands sind, ohne Anbindung an das oberirdische Gewässernetz, als „Hartwasserseen“ mit hoher Leitfähigkeit ($>1500 \mu\text{S cm}^{-1}$) zu charakterisieren, wobei vielfach, in Bezug auf die Hauptinhaltsstoffe, Ca-SO_4 -betonte Wässer vorliegen. Langfristig ist für viele dieser Seen aber mit einer natürlichen Tendenz der Aussüßung (Abnahme der Mineralisation und der Leitfähigkeit) zu rechnen. Ein wesentliches Merkmal zur Unterscheidung von Grundwasser-gefluteten und Flusswasser-gefluteten Seen ist der Nitratgehalt. In Flusswasser-gefluteten Seen treten deutlich höhere Werte auf, da die Flüsse größere Landschaftsgebiete umfassen. Je nach Einzugsgebiet kommt es u.a. durch Einträge von landwirtschaftlichen Nutzflächen zu stärkeren Belastungen.

Unter Berücksichtigung der vorgestellten Einflussfaktoren (geogen, anthropogen, Alter) ist eine Typisierung der Standgewässer im „Neuseenland“ möglich. Ausgehend vom im Beitrag umrissenen Istzustand der Gewässersituation erfordert die seentypbezogene zukünftige Entwicklung der Standgewässer im „Neuseenland“ eine kontinuierliche wissenschaftliche Begleitung. Dies gilt umso mehr, um die nach der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL 2000) gestellten hohen Anforderungen zur Erreichung eines „guten ökologischen Zustandes“ der Fließ- und Standgewässer auch in der Bergbauprovinz Mitteldeutschlands nachhaltig umzusetzen.

6 Danksagungen

Für die analytischen Arbeiten zur Erhebung der wasserchemischen Daten danken wir Frau I. Volkmann (Leipzig) sehr herzlich. Für hilfreiche Anmerkungen zum Manuskript danken wir Frau C. Hanisch und Herrn Dr. L. Zerling (beide Leipzig) sehr herzlich.

7 Literatur

- [o.A.] Arten- und Biotopschutzprogramm Sachsen-Anhalt. Lebensraum Elbe. Teil 1-3. ISSN 0941-7281 Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt - Sonderheft 3/2001; Herausgeber und Bezug: Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, http://www.mu.sachsen-anhalt.de/start/fachbereich04/artenschutz/files/absp-elbe_kap2.pdf (date accessed: 15.03.2007).
- [o.A.] (2006) Seentypisierung Arbeitsstand 20.10.2006 (2006) http://www.mitteldeutsche-seenlandschaft.de/download/seentypisierung_191006.pdf (date accessed: 15.03.2007)
- Bozau, E. (2005) Der See ein hydrogeologisch - geochemisches System. Erläutert an drei Fallbeispielen. Hab. Schrift Uni Leipzig, 123 S.
- Bozau, E., Stärk, H.J., Strauch, G. (2005): Steinbruchseen – Aufschlüsse im Klufftgrundwasserleiter.- Grundwasser **10** 2005: 83- 92.
- Czegka, W., Junge, F.W., Hanisch, C. (2006): Seen entstehen – Seen vergehen. GIS und

- Fernerkundung, als Basis eines Quasi-Temporal GIS für hydrogeochemische Parameter im Leipziger Neuseenland.- In: Strobl, J., Blaschke, Th., Griesebner, G. [Hrsg.] (2006) *Angewandte Geoinformatik 2006*: 107- 112, Heidelberg (Wichmann).
- Czegka W., Braune S., Behrends K. (2005): Validierung der freien C-Band SRTM Höhendaten in Hinblick auf Anwendungsmöglichkeiten in den Geo- und Umweltwissenschaften.- In: Strobl J., Blaschke T., Griesebner G. (Hrsg.): *Angewandte Geoinformatik 2005*: 106-111, Heidelberg (Wichmann).
- Benda, L. [Hrsg.] (1995): *Das Quartär Deutschlands*.- 408 S., Berlin, Stuttgart (Bornträger).
- Eissmann, L., Litt, Th. [Hrsg.] (1994): *Das Quartär Mitteldeutschlands - Ein Leitfaden und Exkursionsführer. Mit einer Übersicht über das Präquartär des Saale-Elbe-Gebietes*.- *Altenburger nat. wiss. Forsch.* 7: 458 S., Altenburg.
- Fruhner, A. (2005): *Hydrogeologisch-hydrochemische Charakterisierung und Einteilung der rezenten Standgewässer des Südraums von Leipzig. Ein Beitrag zur Entwicklung von NeuSeenland*“. - unveröff. Diplomarbeit, Universität Leipzig: 191 S.
- Gläßer, W. (1995): *Das gestörte Grundwasserregime im Südraum Leipzig*. - HTWK 1, Sonderheft, *Zukunft Südraum Leipzig*, 6-9, Leipzig.
- Hausmann, J. (2006): *Der Kulkwitzer See - Referenzobjekt für die Entwicklung anthropogener Standgewässer in der Bergbaufolgelandschaft Mitteldeutschlands*.- unveröff. Diplomarbeit, Universität Leipzig: 72 S.
- Jordan, H., Weder, H.J. (1995): *Hydrogeologie. Regionale Hydrogeologie Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Berlin, Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen*.- 603 S., Stuttgart (Enke).
- Junge, F.W., Hanisch, C., Kuchenbuch, V., Wennrich, R., Zerling, L. (2006): *The Osternienburg Lakes – geochemistry and development of a post mining lake site in Central Germany*.- Vortrag, Tagung der European Union of Geosciences (EUG 2006), Wien (Österreich), Session HS29: „Lakes and enclosed seas under anthropogenic pressure“; In: *Geophysical Research Abstracts*, vol. 8, 00931, 2006 (EGU06-A-00931). (date accessed: 15.03.2007)
- Junge, F.W., Czegka, W., Fruhner, A., Schneider, N., Wennrich, R., Zerling, L., Hanisch, C. (2005): *The new Central German Lake District – A hydrochemical overview on a postmining landscape*.- Poster, Tagung der European Union of Geosciences (EUG 2005), Wien (Österreich), Session „Lakes and enclosed seas under anthropogenic pressure“; In: *Geophysical Research Abstracts* 7, SREF.ID. 1607-7962/gra/EGU05-A-00038. (date accessed: 15.03.2007)
- Junge, F.W., Hanisch, C., Zerling, L., Czegka, W., Arnold, A., Jendryschik, K., Morgenstern, P., Treutler, H.-C., Scharf, B. (2004): *Arbeitspaket 3.6.: Untersuchungen im Bitterfelder Muldestausee zu den Auswirkungen des Hochwassers vom August 2002 auf die Schwermetallgehalte von Schwebstoffen und Sedimenten*.- In: *Endbericht BMBF-FKZ PTJ 0330492 „Schadstoffbelastung nach dem Elbe-Hochwasser 2002“*, Geller W., Ockenfeld K., Böhme M., Knöchel A. (Eds.), UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Department Fließgewässerökologie Magdeburg: 136-158.
- Junge, F.W., Jendryschik, K. (2003): *Investigation into the Distribution of element concentrations in a recent Dam and their seasonal and hydrographical correlation (Bitterfelder Muldestausee, Sachsen-Anhalt)*. *Acta hydrochim hydrobiol*, 31, 4-5: 378-390.
- Jung, G. (1994): *Seengeschichte: Entstehung, Geologie, Geomorphologie*.- *ecomed Landsberg /Lech*.
- Kater, R., Papke, W. [Eds.]. (2003): *Hydrogeologische Karte von Sachsen Anhalt 1:400*

- 000.-Landesamt für Geologie und Bergwesen SNA.
- Kuchenbuch, V. (2006): Geologisch-geochemische Untersuchungen an ausgewählten Seen im Altbergbauggebiet von Osternienburg-Trebichau.- unveröff. Diplomarbeit, Universität Leipzig:163 S.
- Krüger, G. (1999): Quantitative Analyse mitteldeutscher Braunkohlenabraumkippen mit reflexionspektroskopischen Methoden (0.4-0.2.4 µm).- GFZ Scientific Report STR99/05: 119 S.
- LAWA (2003): <http://www.wasserblick.net/servlet/is/2888/ah-e-30-04-03-ohne-Kor.pdf?command=downloadContent&filename=ah-e-30-04-03-ohne-Kor.pdf> (date accessed: 15.03.2007)
- Mietz, O. (1996): Allgemeine limnologische Charakterisierung von 12 Potsdamer Landseen unter der Berücksichtigung des Einflusses von topografischen und morphometrischen Parametern auf den Chlorophyll-a Gehalt.- Studien und Arbeitsberichte aus dem Inst. Angew. Gewässerökologie Seddin: 9 S.
- Nixdorf, B., Hemm, M., Schlundt, A., Kupfer, M., Krumbeck, H. (2001): Tagebauseen in Deutschland - ein Überblick.- UBA, Berlin Forschungsbericht 298 22 240 UBA-FB 000146: 72 S. und Anlage.
- Parkhurst, D. L. (1995): User's guide to PHREEQC . a computer program for speciation, reaction-path, advective transport, and inverse geochemical calculations. US Geol. Sur. Water Resources Investigations Report 95-4227. Lakewood/Colorado.
- RegionalForum Mitteldeutschland [Hrsg.] (2007): Seenkatalog..- Planungsverband Westsachsen, Leipzig: 48 S.
- Schneider, N. (2005): Hydrogeologisch- hydrochemische Charakterisierung und Einteilung der rezenten Standgewässer nördlich von Leipzig.- unveröff. Diplomarbeit, Universität Leipzig: 88 S.
- Selent, K.D., Gruppe, A [Eds.] (1998): Die Probennahme von Wasser - ein Handbuch für die Praxis.- Oldenbourg, München.
- Schultze, M., Klapper, H. (1992): Limnologisches Gutachten zu den Kiesbaggerseen Löbnitz (Landkreis Delitzsch).- unveröff. Ber. GKSS-Institut für Gewässerforschung Magdeburg.
- Schultze, M.; Klapper, H. (2004): Flusswassereinleitung als Restaurierungs- und Bewirtschaftungsstrategie für Bergbauseen – Möglichkeiten und Grenzen. *Studia Quaternaria* 21, 97-99
- Trettin, R.; Gläßer, W.; Lerche, I.; Seelig, U.; Treutler, H.-C. (2006): Flooding of lignite mines: isotope variations and processes in a system influenced by saline groundwater *Isot. Environ. Health Stud.* 42 (2), 159-179.
- Uhlmann D. (1995): Wasserbeschaffenheit in Tagebaurestseen.- Studien und Tagungsberichte, Band 6. Landesumweltamt Brandenburg [Hrsg.], Potsdam.
- Viertel, J. (1962): Die Geschichte von Osternienburg. Mit besonderer Berücksichtigung des Aufkommens und der Entwicklung von Bergbau und Industrie sowie des Einflusses beider auf Dorf und Landwirtschaft. - Privatdruck 2. Ausgabe Juli 1963: 79 S.
- Wiegand, U. (2002): Hydro- und geochemische Prozesse in oberflächennahen Kippensedimenten des Braunkohletagebaues Zwenkau. Diss. Univ. Leipzig, 111 S.
- Wimmer, R. (2008): Die hydrogeologischen Verhältnisse im quartären Deckgebirge zwischen Leipzig und Delitzsch. *ZDGG* 158 (dieser Band)
- WRRL- KOR Saale (2005) [Bericht über die Umsetzung der Anhänge II, III und IV der Richtlinie 2000/60/EG für den Koordinierungsraum Saale (B-Bericht) Herausgeber: Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt, Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt Sächsisches

Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft Niedersächsisches
Umweltministerium Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und
Verbraucherschutz Stand: 17.09.2004]

http://www.wasserrahmenrichtlinie.bayern.de/wrrl_live/dokukategorien/dokumanagement/psfile/docfile/98/B_Ber_KOR_424ab3466bf35.pdf (date accessed: 15.03.2007)

WRRL (2000) RICHTLINIE 2000/60/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES
RATES vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für
Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (ABl. L 327 vom
22.12.2000, S. 1)
<http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/wasserrichtlinie.pdf> (date
accessed: 15.03.2007)

Zerling, L., Müller, An., Jendryschik, K., Hanisch, C., Arnold A. (2001): Der Bitterfelder
Muldestausee als Schadstoffsenke. Entwicklung der Schwermetallbelastung von
1992 bis 1997.- Abh. d. Sächs. Akad. d. Wiss. zu Leipzig, Math.-nat. Kl. 59, H. 4: 69
S.

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1: Übersichtskarte Neuseenland.

Römische Ziffern: Subregionen: I ... Region Osternienburg-Trebbichau; II ... Region Bitterfeld-Gräfenhainichen; III ... Region Leipzig; IV ... Region Naunhof; V ... Region Borna-Altenburg; VI ... Region Zeitz-Deuben; VII ... Region Halle-Merseburg; VIII ... Region Eisleben; IX ... Region Gröbzig-Gerlebogk;
Lateinische Ziffern: 1 ... Bockwitzsee; 2 ... Bergwitzsee; 3 ... Osendorfer See; 4 ... Markkleeberger See; 5 ... Zwenkauer See; 6 ... Muldestausee; 7 ... Lobitzsee; 8 ... Steinbrüche Löbejün; 9 ... Kiesgrube Löbnitz (weitere Erläuterungen zu Beispielseen siehe Text).

fig. 1: Overview map New central German lake district (NCGLD):
Roman Characters: Subregions of the NCGLD: Osternienburg-Trebbichau region; II ... Bitterfeld-Gräfenhainichen region; III ... Leipzig region; IV ... Naunhof region; V ... Borna-Altenburg region; VI ... Zeitz-Deuben region; VII ... Halle-Merseburg region; VIII ... Eisleben region; IX ... Gröbzig-Gerlebogk region;
Latin Characters: selected lakes: 1 ... Bockwitz lake; 2 ... Bergwitz lake; 3 ... Osendorf lake; 4 ... Markkleeberg lake; 5 ... Zwenkau lake; 6 ... Mulde storage lake; 7 ... Lobitz lake; 8 ... quarry lake Löbejün; 9 ... gravel pit lake Löbnitz (further explanations to selected lakes see text).

Abb. 2: Klassifikationsschema anthropogene Standgewässer (Flowchart nach SCHNEIDER 2005)

fig. 2: Classification scheme of anthropogenic lakes (Flowchart after SCHNEIDER 2005)

Abb. 3: Hydrochemie (Leitfähigkeit, Hauptkationen, -anionen) ausgewählter Seen: a Bergwitzsee, b Bockwitzsee, c Markkleeberger See, d Lobitzsee

fig. 3: Hydrochemical parameters (conductivity, main cations, -anions) of selected lakes: a Bergwitz lake, b Bockwitz lake, c Markkleeberg lake, d Lobitz lake

Abb. 4: Entwicklung der Leitfähigkeit im Grundsee des Tagebaurestloches Zwenkau 2004-2007

fig. 4: Development of the conductivity in the initial Lake Zwenkau (former open cast mine Zwenkau) from 2004 to May 2007 .

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Morphometrische Parameter der Seen des Neuseenlandes

table 1: Morphometric parameters of the lakes in the New central German lake district (NCGLD)

Tabelle 2: Nutzungskonzepte einiger Seen des Leipziger Neuseenlandes

table 2: Pattern of utilisation of some lakes from the NCGLD

Tabelle 3: Übersicht zur Probenbehandlung und zu den verwendeten Messverfahren

table 3: Overview of the sampling treatment and used methods

Tabelle 4: Größenklassen mit Beispielseen aus dem Neuseenland

table 4: Size ranges with examples from the NCGLD

Tabelle 5: Hydrochemische Daten ausgewählter Standgewässer im Neuseenland

table 5: Hydrochemical data of selected lakes in the new lake district

Tabelle 6: Aussüßung des Bergwitzsees 1967-2006. (Datenquellen JORDAN 1995, eigene Messungen)

table 6: Freshening of Lake Bergwitz 1967 – 2006 (Sources JORDAN 1995)

Tabelle 1: Morphometrische Parameter der Seen des Neuseenlandes

	PERIMETER km	AREA km ²	HECTARES	P/A (1/km)
Median	0.90	0.04	3.95	0.01000
Mittelwert	1.93	0.47	47.25	0.00933
Mittelwertabweichung.	1.78	0.71	70.71	0.00246
Minimum	0.10	0.00	0.06	0.00000
Maximum	25.89	21.92	2192.28	0.01988
Varianz	9.38	3.21	32058.25	0.00002

Tabelle 2: Nutzungskonzepte einiger Seen des Leipziger Neuseenlandes

Name	Endgültige Größe [ha]	Flutungsende	Nutzung
Pahnaer See	26	abgeschlossen	Strandbad, Gastronomie, Campingplatz
Großstolpener See	28	abgeschlossen	Strandbad und Gastronomie
Harthsee	65	abgeschlossen	Badesee, Gastronomie, Campingplatz
Kahnsdorfer See	112	2007	Naturschutz
Kulkwitzer See	150	abgeschlossen	Wassersport und Freizeitzentrum
Haubitzer See	158	2007	Wassersport und Freizeitzentrum (geplant)
Bockwitzer See	170	abgeschlossen	überwiegend für Naturschutz vorbehalten, Strände geplant
Schladitzer See	220	2012	Wassersport und Freizeit

Markkleeberger See	252	abgeschlossen	Wassersport und Freizeitzentrum (geplant)
Speicher Borna	265	abgeschlossen	Hochwasserschutz, Fischzucht, Naturschutz, Naturstrände
Haselbacher See	335	abgeschlossen	Wassersport, Badeseesee
Hainer See	387	2007	Wassersport und Freizeitzentrum (geplant)
Cospudener See	436	abgeschlossen	Wassersport und Freizeitzentrum
Werbeliner See	440	2006	Freizeit, Erholung, Landschaftssee (geplant)
Muldestausee	605	abgeschlossen	Natur, Freizeit, Erholung, Wassersport
Seelhausener See	622	abgeschlossen	Badeseesee, Wassersport, Landschaftssee (geplant)
Störmthaler See	730	2011	Wassersport, Naturschutz, Kunstprojekte (geplant)
Zwenkauer See	914	2013	Freizeit und Erholung, Natur- und Hochwasserschutz (geplant)
Goitsche	1330	abgeschlossen	Wassersport, Freizeit, Landschaftskunst

Tabelle 3: Übersicht zur Probenbehandlung und zu den verwendeten Messverfahren

Parameter	Probenbehandlung	Messverfahren
<i>Labor:</i>		
Kationen	Filtration (CA 0.45 µm) Ansäuern 50 mg HNO ₃ ,	ICP-MS
Anionen	Kühlung bei 7°C	
SAK	Filtration (CA 0.45 µm) Kühlung bei 7°C	Spektralphotometrie Specord 40
<i>Gelände</i>		
pH	in situ	potentiometr. Messung mit Temperaturkompensation DIN 38 404
LF	in situ	elektrometr. Messung, Temperaturkorrektur EN 27 888
Temp.	in situ	elektrometr. Messung

Tabelle 4: Größenklassen mit Beispielseen aus dem Neuseenland

	Größenklasse	Beispiel NeuSeenland (in Klammern: Fläche in ha)
Kleinseen	1- 5 ha	Schulteich (4.7), Vollert-Nord (4.6)
mittelgroße Seen	5 - 50 ha	Lobitz (42), Mondsee (27)
große Seen	50 -500 ha	Cospuden (430), Markkleeberg (340), Bergwitz (160)
sehr große Seen	> 500 ha	Geiseltalsee (2100),Goitsche (1330), Störmthal (800)

Tabelle 5: Hydrochemische Daten ausgewählter Standgewässer im Neuseenland

See	Bockwitzsee		Bergwitzsee		Kayna-Stüd		Markkleeberger S.		Lobitzsee		Stbr. Kohlenberg		Kiessee Naunhof		Eschefeld (Großer Teich)	
Seetyp	1A		1B		1C		1E		2		3		4		5	
Datum	29.11.2004		02.12.2004		01.12.2004		29.11.2004		02.12.2004		08.12.2004		08.12.2004		29.11.2004	
Wassertyp	Ca-Na-SO ₄		Ca- SO ₄		Ca-Na-Mg- SO ₄ -Cl		Ca- SO ₄ -HCO ₃		Na-Ca-Mg- SO ₄ -Cl		Ca-Mg- HCO ₃ -SO ₄		Ca-Mg- SO ₄		Ca-Mg- SO ₄ - HCO ₃	
pH	3,3		8,3		8,2		8,0		7,9		7,8		5,4		7,9	
LF (µScm ⁻¹)	2360		845		2810		1839		2370		364		741		653	
Kationen	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l
Na ⁺	173,40	7,45	12,40	0,54	200,30	8,71	28,62	1,25	204,30	8,89	6,32	0,27	24,63	1,07	14,69	0,64
Mg ²⁺	33,73	2,78	15,79	1,30	92,90	7,64	56,20	4,62	73,70	6,06	11,33	0,93	21,20	1,74	19,20	1,58
K ⁺	3,94	0,10	6,18	0,16	17,74	0,45	5,37	0,14	25,40	0,65	3,33	0,08	4,80	0,12	5,07	0,13
Ca ²⁺	286,80	14,31	127,60	6,37	368,10	18,37	396,40	19,78	163,40	8,15	56,90	2,84	95,50	4,76	96,00	4,79
Mn ²⁺	1,31	0,05	0,14	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,09	0,00	0,64	0,02	0,06	0,00
Fe ²⁺	8,19	0,29	<0,05	0,00	<0,05	0,00	<0,05	0,00	<0,05	0,00	<0,05	0,00	0,20	0,01	0,06	0,00
Cu ²⁺	0,08	0,00	<0,05	0,00	<0,05	0,00	<0,05	0,00	<0,05	0,00	<0,05	0,00	<0,05	0,00	<0,05	0,00
Zn ²⁺	2,67	0,08	<0,04	0,00	0,05	0,00	<0,04	0,00	0,07	0,00	<0,04	0,00	0,17	0,01	0,05	0,00
Sr ²⁺	0,58	0,01	0,47	0,01	2,59	0,06	1,95	0,04	1,58	0,04	0,24	0,01	0,26	0,01	0,26	0,01
Anionen	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l
Cl ⁻	22,23	0,63	22,03	0,62	300,50	8,48	42,08	1,19	380,83	0,11	9,53	0,27	45,22	1,28	37,87	1,07
Br ⁻	<0,36	0,00	<0,36	0,00	0,70	0,01	<0,36	0,00	0,55	0,00	<0,36	0,00	0,36	0,00	<0,36	0,00
SO ₄ ²⁻	1190,0	24,78	382,60	7,97	1045,00	21,76	846,80	17,63	680,0	14,20	83,56	1,74	271,10	5,64	142,90	2,98
NO ₃ ⁻	1,35	0,04	1,97	0,06	<1,22	0,04	1,84	0,06	2,27	0,07	<1,22	0,04	<1,22	0,04	14,56	0,47
HCO ₃ ⁻	00,00	0,00	0,00	0,00	273,00	4,48	416,00	6,82	0,00	0,00	124,30	2,04	40,38	0,66	180,90	2,97
		meq/l		meq/l		meq/l		meq/l		meq/l		meq/l		meq/l		meq/l
Σ Anion		25,45		8,66		34,76		25,70		24,97		4,09		7,62		7,48
Σ Kation		25,16		8,38		35,24		25,84		23,79		4,14		7,75		7,15
Balance (%)		-0,57		-1,60		0,69		0,26		-2,42		0,67		0,79		-2,26

Tabelle 6: Aussüssung des Bergwitzsees 1967 - 2006. (Datenquellen JORDAN 1995, eigene Messungen)

	1967	1970	1993	2006
pH	3	3.3	7.13	8.3
Härte [°D]	51.2	22.9	24.6	21.5
Fe ges [mg/L]	14	7.5	n.b.	0.05
Mn ges [mg/L]	3.2	2.5	n.b.	0.145
SO ₄ ²⁻ [mg/L]	930	821	440	382