



Forschen für die Zukunft unserer Gewässer

IGB DOSSIER

Die Nährstoffbelastung des Arendsees

Wissensstand und Handlungsoptionen



IGB

Leibniz-Institut für Gewässerökologie
und Binnenfischerei



Inhalt

Einführung und Hintergrund	3
1. Der Arendsee: Entstehung, Charakter und aktueller ökologischer Zustand	4
2. Handlungsoptionen: Mögliche Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserqualität	10
3. Forschung am Arendsee	13
Quellenverzeichnis	15

Einführung und Hintergrund

Der Arendsee liegt im nördlichen Sachsen-Anhalt und ist mit einer Fläche von 514 Hektar der größte natürliche See des Bundeslandes. Mit einer Maximaltiefe von 49 Metern gehört er zu den tiefsten Seen in Norddeutschland. Er ist für die Region und auch darüber hinaus von hoher ökologischer, kultureller, touristischer und damit auch wirtschaftlicher Relevanz. Der See zieht Erholungssuchende zum Baden, Segeln, Angeln und Tauchen an. Die angrenzende gleichnamige Stadt ist ein staatlich anerkannter Luftkurort, der den Tourismus und den Kurbetrieb fördert. Wegen seiner bis Mitte des letzten Jahrhunderts besonders guten Wasserqualität und sicher auch wegen seiner relativ runden Form wird der Arendsee auch „Perle der Altmark“ genannt.

Doch wie viele andere Seen in Deutschland und Europa ist auch der Arendsee von Überdüngung (Eutrophierung) betroffen. Durch zu viel Phosphor im See kommt es vor allem in den Frühjahrs- und Sommermonaten immer wieder zu einem übermäßigen Wachstum von Mikroalgen und Cyanobakterien, die den ökologischen Zustand des Sees stark beeinträchtigen und die Nutzung als Badegewässer vorübergehend einschränken können. Die wesentliche Ursache ist bekannt und wissenschaftlich belegt: die Nährstoffbelastung des städtischen Grundwassers, das in den Arendsee fließt. Immer wieder wird in der Öffentlichkeit diskutiert, mit welchen Maßnahmen dem See geholfen werden kann – dabei wird jedoch nicht in allen Fällen korrekt zwischen Ursachen und Symptomen unterschieden.

Mit diesem *IGB Dossier* macht das Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) sein gesammeltes und aktuelles Forschungswissen zum Arendsee verfügbar und zeigt Handlungsoptionen für Politik und Behörden auf.

1. Der Arendsee: Entstehung, Charakter und aktueller ökologischer Zustand

Der Vorläufer des Arendsees ist durch eine Toteis-Ablagerung in der Saale-Kaltzeit entstanden. Seine heutige Größe erlangte er jedoch erst durch mehrere Salzstock-Einbrüche: Dabei löste das Grundwasser die Salzvorkommen unterhalb des Sees, wodurch das Deckgebirge einbrach und sich der entstehende Krater mit Wasser füllte. So erklärt sich auch seine relativ runde Form mit steil abfallenden Ufern. Heute ist der See im Durchschnitt 29 Meter tief und der größte natürliche See in der Altmark. Der Arendsee ist als Schutzgebiet unter der Fauna-Flora-Habitatrichtlinie (FFH) auch an die Europäische Union gemeldet. Darüber hinaus bildet der See mit fast 80 Prozent auch die Hauptfläche des gleichnamigen Landschaftsschutzgebiets Arendsee.

Aufgrund seiner Größe besteht für den Arendsee auch eine Berichtspflicht gemäß der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL). Diese sieht vor, dass die natürlichen Gewässer bis 2027 in einen guten ökologi-

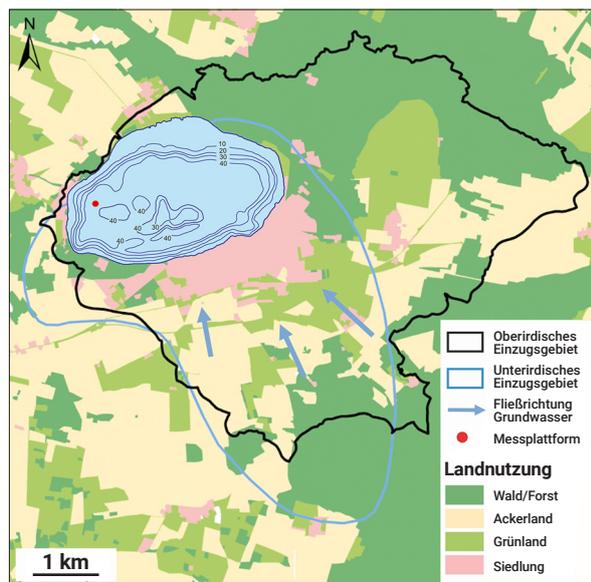


Abb. 1: Ober- und unterirdisches Einzugsgebiet des Arendsees inklusive Landnutzung (modifiziert nach Karin Meinikmann) und Tiefenkarte des Arendsees (modifiziert nach Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt, 2009).

schen Zustand gebracht werden müssen. Im Ergebnis der Bestandserhebungen 2014-2019 zur Umsetzung der WRRL wurde der ökologische Zustand des Arendsees jedoch mit „schlecht“ bewertet. Diese Bewertung ergibt sich im Wesentlichen aus dem jeweiligen Vorkommen von Phytoplankton- und Makrophytenarten in Abhängigkeit vom Grad der Nährstoffbelastung.

Nährstoffbelastung und Algenblüten

Der Arendsee ist heute ein hocheutropher, also ein besonders nährstoffreicher See. Seit rund 20 Jahren liegt die mittlere Phosphorkonzentration im Seewasser bei über 170 Mikrogramm Phosphor pro Liter (Abb. 2).

Aufgrund der hohen Nährstoffkonzentrationen, insbesondere von Phosphor (P), finden Mikroalgen und Cyanobakterien (oft auch als „Blaualgen“ bezeichnet) optimale Wachstumsbedingungen. Beide Gruppen sind in unseren Seen natürlicher Teil der Lebensgemeinschaft, können sich bei übermäßigem Nährstoffangebot aber extrem vermehren. Cyanobakterien können toxische Stoffe (Cyanotoxine) produzieren, die bei einer Massentwicklung eine Gefahr für die Gesundheit von Badenden darstellen. Die Cyanotoxine können Magen-Darm-Probleme wie Übelkeit, Durchfall und Erbrechen verursachen, aber auch zu Hautirritationen an Augen, Ohren und im Rachen führen. Deshalb kam es am Arendsee in der Vergangenheit mehrfach zu Einschränkungen des Badebetriebes.

Die intensive Grünfärbung des Wassers und die Bildung unästhetischer Algenteppeiche auf der Wasseroberfläche können zudem Besuchende abschrecken. Neben den zeitweise auftretenden Massentwicklungen von Cyanobakterien sind geringe sommerliche Sichttiefen, Sauerstoffmangel im Tiefenwasser

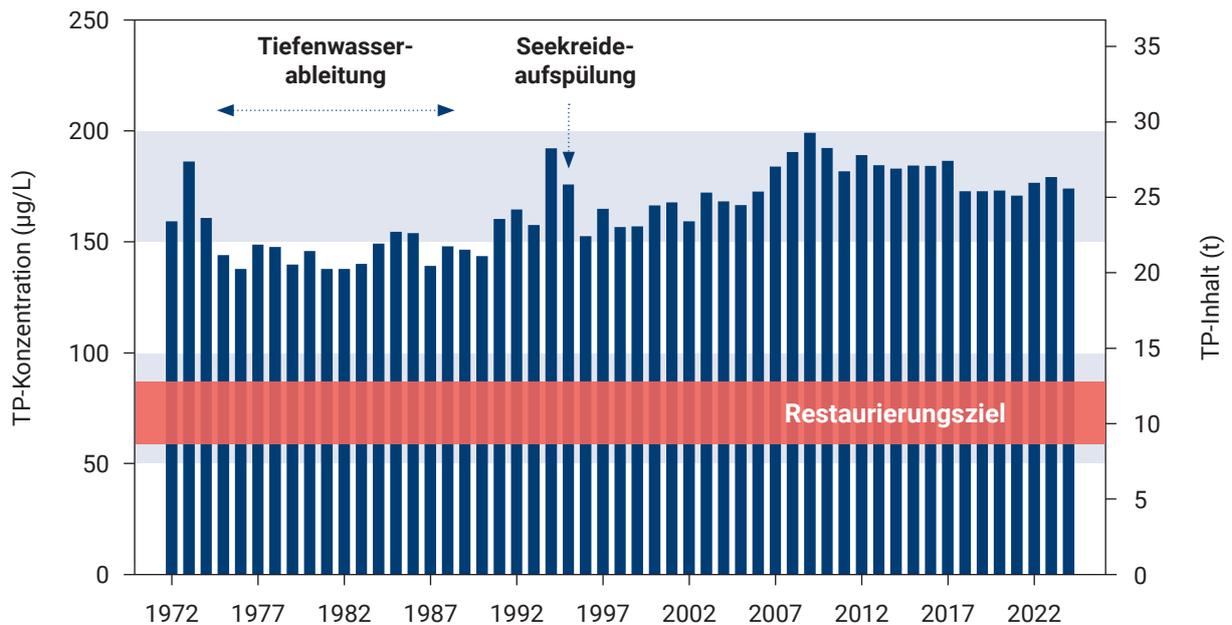


Abb. 2: Jahresmittelwerte der Gesamt-Phosphor (TP)-Konzentration (linke Achse) und des TP-Inhalts (rechte Achse) im Arendsee seit 1972. Eine wirksame Verminderung der Eutrophierung würde erst bei einer TP-Konzentration zwischen 60 und 80 µg TP/L eintreten (rot gekennzeichnete Bereich). Bisher durchgeführte seeinterne Maßnahmen (Tiefenwasserableitung, Seekreideaufspülung) führten zu keiner Verminderung der TP-Konzentration im See.

(DATENQUELLE: IGB, LHW, UFZ)

und das Verschwinden der ursprünglichen Unterwasservegetation weitere Anzeichen einer starken Eutrophierung.

In den letzten Jahrzehnten sind besonders Veränderungen im Sauerstoffhaushalt des Sees zu beobachten. Der im Herbst noch im Tiefenwasser (Hypolimnion) vorhandene Sauerstoffvorrat unterhalb von 20 m verringert sich schon seit Mitte der 1970er Jahre im Arendsee deutlich (Abb. 3a). Ein großer Teil des Hypolimnions ist am Ende der sommerlichen Schichtungsperiode sauerstofffrei und steht damit nicht mehr als Lebensraum für Fische und andere Organismen zur Verfügung.

Erschwerend kommt hinzu, dass sich auch im Grenzbereich (Metalimnion) zwischen der erwärmten Oberflächenschicht (Epilimnion) und dem kalten Tiefenwasser (Hypolimnion) eine sauerstofffreie Zone ausbilden kann (Abb. 3b). In manchen Jahren beträgt diese

anoxische Schicht am Ende des Sommers mehrere Meter, sodass die Vertikalwanderung von Fischen behindert wird.

Hauptursache dieser niedrigen Sauerstoffkonzentrationen ist die durch zu hohe Nährstoffkonzentrationen verstärkte Primärproduktion (Wachstum von Pflanzen, Algen und Bakterien) im oberen, von Licht durchdrungenem Wasserkörper. Die dort gebildete Biomasse sinkt nach dem Absterben ab und wird im Meta- und Hypolimnion von Mikroorganismen abgebaut, dabei wird Sauerstoff verbraucht.

Der Sauerstoffmangel wird durch den Klimawandel verstärkt. Durch die Erwärmung des Sees verlängert sich die Schichtungsdauer, sodass die Tiefenzone länger als früher von der Nachversorgung mit Sauerstoff abgeschnitten ist (siehe Abschnitt Klimawandel und Wasserqualität).

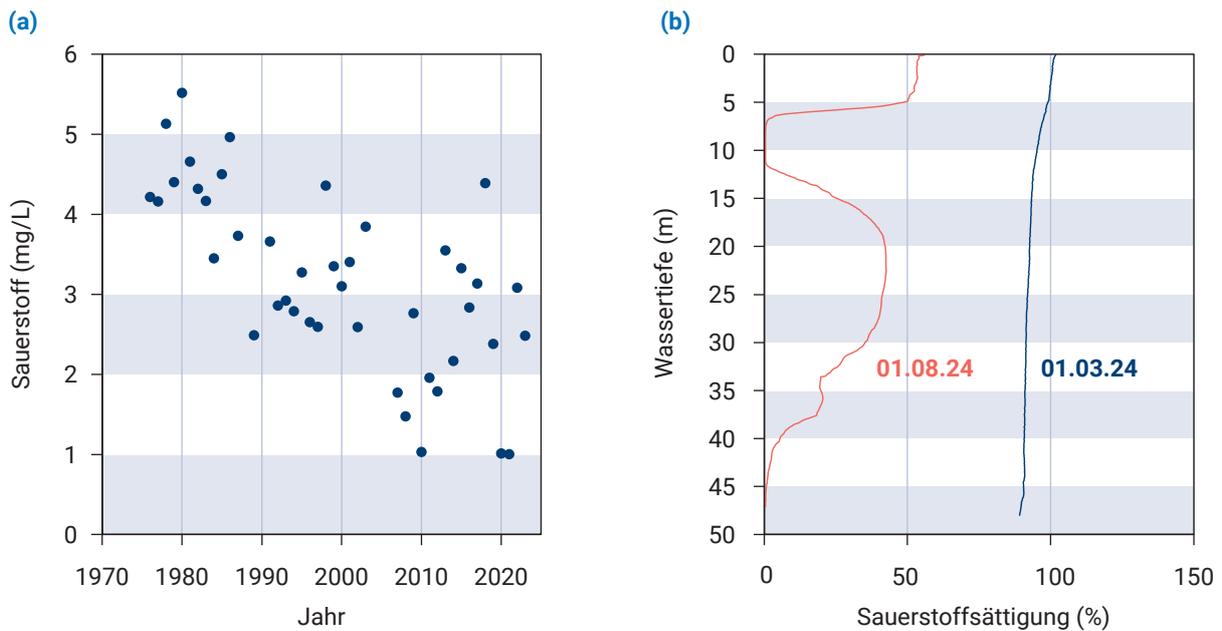


Abb. 3: Sauerstoff im Arendsee. a) Mittlere Sauerstoffkonzentration am 1. November jeden Jahres in der Schicht von 20 bis 48 m. Die mittlere Sauerstoffkonzentration hat sich gegen Ende der Sommerschichtung ab 1976 um ca. 50 Prozent verringert. b) Sauerstoffsättigung im Tiefenprofil während der Vollzirkulation (März 2024) und während der sommerlichen Schichtung (August 2024).

Die unerwünschten Eutrophierungseffekte lassen sich nur durch ein starkes Absenken der P-Konzentration mindern. Seit Jahrzehnten liegen die Werte vier bis fünf Mal über der tolerierbaren P-Konzentration für mesotrophe Verhältnisse (mittlerer Nährstoffzustand), die dem natürlichen Zustand dieses Sees entsprechen würde. Bereits bei einer Absenkung der durchschnittlichen P-Konzentration auf 60 bis 80 $\mu\text{gP/L}$ würde die Gefahr von Cyanobakterien-Massenentwicklungen stark zurückgehen, da im Sommer der verfügbare Phosphor im vom Licht durchdrungenen Oberflächenwasser von Planktonalgen schnell verwertet und mit der absterbenden Biomasse ins Tiefenwasser transportiert würde. Dadurch würde bereits früher im Sommer die nährstoffärmere Klarwasserphase erreicht.

Nährstoffbelastung und Fischsterben

Im August 2024 kam es zu einem größeren Fischsterben, von dem vor allem junge Maränen (*Coregonus albula*) betroffen waren. Pathologische Untersuchungen, die vom

Landkreis beauftragt wurden (Altmarkkreis Salzwedel, 2024), ergaben einen starken Befall mit Ektoparasiten und eine bakterielle Allgemeininfektion. Wahrscheinlich hat der Sauerstoffmangel im Übergangsbereich zwischen dem stark erwärmten Oberflächenwasser und dem kalten Tiefenwasser zu gestressten und immungeschwächten Fischen geführt, die unter diesen Bedingungen nicht überleben konnten. Damit wäre das Fischsterben eine Folge des Nährstoffüberangebots, verbunden mit Klimawandeleffekten. Da der Klimawandel nicht mehr aufgehalten, sondern nur noch abgemildert und Anpassungsmaßnahmen ergriffen werden können, ist das Absenken der Nährstoffkonzentration die einzige realistische Stellschraube, um Wiederholungen solcher Ereignisse im Arendsee zu verhindern.

Herkunft der Phosphorbelastung

Am Arendsee gibt es nur kleinere oberirdische Zuflüsse und einen Abfluss. Das erklärt auch die hohe Verweilzeit des Wassers: es dauert rechnerisch 50 bis 60 Jahre, bis das

gesamte Seewasser einmal ausgetauscht wird. Dies bedeutet aber auch, dass Gewässerbelastungen auch nach der Beseitigung der Ursache besonders lange nachwirken. (Meinikmann et al., 2015).

Die entscheidende Einflussgröße am Arendsee ist das Grundwasser: Durch umfangreiche Untersuchungen in den letzten Jahren zu den Quellen der hohen P-Konzentrationen im See wurde überraschend festgestellt, dass mehr als die Hälfte der P-Belastung (ca. 830 kg/Jahr) über das zuströmende Grundwasser in den See gelangt (Abb. 4). Bei Untersuchungen im Einzugsgebiet wurden hohe P-Konzentrationen (bis 5.000 µg/L) im Grundwasser im Bereich der Stadt Arendsee, insbesondere im Uferabschnitt zwischen Kloster und Bleiche, gefunden. Zum Vergleich: Natürliche P-Konzentrationen im Grundwasser der Region würden unter 50 µg/L liegen, das entspräche einem jährlichen P-Eintrag von lediglich 70 kg. Der aktuelle P-Eintrag ist mehr als 10-mal höher.

Da die P-Konzentrationen im Grundwasser unter den landwirtschaftlich genutzten Flächen im Einzugsgebiet recht niedrig sind, kann ein Eintrag größerer P-Mengen aus der Landwirtschaft über Gülle oder Mineraldünger in das Grundwasser weitgehend ausgeschlossen werden. Im Vergleich zu den P-Konzentrationen im Grundwasseranstrom der Stadt Arendsee sind sie im Grundwasserabstrom der Stadt, also an der Grenze zwischen Stadt und See, sehr hoch. So lässt sich das Gebiet, aus dem die Nährstoffbelastung stammen muss, sehr gut eingrenzen – es ist die Stadt Arendsee. Jedoch gibt es im Stadtgebiet dicht nebeneinander hohe und niedrige P-Konzentrationen im Grundwasser. Dies hat die Analyse von Wasserproben aus privaten Hausbrunnen ergeben, die Anwohnerinnen und Anwohner bei Messkampagnen 2012 und 2022 dankenswerterweise zur Verfügung gestellt hatten.

Daher ist es unwahrscheinlich, dass der Phosphor im Grundwasser aus einer einzigen punktuellen Belastungsquelle stammt – sonst wäre eine große, zusammenhängende und breite Abwasserfahne im Grundwasserabstrom dieser Punktquelle zu erkennen.

Es gibt keine belastbaren Belege, dass z.B. die Speicherbecken der ehemaligen Abwasserrieselung im Südwesten der Stadt oder der ehemalige Düngemittelagerplatz am Bahnhof eine Rolle für die Belastung des Grundwassers spielen. Messungen des IGB konnten keine Phosphatfahnen im Abstrom der Flächen nachweisen. Als mögliche räumlich verteilte Quellen für den Phosphor im Grundwasser kommen frühere und aktuelle Belastungen z.B. durch häusliches Abwasser, durch nicht ordnungsgemäß zurückgebaute Sickergruben oder eine sehr starke Düngung in Privatgärten in Frage.

Punktuell wurden im Grundwasser in der Stadt Arendsee Abwasserindikatoren wie künstliche Süßstoffe und Arzneimittelrückstände nachgewiesen. Dies deutet auf undichte Abwasserleitungen hin. Schätzungen für Deutschland gehen davon aus, dass durchschnittlich 10 Prozent des Abwassers auf dem Weg von den Haushalten zu den Kläranlagen durch Undichtigkeiten der Kanalisation versickern (Eiswirth & Hölzl 1999). Allerdings gibt es dazu nur wenige und kaum neue wissenschaftliche Untersuchungen. Die Undichtigkeiten betreffen sowohl die öffentliche Kanalisation als auch private Hausanschlussleitungen. Geht man davon aus, dass die Stadt Arendsee diesem deutschen Durchschnitt entspricht, ergibt sich folgende Überschlagsrechnung: Mit 2.400 Einwohnerinnen und Einwohnern in der Kernstadt Arendsee, durchschnittlich 400 Übernachtungsgästen pro Tag und einer personenspezifischen P-Fracht von 1,96 g P pro Person und Tag, ließen sich mit 10 Prozent Verlusten aus der undichten Kanalisation etwa 200 kg

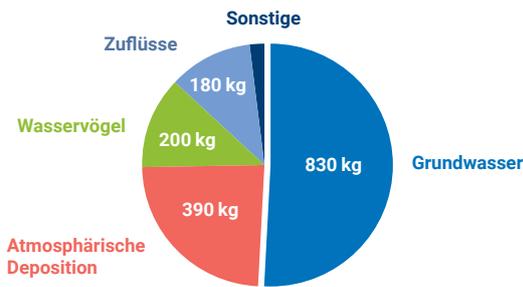


Abb. 4: P-Einträge in den Arendsee: In den See gelangen jährlich ungefähr 1.600 kg Phosphor. Der Hauptteil kommt aus dem Grundwasser, dessen natürliche Fracht hier lediglich bei ca. 70 kg pro Jahr liegen würde.

der P-Fracht über das Grundwasser erklären, also rund 24 Prozent der gemessenen Fracht. Selbst wenn man in der Kalkulation von mehr als 10 % Verlusten aus der Kanalisation ausgeht, muss es weitere Grundwasserbelastungen geben, sofern die Verluste der Kanalisation unter 40 % liegen.

Als zweitgrößte P-Eintragsquelle wurde die Belastung aus der Atmosphäre mit jährlich 300 kg bestimmt (Abb. 4). Dieser Eintrag erfolgt vor allem über kleinste Partikel (Stäube), die durch Wind auch über längere Strecken transportiert werden können. Der Anteil des Phosphors, der über die Atmosphäre in den Arendsee gelangt, kann vergleichsweise gut eingeschätzt werden, weil das IGB auf dem See und in der Umgebung insgesamt neun Expositionssammler aufgestellt und über ein Jahr monatlich beprobt hat. Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen See- und Landstationen im Jahresmittel, sodass sich der oben genannte Wert als Mittelwert aller Stationen ergibt. Der seit 2009 auf der Messstation installierte Depositionssammler hat bestätigt, dass die Atmosphäre eine relevante Eintragsgröße für Phosphor in einen See sein kann.

Dem Arendsee fließen oberirdisch vier kleinere Gewässer zu, die alle im südlichen bis

südöstlichen Uferbereich in den See münden. Die künstlich angelegten Zuflüsse werden zu 90 Prozent von Entwässerungsgräben im Einzugsgebiet gespeist. Mit Hilfe automatischer Sammler wurden sie vom IGB ein Jahr lang beprobt. Ihr Anteil an der gesamten P-Belastung ist mit jährlich 180 kg unerwartet gering.

Längere Zeit galten auch Gänse als mögliche Hauptverursacher für die hohe Nährstoffbelastung des Arendsees. Die systematische Auswertung von Zählungen sowie Kotanalysen ergaben jedoch, dass der P-Eintrag durch Gänse auf maximal 200 kg pro Jahr geschätzt werden kann und damit in einem ähnlichen Bereich liegt wie die oberirdischen Zuflüsse (Meinikmann et al., 2015). Individuelle Beobachtungen aus den letzten Jahren legen zudem nahe, dass die Anzahl der Gänse abgenommen hat.

Aus diesen erläuterten Teilquellen ergibt sich eine jährliche Gesamtbelastung von etwa 1.600 kg Phosphor (Abb. 4). Zum Vergleich: Jährlich werden etwa 1.400 kg Phosphor im Sediment festgelegt, etwa 360 kg mit abströmendem Grundwasser aus dem See exportiert, und die P-Menge im Wasserkörper stieg in dem Betrachtungszeitraum um jährlich etwa 210 kg an (Meinikmann et al. 2015). Deren Summe von 1.970 kg ist etwas größer als die mit der Bilanzierung ermittelten Einträge von 1.560 kg. Die Größenordnung der beiden Ergebnisse passt aber auf jeden Fall so gut zueinander, dass diese Kontrollrechnung die einzeln bestimmten Eintragsmengen bestätigt.

Diese Plausibilitätsprüfung zeigt auch, dass in anderen Studien zur P-Belastung des Arendsees der P-Eintrag unterschätzt wurde. Nach IGB-Berechnungen befinden sich im Wasserkörper des Sees gegenwärtig etwa 27.000 kg Phosphor. Der im Sediment akkumulierte Phosphor spielt für den P-Status des Wasserkörpers jedoch nur eine

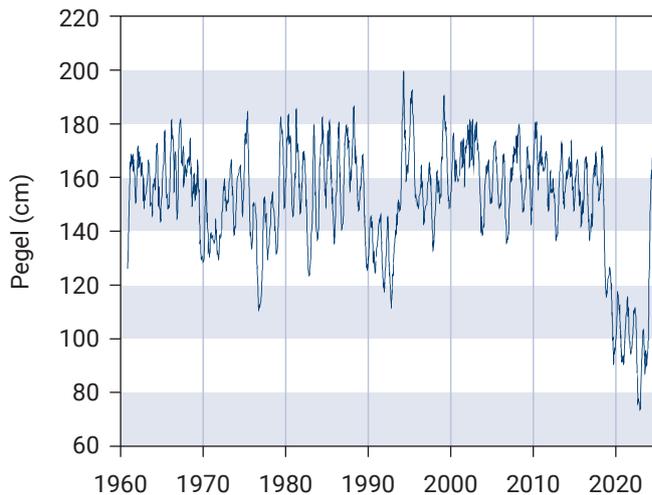


Abb. 5: Entwicklung des Pegelstandes am Arendsee seit 1960 (Daten: Pegel Ziessau, LHW). Besonders auffällig sind die niedrigen Wasserstände in den Trockenjahren zwischen 2018 bis 2023. Foto rechts: Trockengefallenes Ufer mit Steg im November 2019.

(FOTO: SYLVIA JORDAN)

untergeordnete Rolle, denn lediglich ca. 2.600 kg sind im Sediment als mobilisierbarer Phosphor nachweisbar, das sind weniger als 10 Prozent des am Kreislauf beteiligten Phosphors. Das Sediment stellt damit keine langfristige wirkende interne P-Quelle dar (Hupfer et al. 2016).

Klimawandel und Wasserqualität

Der Klimawandel wirkt auf sehr komplexe Weise auf Seeökosysteme (Schwefel et al. 2023; [siehe auch IGB Dossier „Seen im Klimawandel“](#)). Wie in vielen anderen Seen Deutschlands erwärmt sich auch das Oberflächenwasser des Arendsees durch den Klimawandel. Seit 1980 ist die Wassertemperatur an der Oberfläche um 0,66°C pro Jahrzehnt gestiegen. Sollte keine Verbesserung im Klimaschutz erreicht werden, würde sich die Oberflächentemperatur laut Modellrechnungen um weitere 2,2 °C bis Ende des 21. Jahrhunderts erhöhen. Folge dieser immer stärkeren Erwärmung ist u.a. eine noch stabilere und längere thermische Schichtung.

Seit 1980 hat sich die sommerliche Schichtungsperiode im Arendsee bereits um mehr

als 30 Tage verlängert. Die Sauerstoffsituation im Tiefenwasser wird durch verlängerte Schichtungsperioden im Sommer noch kritischer. Modellrechnungen für den Arendsee und andere deutsche Seen zeigen, dass eine Verminderung der Nährstoffverfügbarkeit den Klimaeffekt hinsichtlich des Sauerstoffmangels kompensieren kann (Schwefel et al. 2024). Wie viele grundwassergespeiste Seen weist der Arendsee wechselnde Wasserstände auf, deren Schwankungen sich durch den Klimawandel verstärken. Die Häufung der Trockenjahre und steigende Verdunstung durch hohe Temperaturen haben ab 2018 zu einem starken Pegel-Rückgang geführt, der in diesem Ausmaß seit mindestens 60 Jahren nicht verzeichnet wurde (Abb. 5). Die veränderten See- und Grundwasserstände beeinflussen auch den P-Eintrag durch das Grundwasser in den Arendsee. Das Wasserdefizit konnte durch die Niederschläge ab Mitte 2023 relativ schnell ausgeglichen werden. In Zukunft wird die Dynamik von Seespiegelschwankungen zunehmen, da sich durch den Klimawandel mehrjährige Trockenperioden mit Perioden höherer Niederschläge abwechseln können.

2. Handlungsoptionen: Mögliche Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserqualität

Grundsätzlich kann man zwischen Sanierungs- und Restaurierungsmaßnahmen unterscheiden (DWA 2024). Sanierungsmaßnahmen (externe Maßnahmen) setzen an den Ursachen der hohen P-Belastung an und reduzieren oder eliminieren diese. Dagegen setzen Restaurierungsmaßnahmen an den Symptomen an, beseitigen aber nicht die Ursachen der hohen P-Konzentrationen. Restaurierungsmaßnahmen werden im See durchgeführt (seeinterne Maßnahmen) und zielen oft auf die Verminderung der P-Konzentration im See (Lewandowski et al. 2013).

Frühere Versuche einer Restaurierung des Arendsees hatten nicht die gewünschte Wirkung (Abb. 2). Bereits im Jahr 1976 wurde eine Tiefenwasserableitung gebaut, die verstärkt Wasser mit hohen P-Konzentrationen aus den tieferen Schichten des Sees abtransportierte. Man erhoffte sich, auf diese Weise große Mengen an Phosphor aus dem See entfernen zu können. Diese Erwartungen wurden jedoch nicht erfüllt. Um die P-Menge im See deutlich zu reduzieren, hätte die Wasserentnahme so gesteigert werden müssen, dass es zu einer Absenkung des Wasserspiegels gekommen wäre.

Auch das Abdecken des Sediments durch eine Aufspülung von aus dem nördlichen Teil des Arendsees entnommener Seekreide im Jahr 1995 hat zu keiner Verbesserung geführt. Diese Maßnahme sollte verhindern, dass Phosphor aus dem Sediment zurück ins Wasser gelangt. Es zeigte sich aber, dass der im Freiwasser vorhandene Phosphor nicht verringert werden konnte, da nicht das abgedeckte Sediment, sondern das frisch sedimentierte Material oberhalb der Seekreide den internen P-Kreislauf steuert.

IGB-Studien zu Restaurierung und Sanierung des Arendsees

In mehreren Studien bzw. Vorplanungen wurden der See sowie sein Einzugsgebiet einschließlich des Grundwassers und der Zuflüsse umfassend durch das IGB untersucht, um Grundlagen für eine Restaurierung und Sanierung des Sees zu erstellen (Auftraggeber Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft, LHW).

Die durchgeführten Studien zeigen, dass die WRRL-Ziele ohne nährstoffsenkende Maßnahmen nicht erreichbar sind und der Sauerstoffmangel im Tiefenwasser vor allem angesichts des fortschreitenden Klimawandels mit längeren Schichtungsphasen immer kritischer wird.

Die IGB-Ergebnisse legen auch nahe, dass die zeitnahe Bekämpfung sowohl der Symptome als auch der Ursachen ratsam wäre. Eine kurz- bis mittelfristig wirkende Maßnahme wäre die seeinterne P-Fällung. Die in der Seentherapie verwendeten Fällmittel sind durch viele Anwendungsfälle in Deutschland und weltweit erprobt. Die Palette von wirksamen Fällmitteln hat sich durch viele Forschungsarbeiten in den letzten 10 Jahren erweitert (z.B. Zamparas et al. 2020). Bei sachgerechter Verwendung sind keine gravierenden Nebenwirkungen auf die Umwelt zu erwarten.

Hinsichtlich Fläche und Volumen wäre der Arendsee der größte See in Deutschland, der jemals mit Fällmitteln behandelt worden ist (Huser et al. 2016). Das bedeutet, es braucht eine entsprechend große Menge Fällmittel, um eine Wirkung zu erzielen. Die vom IGB durchgeführten Berechnungen zielten daher darauf, die einzusetzende Dosis so zu optimieren, dass der gewünschte Effekt mit der kleinstmöglichen Menge eintritt

(Hupfer et al. 2013). Die große Tiefe und die steilabfallenden Uferzonen im Arendsee sind vorteilhaft, da der lange Reaktionsweg beim Absinken des Fällmittels durch die Wassersäule eine optimale Beladung mit Phosphor ermöglicht und die Resuspension (Aufwirbelung) und die mögliche Auflösung der Fällprodukte nur eine sehr geringe Rolle spielen, weil der Arendsee keine ausgedehnten Flachwasserzonen aufweist. Vor allem wegen der langen Wassererneuerungszeit von 50 bis 60 Jahren sind die Erfolgsaussichten dieser Restaurierungsmaßnahme als gut zu bewerten. So ließe sich der Phosphor im Wasserkörper sofort reduzieren und langfristig im Sediment binden.

Ohne eine interne Fällung würde es Jahrzehnte dauern, bis sich eine externe Sanierungsmaßnahme zur Ursachenbeseitigung positiv auf den See auswirkt. Mit einer internen Fällung kann wertvolle Zeit gewonnen werden: Während durch die Symptombekämpfung die P-Konzentration sinkt, könnten parallel externe Maßnahmen zur langfristigen Ursachenbekämpfung und damit zur dauerhaften Reduzierung des P-Inhalts geplant und umgesetzt werden.

Für diese Seensanierung müsste als langfristige Lösung der externe P-Eintrag über das Grundwasser gestoppt oder zumindest deutlich gesenkt werden. Doch selbst die Beseitigung der P-Quellen wird die externe Belastung des Arendsees in den nächsten Jahren nicht stoppen, weil das Grundwasser im Einzugsgebiet sehr langsam fließt. Das IGB-Grundwassermonitoring deutet darauf hin, dass es Jahrzehnte dauern könnte, bis die P-Konzentrationen unter der Stadt Arendsee so weit abgesunken sind, dass die Nährstoffeinträge in den See ein tolerierbares Ausmaß erreicht haben.

Deshalb sollten für die Zwischenzeit auch sogenannte „End-of-pipe“-Ansätze in Er-

wägung gezogen werden, bei denen direkt an den Zutrittsstellen im Uferbereich die P-Konzentrationen des Grundwassers gesenkt werden. Dafür könnten z.B. entlang der betroffenen Uferabschnitte Grundwasserentnahmebrunnen installiert und betrieben werden. So würden Absenkungstrichter entstehen, die kein anströmendes Grundwasser zum See durchlassen. Das geförderte Wasser müsste in einer technischen P-Eliminationsanlage (z. B. als Containerlösung verfügbar) oder naturbasiert in großflächigen Pflanzenkläranlagen behandelt und danach in den See eingeleitet werden. Pflanzenkläranlagen können jedoch aufgrund mangelnder Flächenverfügbarkeit in der Nähe des Sees eine Herausforderung darstellen.

Da der Wasserstand des Arendsees vom zuströmenden Grundwasser abhängt, kommt eine Ableitung des geförderten Wassers in eine konventionelle Kläranlage und damit Ableitung aus dem See-Einzugsgebiet nicht in Frage. Neben der Förderung und Aufbereitung des Wassers, wäre es auch denkbar, durchlässige reaktive Barrieren an den besonders betroffenen Abschnitten am Ufer einzubringen, die den Phosphor aus dem zuströmenden Grundwasser entfernen. Solche Verfahren können sowohl im Grundwasserleiter als auch unmittelbar auf der Sedimentoberfläche im Zustrombereich eingesetzt werden. Bei allen Verfahrensansätzen wäre zu prüfen, welche Kosten entstehen und ob die örtlichen Gegebenheiten (z.B. Zugänglichkeit des Ufers) diese Optionen zulassen.

Forschungsbasierte Beratung und politische Entscheidungsbedarfe

Die hier erläuterten Vorschläge stellen keine abschließende Liste möglicher Maßnahmen oder eine Priorisierung bestimmter Verfahren dar. Die im Zuge der Vorplanungen erarbeiteten Schlussfolgerungen zu den Möglichkeiten und Grenzen einer seeinternen P-Fällung wurden in der vom Landesverwaltungsamt

Sachsen-Anhalt eingerichteten Projektarbeitsgruppe „Arendsee“ mit Fachleuten aus verschiedenen Bereichen der Wasserwirtschaft umfassend diskutiert und dort auch befürwortet. Die Öffentlichkeit wurde durch Pressemitteilungen und im Rahmen von Veranstaltungen wie z.B. den Frühjahrstagungen der lokalen Arbeitsgemeinschaft „Der Arendsee“ durch Vorträge informiert.

Aus Forschungssicht ist eine Kombination aus Restaurierung und Sanierung notwendig, um sowohl eine schnelle als auch eine langfristige und nachhaltige Wirkung und Lösung zu erzielen. Mit Blick auf das Ökosystem Arendsee sollte ein deutlich nährstoffärmer Seezustand angestrebt werden. Damit wären die Voraussetzungen gegeben, um sowohl das Ziel der Wasserrahmenrichtlinie, einen guten ökologischen Zustand, als auch einen nährstoffarmen Lebensraumtyp gemäß der FFH-Richtlinie erreichen zu können.

Die fachlichen Grundlagen dafür wurden wissenschaftlich fundiert erarbeitet und könnten in der Praxis durch geeignete Fachfirmen umgesetzt werden. Als unabhängiges öffentliches Forschungsinstitut kann das IGB auf Basis seiner Forschung die Politik, Behörden, Verbände, Wirtschaft und Öffentlichkeit beraten. Ob Symptome und bzw. oder Ursachen

bekämpft werden sollen und welche Maßnahmen dafür letztendlich ausgewählt werden, ist eine politische bzw. behördliche Entscheidung im Bundesland Sachsen-Anhalt. Das LHW hat das Umweltamt des Altmarkkreis Salzwedel (Untere Wasserbehörde) mit dem weiteren Genehmigungsverfahren für eine Phosphorfällung beauftragt (Informationsstand: Dezember 2024).

Im politischen Prozess müssen neben der Finanzierungsfrage auch potenziell konkurrierende Interessen abgewogen werden. Ein Beispiel: Weniger Nährstoffe im Freiwasser machen Baden, Wassersport und Tourismus wieder attraktiver, die Erträge für die Berufs- und Angelfischerei könnten jedoch sinken – z.B. würde dem kommerziell genutzten Maränenbestand voraussichtlich weniger Nahrung im Freiwasser zur Verfügung stehen. Direktverkauf, Gastronomie sowie die Brütlingsvermarktung an andere Seenbewirtschaftende könnten so eingeschränkt sein. Andererseits vergrößert sich auch wieder der Lebensraum der Maränen, wenn die sauerstoffarmen Zonen zurückgehen. Der Maränenbestand resultiert jedoch aus Besatzmaßnahmen bzw. der Bewirtschaftung selbst und ist aufgrund des geologisch relativ „jungen“ Sees nicht als natürliche Population anzusehen.

3. Forschung am Arendsee

Der Arendsee gehört zu den Seen in Deutschland mit den längsten Datenreihen. Die ersten wissenschaftlichen Untersuchungen fanden bereits im Jahr 1895 durch Wilhelm Halbfaß – einem Mitbegründer der Seenforschung – statt. Als eine der Vorgängereinrichtungen des IGB führte die Deutsche Forschungsanstalt für Fischerei in Berlin ab 1949 über mehrere Jahre Untersuchungen zu der sich verschlechternden Wasserqualität durch, um die Folgen für die Berufsfischerei abzuschätzen. Seit 1972 findet ein fast lückenloses Monitoring zu physikalischen, chemischen und biologischen Parametern durch wasserwirtschaftliche Behörden und wissenschaftliche Institutionen statt.

Das IGB forscht seit 1996 an verschiedenen wissenschaftlichen und angewandten Frage-

stellungen am Arendsee. Seit 2010 betreibt das Institut u.a. eine schwimmende Messplattform auf dem See und erhebt damit automatisiert Wetterdaten und Gewässerparameter wie z.B. Temperatur, Sauerstoff, pH-Wert, Leitfähigkeit und Chlorophyll (Abb. 6). Die Sauerstoffentwicklung im Wasserkörper wird zusätzlich mit einer Messkette, an der Sauerstofflogger installiert sind, überwacht. Auf Basis von Probenahmen aus unterschiedlichen Tiefen werden chemische und biologische Wasseranalysen durchgeführt – im Winter monatlich, im Sommer im Wechsel mit dem LHW 14-tägig. Der atmosphärische Eintrag von Phosphor und Stickstoff wird kontinuierlich mit einem Depositionssammler erfasst. Zweimal im Jahr finden umfangreiche Grundwasser-Untersuchungen statt. Sedimentanalysen dienen dazu, die Entwicklung des Sees zu rekonstruieren und die

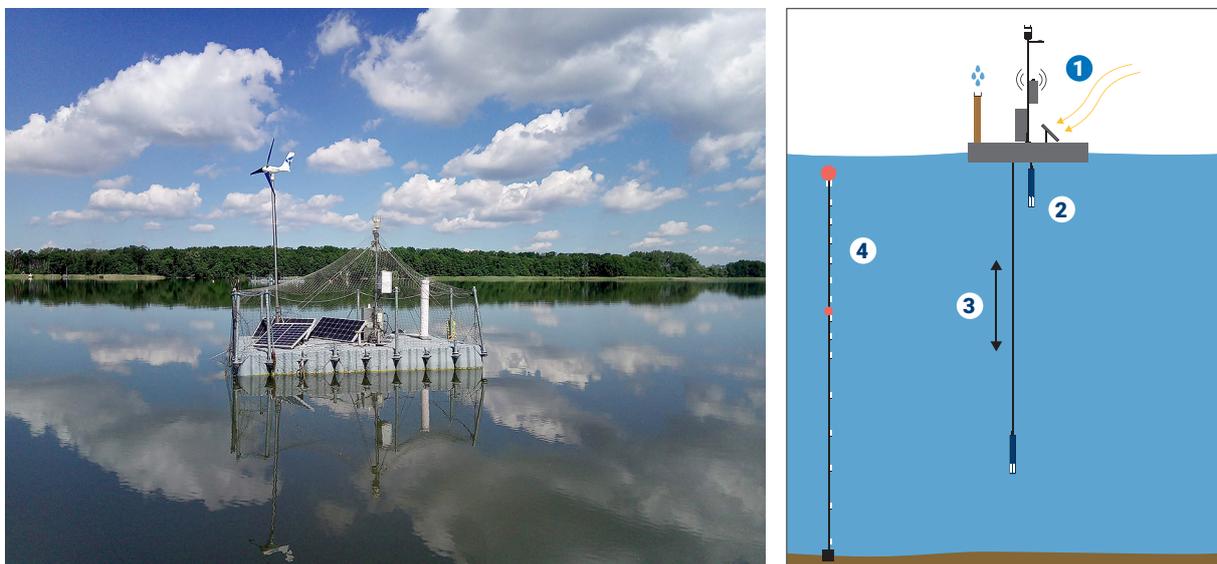


Abb. 6: Messplattform auf dem Arendsee mit schematischer Darstellung der Funktionsweise (rechts). Auf der Plattform befinden sich Instrumente zur Erfassung meteorologischer Parameter (1). Unterhalb der Wasseroberfläche werden mit Multiparametersonden Wassertemperatur, Sauerstoffkonzentration, elektrische Leitfähigkeit, Trübung, Chlorophyll und weitere wichtige Parameter erfasst. Die Messungen erfolgen kontinuierlich nahe der Wasseroberfläche in 1,5 m Tiefe (2) und mit einem Profiler, aktuell von März bis Oktober 8 Mal am Tag in 1m-Schritten bis zum Grund (3). Die Daten werden per Fernübertragung auf einem Datenserver abgelegt und [in der IGB-Forschungsdatenbank auch frei verfügbar gemacht](#). Eine Messkette (4), die mit Sauerstoff- und Temperaturloggern ausgestattet ist, wird einmal jährlich ausgelesen.

(FOTO: SYLVIA JORDAN)

Rolle des Sediments für den Stoffhaushalt besser zu verstehen. Viele seiner Daten stellt das IGB [öffentlich auf seiner Website zur Verfügung](#). Nur wenige Seen in Deutschland wurden in den letzten Jahrzehnten ähnlich gut untersucht und weisen hinsichtlich des Parameterspektrums sowie der räumlichen und zeitlichen Auflösung ähnlich lange und vollständige Zeitreihen auf.

Als öffentliches und unabhängiges Forschungsinstitut finanziert das IGB seine Untersuchungen am Arendsee zum überwiegenden Teil durch eigene Haushaltsmittel. Spezielle Fragestellungen wurden durch externe Projektmittel, z.B. von der Deutschen Forschungsgemeinschaft, dem LHW oder der Leibniz-Gemeinschaft, gefördert. Das forschungsorientierte Langzeitmonitoring von Seen ist ein unverzichtbares Hilfsmittel,

um die komplexen Auswirkungen von Umweltveränderungen zu verstehen. Die Untersuchungen am Arendsee sind Teil eines deutschlandweiten Monitorings für Seen, um die Auswirkungen der Klimaerwärmung zu erfassen. Die gewonnenen Daten dienen auch dazu, Modelle zur Vorhersage zu entwickeln, auf deren Basis in Zusammenarbeit mit den Fachbehörden vorsorgende Managementmaßnahmen abgeleitet werden können.

Danksagung

Das IGB dankt dem Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW), der Stadt Arendsee und ihren Bürgerinnen und Bürgern sowie dem Umweltamt des Altmarkkreises Salzwedel für den konstruktiven Austausch und die gute Zusammenarbeit bei der Erforschung des Arendsees.

Quellenverzeichnis

Altmarkkreis Salzwedel (2024): Pressemitteilung Nr. 261 vom 28.08.2024. Untersuchungsergebnisse zum Fischsterben im Arendsee.

DWA (2024): Merkblatt DWA-M 606: Grundlagen und Maßnahmen der Seentherapie, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. Hennef, 155 S.

Eiswirth M, Hötzl H. (1999): Gefährdungspotential von Abwasserversickerungen auf urbane Grundwasserleiter. Wasser-Abwasser-Praxis 5: 10-15.

Hupfer, M., Reitzel, K., Kleeberg, A., Lewandowski, J. (2016): Long-term efficiency of lake restoration by chemical phosphorus precipitation: Scenario analysis with a phosphorus balance model. Water Research 97: 153-161. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.06.052>

Hupfer, M., Gohr, F., Krause, D., Mathes, J., Spieker, J., Wanner, S., Lewandowski, J. (2013): Vorbereitung und Auswahl von Maßnahmen zur Seentherapie. KW: Korrespondenz Wasserwirtschaft 6: 710-717.

Huser, B.J., Egemose, S., Harper, H., Hupfer, M., Jensen, H., Pilgrim, K.M., Reitzel, K., Rydin, R., Futter, M. (2016): Longevity and effectiveness of aluminum addition to reduce sediment phosphorus release and restore lake water quality. Water Research 97: 122-132. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.06.051>

Lewandowski, J., Hupfer, M., Meinikmann, K., Herzog, C., Jordan, S., Sturm, C., Piekarski, J., Pöschke, F., Behr, R., Marburg, S. (2011): Vorplanung zur Sanierung des Arendsee – Teilprojekt III (Preinvestigations restoration of Lake Arendsee – Subproject III: Systematic localization and quantification of external sources and measurements of load reduction). Updated report, Leibniz-Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries Berlin (IGB, contractor), State Agency for Flood Protection and Water Management Saxony Anhalt (LHW, orderer), 105 pp.

Lewandowski, J., Hoehn, E., Kasprzak, P., Kleeberg, A., Kurzreuther, H.; Lücke, N.; Mathes, J., Meis, S.; Rönicke, H., Sandrock, S.; Wauer, G., Rothe, M., Hupfer, M. (2013): Gewässerinterne Ökotechnologien zur Verminderung der Trophie von Seen und Talsperren KW : Korrespondenz Wasserwirtschaft 6: 718-728.

Meinikmann, K., Hupfer, M., Lewandowski, J. (2015): Phosphorus in groundwater discharge – a potential source of lake eutrophication. Journal of Hydrology 524: 214-226. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.02.031>

Schwefel, R. Jordan, S., Köhler, A., Hupfer, M. (2023): Wie reagieren Seen auf den Klimawandel? Prognosen und mögliche Anpassungsstrategien: KW Korrespondenz Wasserwirtschaft 16: 293-300.

Schwefel, R., Jordan, S., Nkwilale, L., Rinke, K., Hupfer, M. (2024): Temperatures and hypolimnetic oxygen in German lakes – observations, future trends and adaption potential. Ambio. <https://doi.org/10.1007/s13280-024-02046-z>

Zamparas, M., Kyriakopoulos, G.L., Drosos, M., Kapsalis, V.C., Kalavrouziotis, I.K. (2020): Novel Composite Materials for Lake Restoration: A New Approach Impacting on Ecology and Circular Economy. Sustainability 12, 3397. <https://doi.org/10.3390/su12083397>



Geben Sie uns Feedback
zu dieser Publikation
↘ <https://bit.ly/igb-feedback>

Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB)

im Forschungsverbund Berlin e. V.
Müggelseedamm 310
12587 Berlin

Telefon: +49 30 64181-500

E-Mail: info@igb-berlin.de

Internet: www.igb-berlin.de

Bluesky: [@leibnizigb.bsky.social](https://bsky.app/profile/@leibnizigb.bsky.social)

Newsletter: www.igb-berlin.de/newsletter

Herausgeber

Forschungsverbund Berlin e. V.

Rudower Chaussee 17

12489 Berlin, Germany

Verantwortlich nach dem Deutschen Presserecht:

Professor Luc De Meester und Martin Böhnke

Verantwortliches Institut: Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB)

Verantwortliche Autoren (in alphabetischer Reihenfolge)

Michael Hupfer und Jörg Lewandowski

Redaktion

Johannes Graupner und Angelina Tittmann

Layout

unicom-berlin.de

Titelbild

© Aufwind-Luftbilder, Stock-Fotografie-ID:1317395079

Über diese Publikation

„Forschen für die Zukunft unserer Gewässer“ ist das Leitmotiv des IGB. Dazu gehören die objektive und evidenzbasierte Information und Beratung von Politik, Behörden, Verbänden, Wirtschaft, Bildungseinrichtungen und der Öffentlichkeit. Im Rahmen seiner eigenen Schriftenreihe IGB Outlines, zu denen auch dieses IGB Dossier gehört, macht das Institut forschungsbasiertes Wissen kostenfrei für die Öffentlichkeit zugänglich. Für die Inhalte der Beiträge sind die jeweiligen Autor*innen verantwortlich. Eine Weiterverbreitung des zusammenhängenden Gesamtdokuments ist grundsätzlich gestattet. Sollten Sie aus dem Dokument im Rahmen anderer Publikationen und Formate zitieren, bitten wir um einen Hinweis.

Zitationsvorschlag

IGB (2025): Die Nährstoffbelastung des Arendsees. Wissensstand und Handlungsoptionen. IGB Dossier, Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Berlin.

DOI

<https://doi.org/10.4126/FRL01-006489467>

Copyright

IGB, 2025

Mit Ausnahme von Fotos und Grafiken ist der Inhalt dieses Dokuments lizenziert unter CC BY-NC 4.0 Germany