

Methode zur Ermittlung des Phosphoreintrags über das Grundwasser in den Barleber See bei Magdeburg

Stephan Hannappel und Alexander Strom (Berlin)

Zusammenfassung

Der Barleber See I ist ein etwa 1930 aufgeschlossener Kiesbaggersee, der ein wichtiges Badegewässer für Magdeburg darstellt. Er besitzt keinen oberirdischen Zu- oder Abfluss, wird also lediglich über das Grundwasser gespeist und entwässert. Nach langjährig wirksamer Eutrophierung des Sees erfolgte 1986 – erstmalig in der DDR – eine Sanierung mit Aluminiumsulfat, die den chemischen und ökologischen Zustand des Sees über viele Jahre stabilisieren konnte. Nach 30 Jahren waren dann aber ab dem Jahr 2016 abrupt erhebliche Phosphor-Konzentrationsanstiege und Massenentwicklungen von Cyanobakterien zu beobachten, die die Nutzung des Sees einschränkten. Vor einer weiteren chemisch induzierten Sanierung sollten daher zunächst mögliche externe Phosphor-Eintragsfrachten ermittelt werden, um die Nachhaltigkeit der Maßnahme gewährleisten zu können. Dies konnte durch die Quantifizierung der grundwasserbürtigen Phosphorfrachten in den Barleber See mit nur 13 kg/a im Zustrom erreicht werden. Ziel des Beitrages ist es, für einen typischen Fall der Gewässereutrophierung eine Methode zur Identifizierung möglicher externer Quellen des Stoffeintrages in das Gewässer vorzustellen.

Schlagwörter: Grundwasser, Phosphor, Eutrophierung, Baggersee, Seesanierung, Barleber See, Cyanobakterien

DOI: 10.3243/kwe2020.01.001

Abstract

Method to determine the amount of phosphorous entering Barleber See near Magdeburg via groundwater

The Barleber See I is a quarry pond open since roughly 1930 that is an important bathing lake for Magdeburg. It does not have above-ground inflow or outflow and is solely fed and drained via groundwater. After many years of effective eutrophication, the lake was the first in the German Democratic Republic to be restored using aluminium sulphate in 1986. This process managed to stabilise the lake's chemical and ecological status for many years. However, an abrupt steep growth in phosphorus concentration levels and explosion in cyano-bacteria levels were observed 30 years later starting in 2016. This led to restrictions on the use of the lake. Prior to another chemically induced restoration project, potential external phosphorous loads should first be identified to make sure that actions had a lasting impact. This was achieved by quantifying phosphorous loads from groundwater entering Barleber See at just 13 kg/a in the inflow. This article aims to present a method to identify potential external sources of substances entering the water body for a typical case of water body eutrophication.

Key words: groundwater, phosphorous, eutrophication, quarry pond, lake rehabilitation, Barleber See, cyano-bacteria

1 Einführung

Der Barleber See hat eine Oberfläche von etwa 103 ha, ein Seevolumen von etwa 6,9 Mio. m³ Wasser, eine maximale Tiefe von 9,8 Meter und eine mittlere Tiefe von 6,7 Meter. Der See verfügt über keinen direkten Zu- und Abfluss, wird jedoch ungehindert vom Grundwasser durchströmt. Beginnend in den 1960er Jahren des letzten Jahrhunderts unterlag der Barleber See einer stetigen Eutrophierung, in deren Zuge die Phosphorkonzentrationen von unter 10 µg/L auf über 150 µg/L angestiegen waren [1]. Zur Senkung der Phosphorkonzentration erfolgte 1986 eine Phosphorfällung durch Aluminiumsulfat. Insgesamt wurden 480 t Aluminiumsulfat in das Gewässer eingebracht, was einer durchschnittlichen Konzentration von 5,7 mg/L Al³⁺ entsprach. Diese Aluminiumbehandlung des Barleber Sees bewirkte eine erhebliche und nachhaltige Reduktion

der Phosphorkonzentration, die mit einer spürbaren Wasserqualitätsverbesserung einherging. Diese Verbesserung des Seeszustandes blieb über fast 30 Jahre stabil.

Mögliche seeinterne, langjährig wirksame Phosphor-Freisetzungen aus dem Sediment des bereits 1953 – erstmalig hinsichtlich von Eutrophierungserscheinungen – beschriebenen Sees [2] zeigt Abbildung 1.

Dabei konnte nicht sicher ausgeschlossen werden, dass ein externer Eintrag über das Grundwasser, z. B. aufgrund abwasserseitiger Einflüsse oder Altlasten, erfolgt. Das war Veranlassung der im Auftrag der Stadt Magdeburg durchgeführten [3] und hier beschriebenen Untersuchungen.

Östlich des Barleber Sees I schließt sich der Barleber See II an, der ebenfalls ein Baggersee ist, noch heute derart genutzt

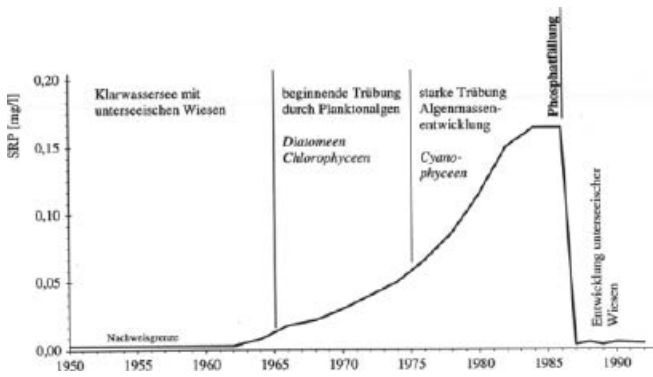


Abb. 1: Entwicklung der Phosphorkonzentration und des Phytoplanktons [aus: 3]

wird, aber nicht Gegenstand der Untersuchungen in [3] war. Auch im weiteren Umfeld existieren weitere genutzte Baggerseen (z. B. der Adamsee im Südwesten).

Abbildung 2 dokumentiert für das Umfeld des Untersuchungsgebietes am Barleber See die Flurabstände des Grundwassers. Die Karte enthält zudem die Lage von Grundwasserstandsmeßstellen des Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft (LHW) Sachsen-Anhalt mit zeitlich hochaufgelösten Messdaten zur Grundwasseroberfläche sowie von Bohrungen aus der frei verfügbaren Landesbohrdatenbank des Geologischen Landesamtes in Sachsen-Anhalt (LAGB), mit deren Hilfe hydrogeologische Profilschnitte (s. Abbildung 3) entlang der eingetragenen Profillinien erarbeitet wurden.

Auf Basis der Vorrecherche und der in [3] ausgesprochenen Empfehlungen wurden im Rahmen einer zweigeteilten geotechnischen Erkundung Grundwasser Sondierungen durchgeführt und auch stationäre Grundwassermeßstellen errichtet. Anschließend erfolgte die Untersuchung des Grundwassers im angrenzenden unbedeckten Grundwasserleiter und des Wassers sowie der Sedimente von westlich am Barleber See I vorbeifließenden oberirdischen Fließgewässern (s. Abbildung 4).

2 Ergebnisse der durchgeführten Feld- und Laboruntersuchungen

Den Fließgewässern wurden Schlammproben und den Grundwasser Sondierungen Aquifermaterial entnommen und laboranalytisch untersucht. Nach der intensiven Recherche, den Feldarbeiten und durchgeführten chemischen Analysen schloss sich eine hydrogeologische Systemanalyse mit Datenauswertungen und grundwasserseitigen Frachtberechnungen des Phosphoreintrags in den Barleber See I an. Beim Bau der Grundwassermessstellen wurde in der Regel auf eine Filterkies-schüttung verzichtet, um den im Gesamtphosphor enthaltenen partikulären Anteil im Grundwasserleiter besser zu erfassen (s. Abbildung 5).

Daraus ging hervor, dass der Gesamtphosphor-Gehalt (TP: total phosphor) in der Regel die Konzentration des gelösten Phosphors (SRP: soluble reactive phosphor) übersteigt. Im mittelsandigen Grundwasserleiter spielt er für den direkten Eintrag über den Grundwasserpfad in den Barleber See I keine Rolle. Die Partikel besitzen dennoch ein Phosphor-Quellpotenzial.

Die als Mischprobe entnommene Gewässersedimentprobe am Punkt B 3 (s. Abbildung 5 links) fand an der Mündung der Großen Sülze in die Schrote statt. Die organogene Mudde war hier mehr als einen Meter mächtig, ab 1,20 Meter Teufe wurde der anstehende Grundwasserleiter erbohrt.

Die hydrochemischen Analysen zeigten hinsichtlich des gelösten reaktiven Phosphors (Ortho-Phosphat-P bzw. SRP), dass von 36 Grundwasseranalysen nur vier über dem Hintergrundwert von 0,085 mg/l SRP [4] und lediglich zwei Analysen über dem Schwellenwert der Grundwasserverordnung von 2017 mit einer Konzentration von 0,163 mg/l SRP lagen, was die allgemein geringe Belastung des Grundwasserleiters mit Phosphor verdeutlicht.

Punktuell wurden in der Nähe des Barleber Sees erhöhte SRP-Konzentrationen im nördlichen Gebiet festgestellt. Diese

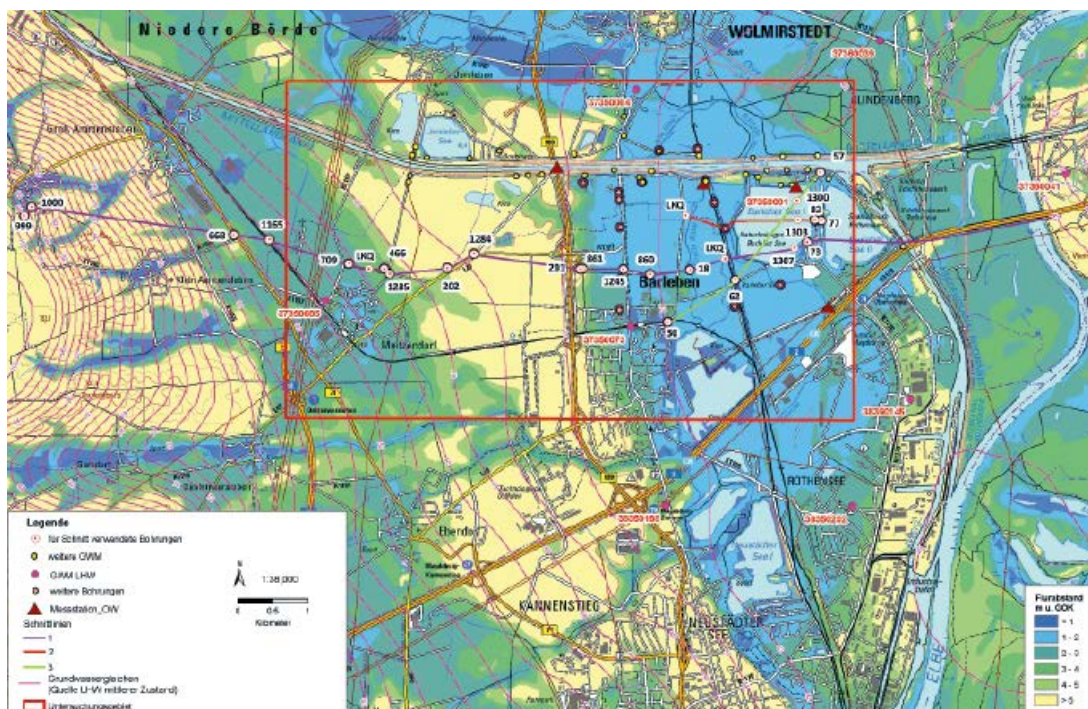


Abb. 2: Hydrogeologische Übersichtskarte zur Lage des Barleber Sees nördlich von Magdeburg

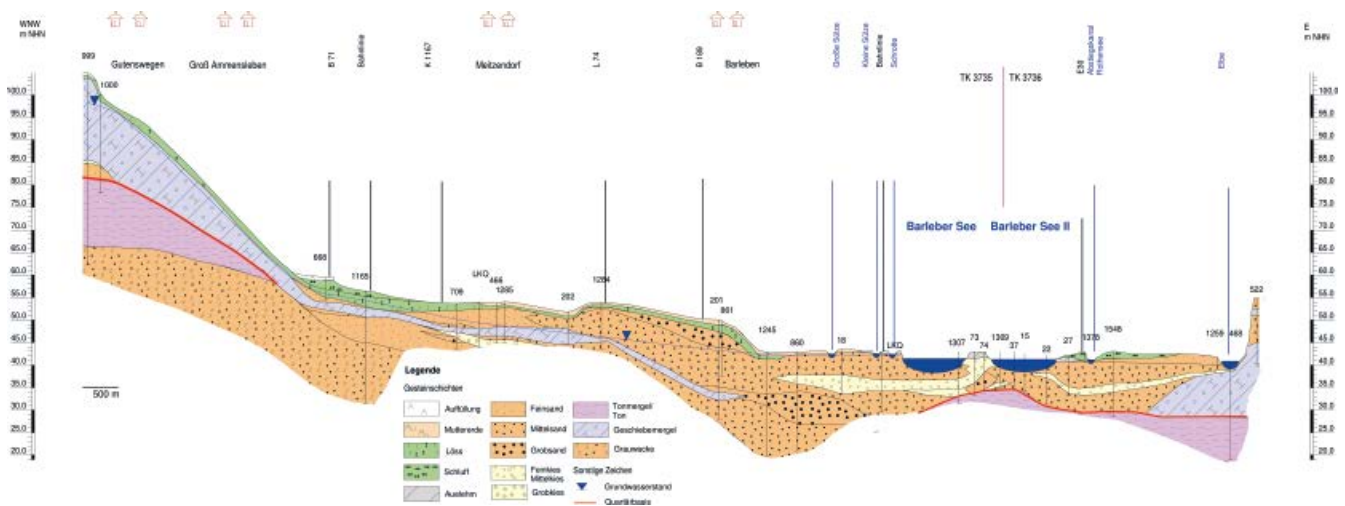


Abb. 3: Hydrogeologischer Schnitt durch das westliche Zustromgebiet des Barleber Sees bis zur Elbe

sind womöglich auf undichte Sickergruben zurückzuführen, worauf überschlägige Berechnungen hindeuten. Ein Eintrag in den Barleber See findet aufgrund des hydraulischen Gradienten jedoch nicht statt. Am südlichen Ufer des Barleber Sees konnten keine erhöhten Phosphor-Konzentrationen im Grundwasser, die aufgrund einer defekten Abwasserleitung erwartet wurden, festgestellt werden. Erhöhte Werte in der Aquifermatrix, die im Rahmen von Eluat-Untersuchungen in diesem Gebiet bei einer Grundwassermessstelle (GWM 05/19) festgestellt werden konnten, deuten an, dass mögliche Phosphoreinträge in das Grundwasser vom Aquifer gebunden wurden. Schwache Korrelationen zwischen Phosphor und Bor deuten ebenfalls eine geringe diffuse Belastung mit Abwasser an. Es ist jedoch zu betonen, dass sowohl die Phosphor- als auch die Bor-Konzentrationen im oberflächennahen Grundwassersystem flächendeckend gering sind.

Anhand der Flusssedimentanalysen der oberirdischen Gewässer wurden Zusammenhänge zwischen dem Gehalt an Gesamtphosphor und dem Eisen (Fe)- sowie dem Aluminium (Al)/Silikat (Si) -Verhältnis festgestellt. Daraus wurde abgeleitet, dass die Sorption an Eisen-(Hydr)oxiden und Tonmineralen in den oberirdischen Gewässern eine signifikante Rolle in der P-Dynamik spielen. Solche Prozesse finden auch im Grundwasserleiter statt. Die Eisengehalte im Aquifermaterial variieren jedoch stark, weshalb Heterogenitäten hinsichtlich des Phosphorrückhalts durch den Aquifer zu erwarten sind.

Im Zuge der Auswertungen wurden zwei weitere potenzielle Phosphorquellen identifiziert, eluierbares Phosphat aus dem Grundwasserleiter und des westlich am Barleber See vorbeifließenden Gewässers, der Schrote. Die Lösung von Phosphat aus dem Grundwasserleiter durch Sickerwasser ist eher unwahrscheinlich, da die Grundwasserneubildung in dem Niederungs-



Abb. 4: Übersichtskarte zur Lage der Grundwassersondierungen und Schlammprobenentnahmen

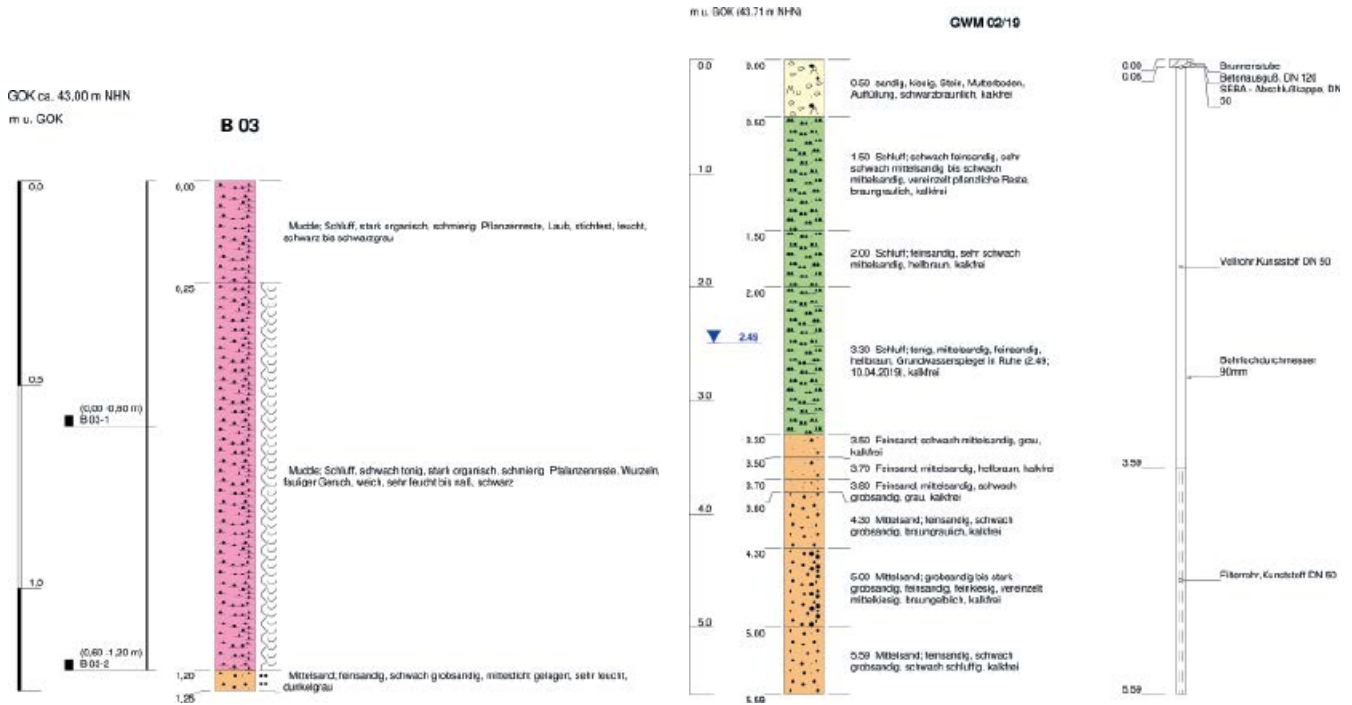


Abb. 5: Beispiel von Schichtenverzeichnissen mit stationären Ausbau und einer Gewässersedimentaufnahme

gebiet sehr gering ist. Eine Überwachung der P-Mobilisierung wurde jedoch im Rahmen eines regelmäßigen Monitorings empfohlen.

3 Bewertung des P-Eintragspfades vom Grundwasser in den Barleber See

Der Anstrom des Barleber Sees vom Grundwasser erfolgt aus westlicher bzw. südwestlicher Richtung senkrecht zur Uferlinie. Der hydraulische Gradient nimmt aufgrund der druckentlastenden Wirkung in Richtung des Sees ab und liegt bei ca. 0,07 %. Der Abstrom erfolgt nach Osten bzw. Nordosten nach durchschnittlich zwölf Jahren Verweilzeit. Anhand der Feststoffanalysen der Flussschlämme konnte abgeleitet werden, dass Zusammenhänge zwischen der TP-Konzentration und der Fe-Konzentration sowie dem Al/Si-Verhältnis bestehen. Dabei werden der Eisengehalt als Maß für Fe-(Hydr)oxide und das Al/Si Verhältnis als Annäherung für anteilige Tonminerale an der Aquifermatrix gesehen. Die positiven Korrelationen lassen sich durch die Sorption von Phosphor an den Fe-(Hydr)oxiden bzw. Tonmineralen erklären. Da diese Feststoffgruppen auch Bestandteile der Aquifermatrix sind, spielt die Sorption von Phosphaten nicht nur in den oberirdischen Gewässern, sondern ebenso im Grundwasserleiter eine Rolle. Die Proben des Aquifermaterials zeigten geringere Fe-Anteile von 4000 bis 23 000 mg/kg, daher ist das P-Sorptionsvermögen der Fe-(Hydr)oxide im Grundwasserleiter womöglich unterschiedlich ausgeprägt.

Wriedt und Randt [5] nutzen als Indikator für eine mögliche Phosphatfällung bei Kontakt von Grundwasser mit oberirdischen Gewässern ein Molverhältnis Fe+Mn:P von >2, das mit Ausnahme von Einzelfällen durch die vorliegenden Daten gegeben wäre. Folglich würde man eine Phosphatfällung bzw. -sorption in der Großen Sülze und Schrote erwarten. Der relativ starke Zusammenhang zwischen TP- und Fe-Konzentration in den Flussschlämmen belegt die Theorie. Konträr dazu wurden jedoch in den Schöpfproben der Schrote und großen Sül-

ze in drei von vier Fällen Redoxverhältnisse angetroffen, die sich nicht von denen im Grundwasser unterschieden. Es bestand also kein signifikanter Unterschied bezüglich des Redoxmilieus, das zu einer Phosphatfällung führen würde. Jedoch ist dieser Zustand in den oberirdischen Fließgewässern wahrscheinlich nicht permanent.

Die entnommenen Grundwasserproben wurden auf SRP und TP analysiert. SRP betrug in den Messstellen des nahen Anstroms des Barleber Sees durchschnittlich ca. 0,02 mg/l, während die TP-Konzentrationen, die den partikelgebundenen Phosphor einschließen, im Mittel bei etwa 0,35 mg/l lagen. Dies wurde vorwiegend auf den Verzicht einer Filterkiesschüttung beim Bau der Grundwassermessstellen zurückgeführt, sodass partikelgebundene P-Fractionen durch den Filterbereich der Grundwassermessstelle nicht zurückgehalten wurden. Der P-Eintrag in den Barleber See wird allerdings nur auf den Lösungstransport zurückgeführt. Ein signifikanter Eintrag von Partikeln über das Grundwasser in den Barleber See wird aufgrund der Beschaffenheit des Grundwasserleiters und der Seesedimente ausgeschlossen. Die TP-Konzentrationen können daher nicht für die Frachtberechnung herangezogen werden, sondern es wird die unter den herrschenden Umständen mobile Fraktion (SRP) verwendet.

Im Rahmen der Analyse des Eintragspfades Grundwasser – Barleber See wurden weitere potenzielle P-Quellen identifiziert und deren potenzieller Eintrag diskutiert:

- eluierbarer Phosphor (S4) aus dem Aquifersediment,
- hohe P-Gehalte im benachbarten oberirdischen Gewässer (Schrote).

Die Zweifel der Freisetzung des Phosphors aus dem Aquifersediment durch das Sickerwasser bestehen neben den Unsicherheiten aufgrund der Versuchsanordnung in der geringen Grundwasserneubildungsrate von zumeist weniger als 25 mm in der Region (Daten des LHW). Geringe Neubildungsraten

führen zwar naturgemäß zu einer schwachen Verdünnung, jedoch sind damit auch die Frachten aufgrund des begrenzten Transportpotenzials gering.

Zum saisonalen P-Eintrag durch die Schrote in das Grundwasser und damit über kurze Fließstrecken in den Barleber See kann auch keine sichere Aussage getroffen werden, da die hydraulischen Verhältnisse bei hohen P-Konzentrationen in der Schrote in den Sommermonaten zu klären wären. Die absoluten Höhen der Gewässer liegen auf einem ähnlichen Niveau, weshalb bei gegebener hydraulischer Verbindung ein Eintrag als möglich erscheint.

4 Bilanzierung der Phosphorfrachten

Auf Grundlage der durchgeführten Untersuchungen und den daraus geschlossenen entscheidenden Mechanismen in Hinblick auf den Phosphoreintrag in den Barleber See, können quantitative Ansätze zur Abschätzung der P-Frachten verfolgt werden. Als Methodik wurde ein engmaschiges Netz an Grundwasseraufschlüssen im Zustrombereich des Sees verwendet, um die Grundwasserhydraulik sowie die gelöste P-Fraktion detailliert zu erfassen. Anhand der hydraulischen Verhältnisse im Grundwasser wurde der unterirdische Zustrombereich ausgewiesen. Dieser wurde in Lamellen diskretisiert und für jede Lamelle die Phosphorfracht berechnet. Mit der zusätzlichen vertikalen Unterteilung konnten die Frachten hinreichend genau abgebildet werden, um sensible Bereiche hinsichtlich des Phosphoreintrags im Zustrom zu identifizieren.

Die Phosphorbilanz ergibt sich aus den Phosphorfrachten im Zustrom abzüglich der Komponenten im Abstrom. Maßgeblich für die jeweiligen Frachten sind:

- die gemessene SRP-Konzentration,
- die Abstandsgeschwindigkeit und
- die Größe der senkrecht angeströmten Fläche.

Mittels Multiplikation aus der Massenkonzentration des Stoffes, der Strömungsgeschwindigkeit des Grundwassers und des Fließquerschnitts, wurden die Frachten abschnittsweise für den Zustrom für die Fließquerschnitte i bis N berechnet und deren Summe (F_{SRP}) gebildet:

$$F_{SRP} = \sum_{i=1}^N v a_i \cdot A_i \cdot c_i$$

mit

- v die Abstandsgeschwindigkeit nach DARCY,
- A die Zustromfläche,
- c die Massenkonzentration SRP und
- N die Anzahl der Fließquerschnitte.

Die Abstandsgeschwindigkeit v jedes Fließquerschnitts i errechnet sich dabei folgendermaßen:

$$v a_i = \frac{k f_i \cdot j_i}{n e_i}$$

Hierbei entsprechen:

- k der hydraulischen Durchlässigkeit,
- j dem hydraulischen Gradienten und
- n der durchflusswirksamen Porosität.



Abb. 6: Fließquerschnitte im Zustrom mit SRP-Frachten in kg/a (Überhöhung 1 : 150)

Die Berechnung der Abstromfracht erfolgte analog. Bei der Ausweisung der Fließquerschnitte wurde eine horizontale sowie vertikale Segmentierung vorgenommen. Bei der Unterteilung wurden die Messnetzdichte sowie signifikante Änderungen des hydraulischen Gradienten, Lithologiewechsel (hydraulische Durchlässigkeit und durchflusswirksame Porosität) und Konzentrationsänderungen berücksichtigt. Jedem Fließquerschnitt wurde eine repräsentative temporäre Sondierung oder stationäre Grundwassermessstelle zugewiesen.

Die Volumenströme des Grundwassers (Abstandsgeschwindigkeit multipliziert mit der angeströmten Fläche) sind neben den Konzentrationen maßgeblich für die Frachten und können mittels Wasserbilanz einer Plausibilitätskontrolle unterzogen werden. Nach den offiziellen Daten des LHW zur Grundwasserneubildung handelt es sich beim Barleber See aus Sicht des Wasserhaushalts um einen Zehrungskörper (negative Grundwasserneubildung), dessen Wasserdefizit aufgrund der Verdunstung der freien Wasseroberfläche mit ca. 190 mm/a beziffert wird. Bezogen auf die Seefläche beträgt das Defizitvolumen etwa 200 000 m³. Dieses Volumen wird durch die positive Bilanz des Grundwasserstroms weitestgehend ausgeglichen. Aus den vorliegenden Daten und der angewandten Methodik ergibt sich ein Grundwasserzustromvolumen von etwa +640 000 m³ und ein Abstromvolumen von rund -530 000 m³. Mit einer Bilanz von +110 000 m³ Überschuss liegt diese in der Größenordnung des Defizitvolumens, das damit ausgeglichen wird. Angesichts der Unschärfen, die auf die Methodik zurückzuführen sind, ist die Plausibilität anhand des Wasserhaushalts im Rahmen der verfolgten Methodik damit gegeben.

Die durchschnittlichen SRP-Konzentrationen der verwendeten GWM im nahen Zustrom bewegten sich zwischen 0,0015 und 0,077 mg/l mit einem Mittelwert von 0,016 mg/l. Somit lagen sie auf einem niedrigen Niveau im Vergleich zum Barleber See und den oberirdischen Gewässern. Im Abstrom lagen die Konzentrationen der zwei Messstellen BK 160 und AKR 2/92 unterhalb der BG, d. h. es wurden konstant 0,0015 mg/l für den Abstrom verwendet. Die höchste Konzentration von 0,035 mg/l trat in der GWM 05/19 auf, die allerdings im südlichen Übergangsbereich liegt. Somit floss sie nicht in die Frachtberechnung mit ein.

In Abbildung 6 sind die Fließquerschnitte des Zustroms dargestellt. Dabei handelt es sich in Summe um etwa 13 kg/a P, die über das Grundwasser in den Barleber See eingetragen werden. Die meisten Fließquerschnitte weisen dabei eine geringe Fracht <1 kg/a auf (Grüntöne). Zwei Fließquerschnitte im oberen Bereich von A4 zeigen Auffälligkeiten aufgrund erhöhter Frachten von je 4 und 6 kg/a P.

Diese Fließquerschnitte repräsentieren nur ca. 15 % der gesamten angeströmten Fläche im Zustrom, sind jedoch für mehr

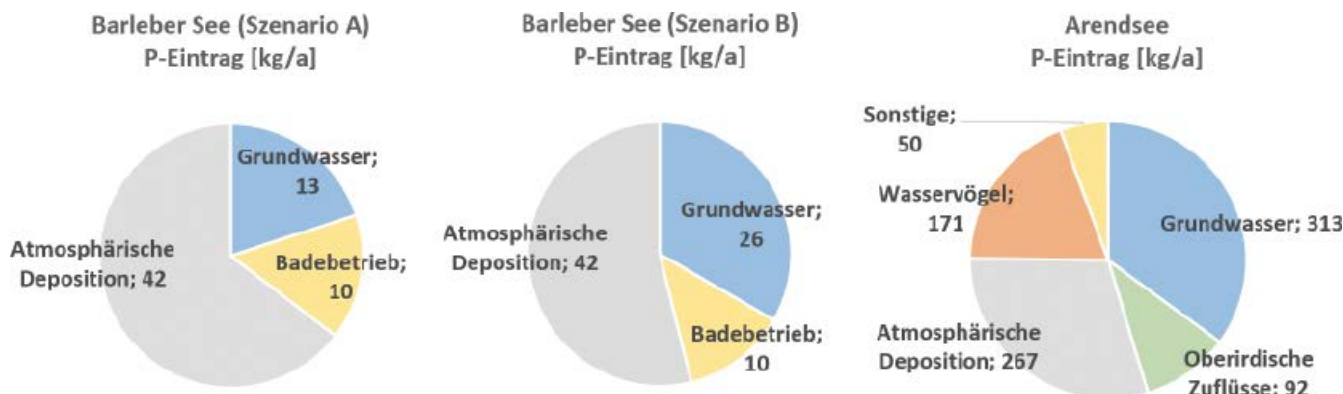


Abb. 7: Anteile und absolute Einträge der externen Phosphorfrachten (nur Zustrom) unter aktuellen Bedingungen im Grundwasser (A) und unter Bedingungen, die zur Aktivierung des Freisetzungspotenzials führen (B) für den Barleber See (links und Mitte) sowie entsprechende Eintragskomponenten des Arendsees (rechts); Daten Arendsee [6]

als 75 % der Phosphorfracht verantwortlich. Als repräsentative Messstelle für den Fließquerschnitt A4 wurde die Sondierung S 06 gewählt. Sie zeichnet sich lithologisch durch Mittel- bis Grobsande mit Kiesfraktionen und entsprechend hohen Abstandsgeschwindigkeiten von ca. 80–90 m/a aus. Zudem wurden im oberen Bereich der S 06 die höchsten SRP-Konzentrationen von 0,077 mg/l im nahen Zustrom gemessen. Die relativ zu den anderen Fließquerschnitten hohen P-Frachten sind also einerseits auf die hydraulischen Eigenschaften und andererseits auf die erhöhte Konzentration zurückzuführen. Die Sondierung S 06 liegt in etwa 400 m Entfernung vom Ufer des Barleber Sees. Auf dieser Fließstrecke wäre ein P-Rückhalt durch die Aquifermatrix durchaus möglich, sodass der tatsächliche Eintrag möglicherweise geringer ausfällt. Aus diesem Grund liegt der reale P-Eintrag womöglich unter 13 kg/a.

5 Abschätzung weiterer externer Phosphorfrachten in den Barleber See

Neben den potenziellen grundwasserbürtigen Einträgen von Phosphor in Seen spielen weitere externe P-Quellen eine wichtige Rolle. Bei der Betrachtung der externen Phosphorfrachten werden lediglich Einträge durch atmosphärische Deposition, durch Badebetrieb und das Grundwasser betrachtet. Direkte Einleitungen von geklärtem Abwasser sind nicht vorhanden. Darüber hinaus wird auch der P-Eintrag durch Erosion und Oberflächenabfluss vernachlässigt, da die Hanglängen im Osten durch den Barleber See II und im Westen durch das unmittelbar angrenzende Fließgewässer (Schrote) sehr kurz sind. Im Norden und Süden befinden sich Siedlungen mit geringem Erosionspotenzial. Weitere mögliche externe Phosphoreinträge wurden bereits von Rinke et al. (2018) aufgezeigt. Dazu gehören: externe P-Einträge durch:

- das Grundwasser,
- den Badebetrieb und
- die atmosphärische (nasse und trockene) Deposition.

Der Eintrag über das Grundwasser konnte bisher nicht beziffert werden, jedoch wurde das Kenntnisdefizit mit der vorliegenden Studie beseitigt. Die übrigen Abschätzungen wurden geprüft.

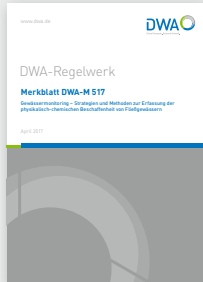

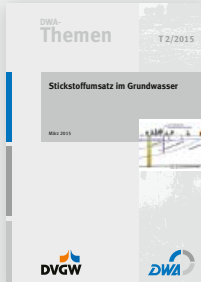
Im Zuge der Abschätzung des P-Eintrags durch den Badebetrieb wurden von [3] geschätzte Angaben zur Anzahl der Ba-

degäste pro Jahr (Umweltamt Magdeburg) und ein durchschnittlicher P-Eintrag von 9,4 g P je 100 Badegäste von [7] verwendet. Der Eintrag wurde mit etwa 10 kg beziffert und wird als plausibel angesehen. Zu Quantifizierung des P-Eintrags durch die atmosphärische Deposition wurden von [9] Messungen vom Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt –0,26 kg P/(ha a) an der Rappbode-Talsperre) und von [8] 0,58 kg P/(ha a) am Arendsee – herangezogen. Die Werte stehen in relativ guter Übereinstimmung zueinander. Der Mittelwert beträgt dabei 0,42 kg P je Hektar im Jahr, woraus sich durch Multiplikation mit der Seefläche eine mittlere Fracht von 42 kg P/a ergibt.

Die Summe der externen Einträge liegt bei 65 kg P/a (ohne Betrachtung des Freisetzungspotenzials), wobei der höchste Anteil von über der Hälfte auf die atmosphärische Deposition fällt. In Abbildung 7 sind für zwei Fälle (links und Mitte) die

Anzeige

Unser Expertentipp

 <p>DWA-M 517</p> <p>Gewässermonitoring – Strategien und Methoden zur Erfassung der physikalisch-chemischen Beschaffenheit von Fließgewässern April 2017 74 Seiten, A4 ISBN 978-3-88721-440-1 88,00 €/70,40 €* * für fördernde DWA-Mitglieder ** für DWA-Mitglieder</p>	 <p>DWA-M 606</p> <p>Grundlagen und Maßnahmen der Seentherapie Dezember 2006 114 Seiten, A4 ISBN 978-3-939057-61-1 61,00 €/48,80 €* * für fördernde DWA-Mitglieder ** für DWA-Mitglieder</p>	 <p>DWA-Themen T 2/2015</p> <p>Stickstoffumsatz im Grundwasser März 2015 87 Seiten, A4 ISBN 978-3-88721-225-4 92,00 €/73,60 €* * für fördernde DWA-Mitglieder ** für DWA-Mitglieder</p>
---	---	--

Anteile der externen P-Frachten in den Barleber See als Übersicht aufgeführt. Für das Szenario A (ohne P-Freisetzungspotenzial im Aquifer) fällt die grundwasseranteilige Phosphorfracht mit ca. 20 % relativ gering aus. Unter Berücksichtigung des P-Freisetzungspotenzials aus dem Aquifer (Szenario B) kann sich der Anteil auf ca. 32 % erhöhen. Im Vergleich zum Arendsee (s. Abbildung 7, rechts) entfallen oberirdische Zuflüsse und der P-Eintrag durch Wasservögel. Sonstige Einträge (Badebetrieb und Laubfall) fallen etwas geringer aus als beim Barleber See. Der Anteil des Grundwassers ist beim Barleber See etwas geringer (Szenario A) bzw. sehr ähnlich (Szenario B).

Aus den Ergebnissen lässt sich schließen, dass der grundwasserbürtige P-Eintrag unter den externen Faktoren keine dominante Rolle hinsichtlich des P-Eintrags in den Barleber See einnimmt und daher nicht in signifikantem Maß zu dessen Phosphorbelastung beiträgt. Auch unter Einbezug weiterer externer P-Quellen ist keine überdurchschnittliche Phosphorbelastung des Sees erkennbar.

6 Resumé

Die Möglichkeit eines P-Eintrags durch die Schrote über den Pfad oberirdisches Gewässer – Grundwasser – Barleber See besteht aufgrund saisonal erhöhter Phosphatkonzentrationen, der gegebenen Wegsamkeit und der geringen Entfernung zum Barleber See. Ein Eintrag konnte aufgrund geringer SRP-Konzentrationen in entsprechenden Grundwassermessstellen für die durchgeführten Messkampagnen nicht nachgewiesen werden. Die Möglichkeit des P-Eintrags zu anderen Zeitpunkten ist jedoch nicht auszuschließen.

Die grundwasserbürtigen Phosphorfrachten in den Barleber See wurden mit 13 kg/a im Zustrom beziffert. Weitere externe Zuströme umfassen den P-Eintrag durch atmosphärische Deposition (42 kg/a) und durch Badebetrieb (ca. 10 kg/a). Insgesamt werden durch externe Quellen 65 kg P/a in den Barleber See eingetragen, wobei der Anteil der grundwasserbürtigen Fracht bei 20 % liegt. Der Austrag beläuft sich auf ca. 1 kg/a und ist damit vernachlässigbar. Folglich fungiert der Barleber See als Phosphorsenke. Setzt man den Eintrag externer P-Quellen zur mittleren Seetiefe und der mittleren Verweilzeit nach [10] in Beziehung, handelt es sich um einen oligotrophen bis mesotrophen Kiesbaggersee. Eine übermäßige Phosphorbelastung des Barleber Sees aufgrund externer Einträge kann damit nicht festgestellt werden. Somit können die externen Quellen auch nicht für den rapiden Anstieg der SRP-Konzentration in Sommermonaten, wie z. B. in den Jahren 2016 und 2017, verantwortlich sein.

Mit großer Wahrscheinlichkeit sind dynamische seeinterne Vorgänge für die sprunghaften Konzentrationsanstiege in Sommermonaten verantwortlich. Die ermittelten P-Freisetzungsraten von [3] waren mit 15,5 mg/l im anoxischen Milieu bei erhöhten Temperaturen von 20 °C sehr hoch. Die volumengewichteten P-Gehalte für das Jahr 2017 abzüglich der üblichen P-Gehalte im Barleber See beliefen sich auf ca. 2500 kg Phosphor, was in Übereinstimmung mit der reduktiven Lösung von 10 % des sich am Seegrund befindlichen gebundenen Phosphors steht. Die seeinterne P-Dynamik wurde damit hauptverantwortlich für die Freisetzung von Phosphor im Barleber See in den Sommermonaten gemacht. Unsicherheiten bestanden hinsichtlich eines möglichen Beitrags durch das Grundwasser,

defekte Abwasserleitungen oder Altlasten. Diese Unsicherheiten konnten mit der vorliegenden Studie und den damit verbundenen Feldarbeiten, Messungen und Datenauswertungen weitgehend ausgeräumt und damit eine wichtige Voraussetzung zur Sanierung des Sees gegeben werden. Aktuell (September 2019) wurde daher mit der Sanierung des Sees begonnen.

Aus den Ergebnissen wurde ein Konzept für ein zukünftiges Grundwassermonitoring ausgearbeitet mit dessen Hilfe langfristige Aussagen zum Eintrag von Phosphor aus dem Grundwasser abgeleitet werden sollen. Damit kann der Wissensstand zum Ökosystem Barleber See langfristig gefestigt und erweitert werden, um zukünftigen Umweltproblemen, die die Nutzung des Sees erheblich einschränken, zu begegnen. Eine Übertragbarkeit der Methode auf andere, grundwassergespeiste Seen in Lockergesteinsgrundwasserleitern ist methodisch denkbar, muss jedoch jeweils im Einzelfall geprüft werden.

Literatur

- [1] Klapper, H. (1976): *Oligotrophierung eines tiefen geschichteten Sees in einem Erholungsgebiet durch Ableitung des Tiefenwassers.* – *Limnologica* 10, 587–593.
- [2] Bauch, G. (1953): *Der Barleber See. Mitteilungen für Naturkunde und Vorgeschichte.* Aus dem Museum für Kulturgeschichte in Magdeburg. 3(17): 173–183.
- [3] HYDOR (2019): *Identifizierung der externen Eintragsquellen von Phosphor über den Grundwasserpfad in den Barleber See I – ingenieurtechnische Begleitleistungen inkl. technischer Feldarbeiten.* – Gutachten der HYDOR Consult GmbH im Auftrag der Landeshauptstadt Magdeburg (unveröff.).
- [4] Bormann, S., Hannappel, S. & E. Barthel (2019): *Geogene Hintergrund- und Schwellenwerte für das Grundwasser in Sachsen-Anhalt.* – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, HyWa_2019, Heft 4, Koblenz, DOI: 10.5675/HyWa_2019.4_2.
- [5] Wriedt, G. & Randt, C. (2019): *Phosphat im Grundwasser Niedersachsens – Verteilung, Einflussfaktoren und Schwellenwert.* – *Grundwasser*, 24:109–127, Springer Verlag, Heidelberg.
- [6] Hannappel, S., Köpp, C. & E. Rejman-Rasinska (2018): *Aufklärung der Ursachen der hohen Phosphorbelastung des oberflächennahen Grundwassers im hydraulischen Zustrom zum Arendsee in der Altmark.* – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, HW 62. 2018, H.1 DOI: 10.5675/HyWa_2018.1_2, Koblenz.
- [7] Schulz, L. (1981): *Nährstoffeintrag in Seen durch Badegäste.* Zbl. Bakt. Hyg., 1. Abs. Orig. B 173:528–548.
- [8] Meinikmann, K., Lewandowski, J. & M. Hupfer (2015): *Phosphorus in groundwater discharge – A potential source for lake eutrophication.* – *Journal of Hydrology* 524, pp. 214–226, Elsevier.
- [9] Rinke, K., Schultze, M., Rönicke, H., Friebe, K., Lella, R. & T. Dadi (2018): *Entwicklung der Wasserqualität des Barleber Sees, Abschätzung der internen Nährstoffbelastung und Handlungsempfehlungen für Wassergüteverbesserungen.* – Hrsg.: Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ GmbH, Department Seenforschung, Magdeburg (unveröff.).
- [10] Benndorf, J. (1979): *A Contribution to the Phosphorus Loading Concept.* *Int. Revue ges. Hydrobiol. Hydrogr.*, 64: 177–188.

Autoren

Dr. Stephan Hannappel
M.Sc. Alexander Strom
HYDOR Consult GmbH
Am Borsigturm 40
13507 Berlin

E-Mail: hannappel@hydor.de

