

Bergbauseen na sanieren



chhaltig und nutzen



Bergbauseen als Umweltproblem

S. 30

⇒ Phosphor – ein Langzeitrisiko für die Bergbauseen?

S. 34

⇒ Geschichtet – nicht gemischt

S. 37

Tagebauseen werden künftig ein Viertel aller stehenden Gewässer in Deutschland ausmachen. Ihre Wasserqualität beeinflusst den Wasserhaushalt ganzer Regionen. Doch diese vom Menschen geschaffenen Seen sind oft sauer oder anders belastet. Gewässerforscher, Biologen und Verfahrensingenieure des UFZ erforschen deshalb die mikrobiologischen und chemischen Prozesse, um Prognosen zu erstellen und Verfahren zur nachhaltigen Sanierung zu entwickeln.

Sprecherin des Forschungsthemas „Sanierung und nachhaltige Nutzung von Bergbauseen“:
Dr. Katrin Wendt-Potthoff, wissenschaftliche Mitarbeiterin im Department Seenforschung





Restloch 107 in der Lausitz – außer Mikroorganismen ist im See kein Leben zu finden.



Vergleichende Untersuchungen in sauren Gewässern vulkanischen Ursprungs in Argentinien. Können die Wissenschaftler von den dort vorkommenden Mikroorganismen lernen?



Katrin Wendt-Potthoff und Tilo Arnholt

Bergbauseen als Umweltproblem

In Deutschland gibt es bereits mehr als 350 Bergbauseen. Durch die Schließung vieler Braunkohle-tagebaue seit 1990 entstehen derzeit allein im Osten Deutschlands weitere 120 Seen. In der Um-gebung von Cottbus, Leipzig oder Köln wird es künftig regelrechte Seenplatten geben – wie jetzt schon in Mecklenburg, Brandenburg oder Schleswig-Holstein. Das Wasser vieler Seen ist mit pH-Werten um 2,5 bis 3,5 extrem sauer und reich an Eisen und Sulfat – bedingt durch den Schwefel-gehalt der Braunkohle und der sie umgebenden Erdschichten. Summiert ergeben diese schwefelsauren Wässer etwa drei Kubikkilometer, was ungefähr der Wassermenge des Starnberger Sees entspricht. Dort, wo die Seen Kontakt zum Grundwasser oder zu Flüssen haben, können sie weitere Wasser-ressourcen beeinträchtigen oder gefährden. In Deutschland stellen sie eines der schwerwiegendsten dauerhaften Umweltprobleme dar. Aber auch weltweit nehmen Zahl und Bedeutung von Bergbauseen immer mehr zu, sei es in den Kohlerevieren von Polen, Tschechien oder China oder in ehemaligen Erztagebauen in den USA, Kanada, Russland, Spanien oder Australien.

Sauer wie Essig

Viele der Seen sind schon seit Jahrzehnten sauer und bieten deshalb keinen Lebensraum für Fische oder andere höhere Organismen. Genauso wenig können die Menschen in der Region sie als Wasserspeicher, für Wassersport oder zum Baden und Angeln nutzen. Dabei bietet gerade die Bergbaufolgelandschaft einzig-artige Gestaltungsmöglichkeiten, an die nach dem Abschluss der Braun-kohleförderung auch Hoffnungen für die wirtschaftliche Entwicklung der Region durch Tourismus geknüpft werden. Die

Neugestaltung der Bergbaufolgeland-schaft vollzieht sich mittelfristig im Naturraum und in der Gesellschaft. Die begleitende Forschung muss also multi-disziplinär mit einem weiten Zeit-horizont angelegt sein. Das Umwelt-forschungszentrum Leipzig-Halle hat sich in Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen in einem langfristigen Forschungsvorhaben das Ziel gesteckt, eine Neutralisierung von Bergbauseen mit möglichst einfachen und kostengünstigen Verfahren zu erreichen. Dabei sollen natürliche Entwicklungspotenziale der Gewässer

angestoßen und genutzt werden, um die Seen nachhaltig zu sanieren. Damit die Entwicklung der Seen in solcher Weise gesteuert werden kann, muss man außer der Chemie schwefelsaurer Wässer auch die Funktionsbeziehungen der mikrobiellen Lebensgemeinschaft verstehen. Bei diesen Untersuchungen gewinnen die UFZ-Biologen grundle-gende Erkenntnisse über die ökologi-schen Wechselbeziehungen in Nahrungs-netzen, die in „normalen“ Seen mit einer Vielzahl von Arten und Ernährungs-ebenen gar nicht direkt untersucht werden können. 



WISSENSWERTES

Der Begriff **pH-Wert** ist von den lateinischen Wörtern für die Menge des Wasserstoffs abgeleitet und ist laut chemischer Definition der negative dekadische Logarithmus der Wasserstoffionenaktivität. Er gibt an, wie sauer oder basisch eine Lösung ist. Werte unter 6 gelten als sauer, Werte über 8 als basisch. Reines Wasser ist neutral und hat den pH-Wert 7.

Viele Disziplinen – ein Ziel

Für die Beschaffenheit und Entwicklung des Wassers in der Bergbaufolgelandschaft ist auch die Wechselwirkung der Seen mit dem Grundwasser im Bereich der Sedimente wichtig. Darüber ist bisher nur wenig bekannt. Natürliche und künstlich zugesetzte Tracer bieten hier erste Ansatzpunkte. Um herauszufinden, was beim Durchtritt des Grundwassers durch den Seeboden und entsprechend beim Abstrom von Seewasser passiert, müssen auch neue Untersuchungsmethoden entwickelt werden. Bevor sie an Firmen oder Ingenieurbüros weitergegeben werden können, müssen sie vor Ort getestet werden. Ein wesentliches Ziel ist es, auch über den einzelnen See hinaus Entwicklungen verstehen und vorhersagen zu können. Dadurch sind Handlungsempfehlungen für die Bergbaugesellschaften und die Politik möglich. Dazu gehen die Erkenntnisse von

Chemikern, Biologen, Physikern und Ingenieuren in die Entwicklung von Modellen ein, die sowohl die Hydrodynamik als auch die Biologie sowie die Chemie der Wassersäule und der Seesedimente berücksichtigen. Solche Modelle können helfen, den Aufwand der Datenerfassung zu reduzieren. Gleichzeitig steigen damit die Chancen, die Erkenntnisse aus den Mitteldeutschen und Lausitzer Braunkohlerevieren in andere klimatische Regionen zu übertragen. Dies ist ein

wichtiges Ziel, da Tagebauseen ein weltweites Umweltproblem darstellen. Vor allem sollen Modelle als Prognoseinstrument für die Planung dienen, um Tagebaue effektiv zu rekultivieren und optimal zu nutzen. Um dieser anspruchsvollen Aufgabe gerecht zu werden, unternehmen die Wissenschaftler der verschiedenen Disziplinen gemeinsame Untersuchungskampagnen und bereiten ihre Messdaten füreinander auf. Während Mikrobiologen Anzahl, Arten und Aktivitäten der beteiligten Mikroorganismen mit klassischen und molekularbiologischen Methoden und Mikrosensoren untersuchen, bewerten Chemiker und Geologen die Entwicklung des geochemischen Milieus und der Nährstoffe in Wasser und Sediment. Gewässerphysiker analysieren die Schichtung und die damit verbundenen Stoff- und Energieflüsse im See im Laufe der Jahreszeiten. Außerhalb des UFZ sind vor allem

Bevor Verfahren in der Praxis getestet werden können, gehen oft lange Versuchsreihen und Experimente im Labor voraus.



WISSENSWERTES

Bei der **Sulfatreduktion** wird Schwefelsäure zu Schwefelwasserstoff umgewandelt. Das geschieht unter Abwesenheit von Sauerstoff durch spezielle Mikroorganismen, die mit Sulfat atmen und dabei das Wasser neutralisieren. Die bakterielle Sulfatreduktion ist ein wichtiger Abschnitt im Schwefelkreislauf der oberen Erdschichten.

die Universität Potsdam, die Brandenburgische Technische Universität Cottbus und das Centre for Water Research (CWR) im australischen Perth an diesem langfristigen Forschungsvorhaben beteiligt.

Ostdeutsche Seen als Vorbild?

Der Test neuer Sanierungsverfahren im Großversuch kann nicht durch Umweltforscher alleine bewerkstelligt werden. Bei der technischen Umsetzung – wie zum Beispiel dem Bau von großen Enclosures und Bioreaktoren – arbeiten sie deshalb eng mit Ingenieurbüros und Spezialfirmen zusammen. Eine zentrale Rolle bei der Gestaltung der Bergbaufolgelandschaft in der Lausitz und in Mitteldeutschland spielt die für den Sanierungsbergbau zuständige Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft (LMBV), mit der seit vielen Jahren eine enge und konstruktive Zusammenarbeit besteht.

Die LMBV hat großes Interesse, Forschungsergebnisse aus erster Hand zu erhalten und zu nutzen und muss als verantwortliche Stelle natürlich auch auf Risiken vorgeschlagener Maßnahmen, Finanzierbarkeit und Akzeptanz bei den Betroffenen achten. Deshalb bringt die LMBV konkrete Nachfragen und Vorschläge zur Entwicklung der Forschungsarbeiten ein. Sie finanziert auch andere Forschungs- und Entwicklungsprojekte im Bergbau-sektor und beruft Mitarbeiter des UFZ

in die entsprechenden Projektbeiräte. Für die Forscher ist die LMBV die zentrale Schnittstelle gegenüber weiteren für die Untersuchungsgebiete zuständigen Behörden wie etwa den Bergämtern.

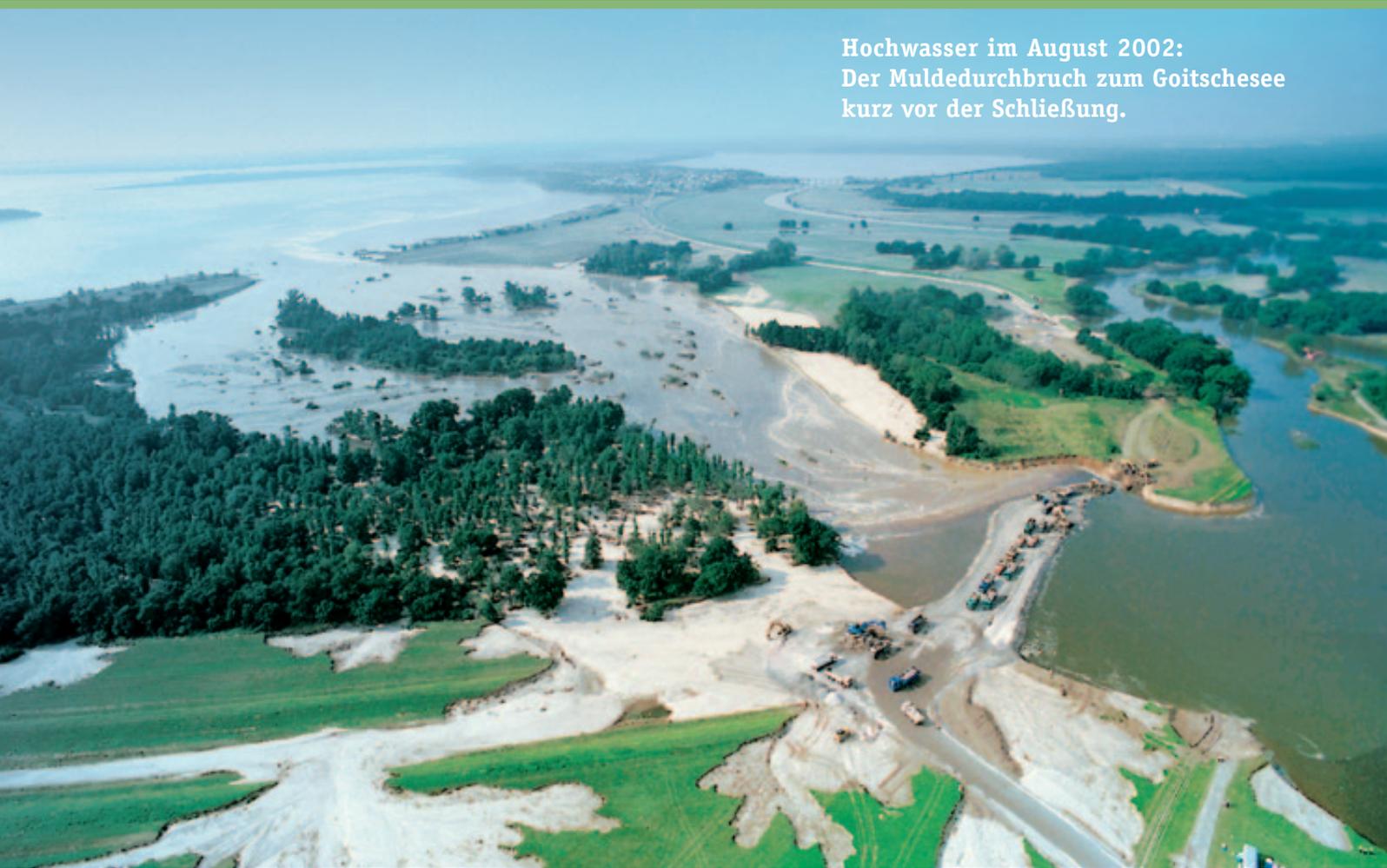
In der Zukunft ist eine zunehmende Tendenz zu erwarten, Bergbautätigkeit in Gebiete der Welt zu verlagern, in denen wesentlich geringere Umwelt- und Sozialstandards gelten als derzeit im europäischen Raum und in denen entsprechend wenig Mittel für begleitende Forschungen zur Verfügung stehen. Deshalb wollen die UFZ-Forscher und ihre Partner mit den hier gewonnenen Erkenntnissen helfen, auch andere vom Bergbau betroffene Landschaften zu rekultivieren – ganz im Sinne eines nachhaltigen Umganges mit natürlichen Ressourcen. ■

Die Biologin Dr. Katrin Wendt-Potthoff ist wissenschaftliche Mitarbeiterin im Department Seenforschung.

Martin Schultze und Tilo Arnhold

Phosphor – ein Langzeitrisiko für die Bergbauseen?

Hochwasser im August 2002:
Der Muldedurchbruch zum Goitschesee
kurz vor der Schließung.



Die Wasserqualität in den natürlichen Seen war in den vergangenen Jahrzehnten vor allem durch die Eutrophierung, also durch Überdüngung, stark beeinträchtigt. Der Bau von Abwasserkanalisationen und Kläranlagen hat an vielen Stellen Besserung erbracht. Aber nach wie vor ist die Eutrophierung das Hauptproblem der Wasserqualität in Seen, denn Phosphor, der in der Vergangenheit im Seesediment gespeichert wurde, kehrt immer wieder in das Seewasser zurück. Das verzögert die Verbesserung der Wasserqualität oder verhindert sie sogar völlig. Die meisten der neu entstehenden Bergbauseen in den neuen Bundesländern werden mit Flusswasser gefüllt. Nachteil: Auch wenn sich deren Wasserqualität gravierend verbessert hat – von der Qualität eines idealen Badewassers sind unsere Flüsse noch weit entfernt. Das gilt auch für die Phosphorbelastung. Ein weiteres Eutrophierungsrisiko ist die Nutzung der Bergbauseen als Bade- oder Fischereigewässer. Das Risiko „Phosphor“ kommt in der Rangliste der Wasserqualitätsprobleme von Bergbauseen gleich nach dem Hauptproblem der Versauerung.

Die Grenzen der Belastbarkeit

Um das Eutrophierungsrisiko für Bergbauseen zuverlässig einschätzen zu können, wurden in den letzten Jahren am UFZ Untersuchungen zu seinem Langzeitverhalten unter den speziellen Bedingungen der Bergbauseen vorgenommen. Am Beispiel der detailliert verfolgten Füllung des Goitschesees bei Bitterfeld mit Wasser aus der Mulde konnten die Wissenschaftler feststellen, dass das Eutrophierungsrisiko zumindest für die ersten Jahre nach der Füllung sehr viel kleiner war als erwartet. Selbst den enormen Phosphornachschub durch den Hochwassereinbruch im August 2002 hat der See gut verkräftet. Das Aufnahmevermögen des Seesedimentes und die Festigkeit der chemischen Bindung dort sind so gut, dass nach nur etwa einem halben Jahr nahezu der frühere Zustand wieder erreicht war. Und wie es aussieht, ist die Entwicklung auch stabil. Der Vergleich mit anderen Bergbauseen, die in den letzten Jahren mit Flusswasser gefüllt wurden, zeigte, dass

offensichtlich das Ausmaß der Versauerung einen ganz entscheidenden und weit über die Neutralisation hinausreichenden Einfluss auf das Phosphorverhalten hat: Je geringer die Versauerungstendenz im See, desto höher das Eutrophierungsrisiko. Zum Glück wurde in keinem Falle eine nachhaltige Eutrophierung beobachtet. Trotzdem zeigte sich, dass die Belastbarkeit Grenzen hat und eine blinde Übertragung der sehr guten Ergebnisse vom Goitschensee nicht zulässig ist. Selbstverständlich heißt das auch, dass die Nutzung der jetzt mit sehr guter Wasserqualität entstan-

denen Seen mit Bedacht erfolgen muss, damit nicht – wie bei den natürlichen Seen bis in die 70er Jahre – wertvolles Potenzial verspielt wird und teurer Sanierungsbedarf für die Zukunft entsteht.

Die Kunst des Steuerns

Es gibt übrigens auch Situationen in den Bergbauseen, wo eine Überdüngung als durchaus akzeptables kleineres Übel oder sogar als sehr hilfreicher Prozess erscheint: Bei anhaltender Zufuhr von versauerndem Grundwasser aus Abraumkippen der ehemaligen Tagebaue



Elodea-Invasion (schmalblättrige Wasserpest), Goitschensee Sommer 2004.

Foto: Michael Beyer, UFZ

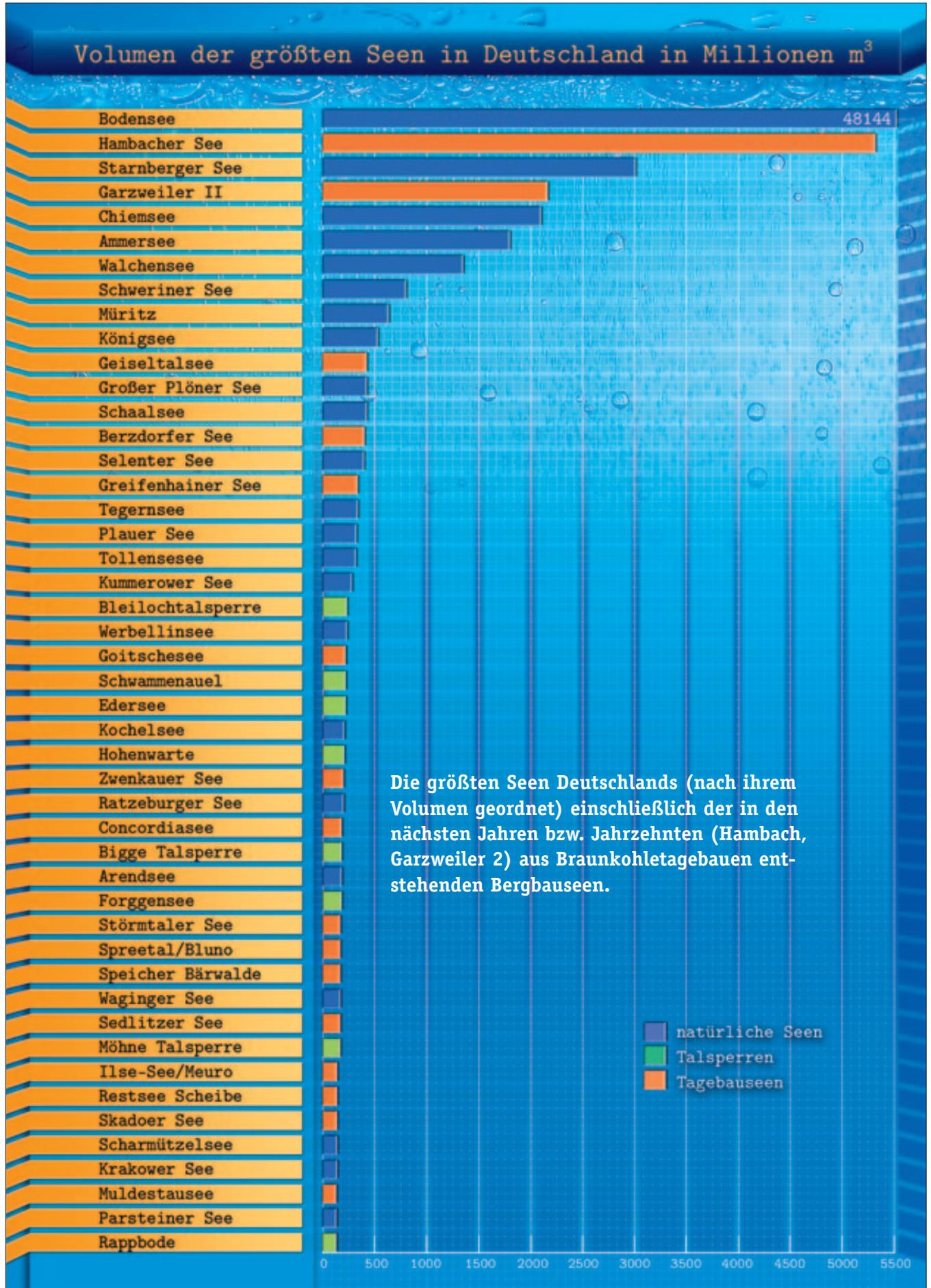
WISSENSWERTES

Der **Goitschensee** entstand durch Flutung eines Tagebaues. Am Rande von Bitterfeld wurde von 1908 bis 1991 Braunkohle gefördert. Dazu sind über eine Milliarde Kubikmeter Abraum abgebagert, vier Dörfer umgesiedelt und ein Fluss verlegt worden. Nach der Wende wurde der Tagebau durch die LMBV renaturiert. Es entstand ein 60 Quadratkilometer großes Erholungs- und Naturschutzgebiet. Durch die Flut von 2002 drang Wasser aus der benachbarten Mulde ein und beschleunigte das Anwachsen des Sees zum momentan größten in Sachsen-Anhalt.

kann die Eutrophierung einen Beitrag zur Aufrechterhaltung der neutralen Bedingungen leisten. Und im Falle von Bergbauseen aus dem Erzbergbau wurde die Beseitigung von giftigen Schwermetallen aus dem Seewasser durch gezielte Eutrophierung in halbtechnischen Versuchen schon erfolgreich getestet. Die Kunst besteht nun darin, alle Prozesse so zu steuern, dass die gewünschten Effekte eintreten, es aber zu keiner Langzeiteutrophierung kommt mit all ihren verheerenden Folgen wie beispielsweise Fischsterben. Dazu muss man alle Prozesse in ihrer komplexen Wechselwirkung gut kennen. Hier sind noch viele Fragen offen, die auch international von sehr großem Interesse sind. ■

Der Chemiker Martin Schultze ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Department Seenforschung.

Quelle: Martin Schultze, UFZ



Bertram Boehrer und Tilo Arnholt

Geschichtet – nicht gemischt

Der Badende wird kaum einen Unterschied spüren, der Taucher mag manche Besonderheiten wahrnehmen, für Fische und andere Organismen, die Sauerstoff aus dem Wasser benötigen, kann die Meromixis jedoch entscheidend sein, denn nur soweit, wie die Zirkulation im Winter reicht, steht für sie ein See über das Jahr als Lebensraum zur Verfügung. Ein See nimmt an seiner Oberfläche Sauerstoff aus der Atmosphäre auf. Dieses sauerstoffreiche Wasser kann in die Tiefe abtauchen und dort für Nachschub sorgen (so genannte holomiktische Seen). Wenn im Sommer die Oberflächentemperaturen höher liegen, ist dieser Prozess durch die

geringere Dichte des Oberflächenwassers unterbunden. Die Atmung in der Tiefe zehrt vom vorhandenen Budget bis zum nächsten Winter. Aber nicht in allen Seen reichen Oberflächenabkühlung und Windeinwirkung im Winter, um den See bis zum tiefsten Punkt zu mischen. Bei einer Reihe von Seen bleibt während der winterlichen Zirkulationsphase ein Bodenwasserkörper an den tiefsten Stellen des Sees (so genannte meromiktische Seen). Dadurch wird der Stofftransport in der Wassersäule eingeschränkt und der Gasaustausch des Tiefenwassers mit der Atmosphäre unterbunden – mit allen Konsequenzen für lebende Organismen. ⇨



Der Kratersee Toyako im Norden der japanischen Insel Hokkaido.

Kleiner Unterschied – große Wirkung

Schon kleine Unterschiede in der Salzkonzentration können ausreichen, dass sich am Boden eine Wasserschicht bildet, die an der winterlichen Zirkulation nicht teilnimmt. Insbesondere Tagebauseen und Steinbruchseen sind für diese Eigenschaft anfällig. Ein Beispiel dafür ist das Solbad Staßfurt bei Magdeburg. Das Wasser unterhalb von 15 Metern bleibt wegen seiner sehr hohen Salzkonzentration permanent geschichtet und enthält keinen Sauerstoff. Im Solbad sind dafür Grundwasserzuflüsse verantwortlich. Es gibt allerdings auch eine Reihe von geochemischen Prozessen, die permanente Schichtungen verursachen können.

„In der Tiefe sind Seen nie kälter als 4°C“. Diese Antwort hätte einem



Messsonde zur Untersuchung der Wasserschichtung. Sie ist eine Spezialanfertigung für Seen mit besonders niedrigem oder besonders hohem Salzgehalt. Damit können Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, Sauerstoffkonzentration, pH-Wert, Schallgeschwindigkeit, Tiefe und Lichttransmissivität gemessen werden.



Foto: Bertram Beihner, UFZ

Japanischer Wissenschaftler beim Herablassen der Messsonde im Kratersee Towadako im Norden der japanischen Insel Honshu.

In manchen Tagebau- und Steinbruchseen dringt sauerstoffreiches Wasser nicht bis auf den Grund vor – mit Konsequenzen für die Organismen

Kandidaten bei Günther Jauchs „Wer wird Millionär“ 250.000 Euro eingebracht. Schon in der Schule wird gelehrt, dass Wasser bei 4°C seine höchste Dichte hat. Das ist fast richtig, aber ganz so einfach ist die Welt doch nicht. Denn im tiefsten See der Erde, im Baikalsee, ist das Tiefenwasser nur 3,3°C warm. Die Ursache liegt in der temperaturabhängigen Kompressibilität des Wassers, die in sehr tiefen Seen die Temperaturen zu kleineren Werten verschiebt. Ähnliches sieht man in den

bis zu über 400 Meter tiefen Kraterseen in Japan. Eine Differenz von 0,7 Grad mag wenig erscheinen, bei Messgenauigkeiten im Bereich von einigen Tausendstel Grad in der Ozeanografie oder in der Limnophysik ist das ein deutlicher Unterschied. Denn schon geringe Temperaturunterschiede sorgen dafür, dass sauerstoffreiches Wasser von oben nach unten sinkt. Im Gegenzug steigt sauerstoffarmes, aber nährstoffreiches Wasser von unten nach oben auf. Dieser Kreislauf ist entscheidend für das Überleben vieler Organismen und damit für das ganze Ökosystem See.

Messungen mit einer Spezialsonde haben gezeigt, dass das Wasser im Solbad Staßfurt auf Tiefen von 10 bis 15 Metern ganzjährig unter 4°C bleibt, obwohl sich das Oberflächenwasser im Hochsommer auf Badetemperaturen



Der Kratersee Kuttarako auf der japanischen Insel Hokkaido.

um die 20°C und darüber erwärmt. Im Gegensatz zum Baikalsee handelt es sich hier nicht um einen Druckeffekt, sondern um eine Konsequenz aus dem hohen Salzgehalt von 20 Promille, also 20 Gramm Salz in 1 Kilogramm Seewasser. Das ist fast soviel wie im Ozean, der 35 Promille Salz enthält. Ähnlich wie beim Druck ist der Beitrag von gelöstem Salz zur Dichte leicht tempera-

WISSENSWERTES

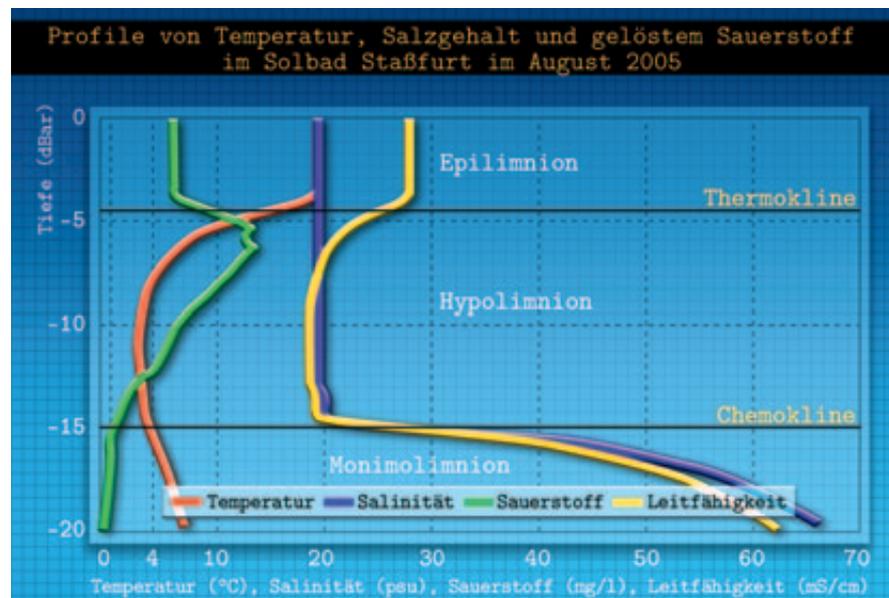
Das **Epilimnion** ist die obere Wasserschicht in einem stehenden Gewässer. Sie erwärmt sich durch die Sonneneinstrahlung und wird durch Wind stark bewegt.

Das **Hypolimnion** ist die untere Wasserschicht, die nur durch interne Wellen bewegt wird und eine relativ konstante Temperatur von rund 4 Grad Celsius aufweist.

Das **Monimolimnion** ist die Wasserschicht, die dauerhaft an den tiefsten Stellen des Sees verbleibt und nicht am Gasaustausch mit der Atmosphäre teilnimmt. Diese Schicht kann sich in tiefen oder salzhaltigen Seen bilden.

Die **Thermokline** – benannt nach der steigenden Temperatur – trennt die Schichten von Epilimnion und Hypolimnion.

Die **Chemokline** – benannt nach den chemischen Veränderungen – trennt die Schichten vom Hypolimnion und Monimolimnion.



turabhängig. Bei sehr salzhaltigem Wasser liegt die Temperatur der höchsten Dichte tiefer als 4°C. Der Ozean ist deshalb in der Tiefe auch nur etwa 0°C warm.

Prognosen erforderlich

Unter günstigen Bedingungen wird Säure durch Mikroben in der anoxischen Zone abgebaut. Aus Mangel an gelöstem Sauerstoff nutzen Mikroben zur Zersetzung von organischem Material Sauerstoff aus der Schwefelsäure, die dadurch verbraucht wird. Der Schlüssel zur Entsäuerung vieler Tagebauseen könnte also am Grund liegen.

Weil die Wasserschichtung beachtliche Konsequenzen für den Stoffhaushalt in einem See haben kann, sind Prognoseverfahren nötig. Wissenschaftler im UFZ arbeiten daran, die Stabilität dieser Grenzschichten zu quantifizieren. Sie

versuchen die beteiligten chemischen Vorgänge zu klären und in Modelle zu fassen. Zum einen stellen sich solche Fragen bei der Flutung von Tagebauseen, aber auch in Hinblick auf Veränderungen durch den globalen Wandel muss man die veränderlichen Zirkulationsmuster verstehen und nach Möglichkeit voraussagen können. Die Kenntnisse über diese Prozesse können auch helfen, die Klimageschichte besser zu verstehen, denn die am Seeboden abgelagerten Sedimente sind ein Archiv für die Wasserzirkulation des Sees. (siehe Kapitel S. 118 „Klimaentwicklung räumlich und zeitlich vergleichen“)

Der Physiker Dr. Bertram Boehrer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Department Seenforschung und leitet die Arbeitsgruppe Limnophysik.