



Bundesländern erstellt (siehe z.B. LUBW und WBWF, Gewässerrandstreifen in Baden-Württemberg, 2015). Zur Verbesserung der Finanzierungsmöglichkeiten bietet sich ein bundesweites Förderprogramm zur Renaturierung von Seen und Feuchtgebieten an.

Wenn Klimawandel und -schwankungen nicht proaktiv berücksichtigt werden, sind die Erfolgsaussichten langfristiger Schutz- und Erhaltungspläne deutlich geringer. Auch Maßnahmen zur Kontrolle invasiver Arten sind dabei unerlässlich, da die sich verändernden Klimabedingungen das Risiko der Ausbreitung invasiver Arten erhöhen.

Zu den Klimaanpassungsmaßnahmen in nördlichen gemäßigten Zonen gehören eine konsequent nachhaltige Landwirtschaft, eine verbesserte Nährstoff- und Bodenbewirtschaftung mit geringeren Nährstoffverlusten in die Oberflächengewässer, eine geringere Belastung aus Punktquellen, die Wiederherstellung degradierten Feuchtgebiete und Uferzonen und die Renaturierung von kanalisiertem Flüssen. In trockeneren Südeuropa muss die Wassernutzung durch den Menschen eingeschränkt werden, insbesondere in der Bewässerungslandwirtschaft. Der Erfolg dieser Maßnahmen wird weitgehend von Einbeziehung lokaler Gemeinschaften in den Anpassungsprozess abhängen.



Udo Gattenlöhner, Michael Bender und Marlene Bär Lamas
Blitzlichtstudie

„Seen und Klimawandel“

Beiträge zu aktuell verfügbaren Forschungsergebnissen zu Auswirkungen des Klimawandels und daraus resultierenden Änderungen von Temperaturen, Niederschlagsmengen und Niederschlagsverteilungen auf Seen, Kleingewässer und Feuchtgebiete in Deutschland unter Einbeziehung von Erkenntnissen aus anderen Ländern Europas. BfN-Skripten 624.

Fachbetreuung im BfN:

Angelina Heidrich, FG I 2.3 „Internationaler Naturschutz“

Institutioneller Herausgeber:

Bundesamt für Naturschutz
Konstantinstr. 110, 53179 Bonn
Webseite: www.bfn.de

Titelbild: Thies Geertz – Der in Griechenland nördlich von Thessaloniki gelegene Volvi See ist im Jahr 2019 komplett ausgetrocknet.

Diese Veröffentlichung wird aufgenommen in die Literaturdatenbank „DNL-online“ (www.dnl-online.de). BfN-Skripten sind nicht im Buchhandel erhältlich. Eine pdf-Version dieser Ausgabe kann unter <http://www.bfn.de/skripten.html> heruntergeladen werden. Diese Schriftenreihe wird unter den Bedingungen der Creative Commons Lizenz Namensnennung – keine Bearbeitung 4.0 International (CC BY - ND 4.0) zur Verfügung gestellt. (<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/deed.de>)

ISBN 978-3-89624-385-0
DOI 10.19217/skr
Bonn - Bad Godesberg 2022

Adressen der Autoren und der Autorin:

Udo Gattenlöhner, Marlene Bär Lamas
Global Nature Fund, Fritz-Reichle-Ring, 78315 Radolfzell
gattenloehner@globalnature.org,
info@globalnature.org
Michael Bender
GRÜNE LIGA e.V./Stiftung Living Rivers, Greifswalder Str. 4,
10405 Berlin
wasser@grueneliga.de



Bundesamt für Naturschutz
Konstantinstr. 110
53179 Bonn
Webseite: www.bfn.de



Global Nature Fund
Udo Gattenlöhner
78315 Radolfzell
Fritz-Reichle-Ring 4
Telefon: +49 (0) 77 32 - 99 95 - 80
E-Mail: info@globalnature.org
Webseite: www.globalnature.org



**GRÜNE LIGA e.V./
Stiftung Living Rivers**
Michael Bender,
10405 Berlin
Greifswalder Str. 4
Telefon: +49 (0)30 - 40 39 35 30
E-Mail: wasser@grueneliga.de
Webseite: www.living-rivers.eu

Bildnachweise:

Th. Geertz (Titel),
U. Gattenlöhner (innen li.),
Greifswald Moor Centrum,
U. Gattenlöhner, H. Berger
(innen re.), C. Burggraf,
R. Schill, BfN (revers)

Gefördert durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN) mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (FKZ: Z 2 53202/H/12).



**Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
nukleare Sicherheit
und Verbraucherschutz**



Udo Gattenlöhner, Michael Bender und Marlene Bär Lamas

Blitzlichtstudie „Seen und Klimawandel“

Neuerscheinung BfN-Skripten Schriftenreihe 624

LAY SUMMARY

Beiträge zu aktuell verfügbaren Forschungsergebnissen zu Auswirkungen des Klimawandels – und daraus resultierenden Änderungen von Temperaturen, Niederschlagsmengen und Niederschlagsverteilungen – auf Seen, Kleingewässer und Feuchtgebiete in Deutschland unter Einbeziehung von Erkenntnissen aus anderen Ländern Europas

Die globale Klimaerwärmung – und daraus resultierende längere Trockenperioden und häufigere Starkregenereignisse – wirkt sich in Deutschland, wie auch im restlichen Europa, spürbar auf den Wasserhaushalt von Seen und Feuchtgebieten aus. Dadurch entstehen zusätzliche Stressfaktoren für aquatische Ökosysteme und ihre Biodiversität und es werden zunehmend Konflikte bei der Wassernutzung deutlich.

Vor diesem Hintergrund wirft die aktuelle „Blitzlichtstudie Seen und Klimawandel“ ein Schlaglicht auf vorhandene Forschungsergebnisse zu Seen in Deutschland und Europa und bezieht Erfahrungen aus dem internationalen Netzwerk Living Lakes und Erkenntnisse aus „Citizen Science“-Projekten mit ein.

Die Studie wurde in der Langfassung als BfN-Skript veröffentlicht. Nachfolgend wird ein kurzer Überblick des Inhaltes und der Empfehlungen in Form eines Lay Summary wiedergegeben.

Die Studie ist in fünf Bereiche unterteilt. Zunächst werden meteorologische Parameter des Klimawandels und ihre Auswirkungen auf biologische, physikalische und chemische Aspekte – u.a. Luft- und Wassertemperaturen, Niederschläge und Eisdecke – dargestellt.

Im zweiten Abschnitt werden globale Aspekte des Schutzes von Feuchtgebieten aufgegriffen und Klimafolgen für Seen beispielhaft anhand alpiner Seen in der Schweiz und Seen nördlicher Breiten in Estland in den europäischen Kontext gestellt. Der dritte Teil beschäftigt sich mit den Auswirkungen des Klimawandels auf Seen in Deutschland, v.a. in Bezug auf die Wassertemperatur, Wasserqualität (Sauerstoff, pH, organische Substanz, Nährstoffe, Mineralien, Schadstoffe, Phytoplankton), die Litoralzonen und die Biodiversität (Wasservogel und Neozoen). Hier finden sich Beiträge des Leibniz-Instituts für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB Berlin), des Max-Planck-Instituts in Radolfzell und des ISF Langenargen.

In den folgenden Kapiteln wird versucht, anhand der Klimawirkungs- und Risikoanalyse für Deutschland eine Abschätzung der Zukunft vorzunehmen, den Bezug zum gegenwärtigen Zustand von Feuchtgebieten herzustellen, sich andeutende Konflikte im Bereich der Trinkwasserversorgung aufzugreifen, Handlungsmöglichkeiten aufzuzeigen und Empfehlungen für die weitere Diskussion zu geben.

Im letzten Kapitel befindet sich ein umfangreiches Literaturverzeichnis zum Thema einschließlich in der Studie zitierter Quellen.

Blitzlichtstudie „Seen und Klimawandel“

Zusammenfassung

Im heutigen Zustand sind viele Seen bereits stark durch menschliche Aktivitäten beeinträchtigt und damit vulnerabler gegenüber negativen Auswirkungen des Klimawandels. Steigende Wassertemperaturen, sich verändernde Hydrologie und zunehmende Nutzungsansprüche bringen neue Herausforderungen für den Schutz von Gewässern mit sich. Für die Resistenz (Widerstand gegenüber einer Störung) und die Resilienz (Vermögen nach der Störung in den Ausgangszustand zurückzukehren) von Seen gegenüber zunehmenden Extremereignissen sind die Ausgangsbedingungen, unter anderem Temperaturniveau, Mischungsstatus und Zeitpunkt des Extremereignisses, von entscheidender Bedeutung (vgl. Adrian, Kap. 4.1). Lösungsansätze bestehen darin, dass wir zum Schutz der Wasserökosysteme und ihrer Funktionen noch stärker auf die konsequente Vermeidung von Schadstoffeinträgen, die Renaturierung der Ufer und eine äußerst zurückhaltende Beanspruchung ihres Wassers (vgl. Lanz, Kapitel 3.1) fokussieren müssen.

Seen reagieren direkt auf unmittelbare Einwirkungen des Wetters als Folge des Klimas, aber auch indirekt auf Vorgänge im Einzugsgebiet. Die Sommertemperaturen europäischer Seen stiegen in den vergangenen Jahrzehnten im Mittel zwischen 0,29 und 0,38°C pro Dekade an (vgl. Dokulil, Kapitel 2.1). Die thermischen Bedingungen der Volumina haben sich zwischen den 1970er Jahren und heute bereits in einem Maße verändert, das einer Verlagerung der Seen in deutlich südlicher gelegene Breitengrade oder in tiefer gelegene Höhenlagen gleichkäme (vgl. Adrian, Kap. 4.1).

Es ist auch eine Abnahme der Eisbedeckung von Seen festzustellen. Durch den Rückgang winterlicher Eisdecken sind einige dimiktische Seen zu monomiktischen Zuständen übergegangen, werden also in Herbst und Frühjahr nicht mehr vollständig durchmischt (vgl. Dokulil, Kapitel 2.1). Das hat negative Auswirkungen auf die Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser bis hin zur Anärobie. Anärobie, also sauerstofffreie Bedingungen initiieren die Freisetzung von zuvor im Sediment gebundenen Nährstoffen (vgl. Adrian, Kap. 4.1). Die globale Erwärmung und die damit verbundene Zunahme extremer Wetterereignisse führen zu zusätzlichen Nährstoffeinträgen, also einer klima-induzierten Eutrophierung der Seen. Eine primäre Ursache liegt in den verstärkten Austrägen aus den Einzugsgebieten als Folge von Starkregen und Überschwemmungen (vgl. Dokulil, Kapitel 2.1).

Langzeitmessungen an Seen in Schleswig-Holstein deuten darauf hin, dass der mittleren Lufttemperatur in den Sommermonaten für die Ausprägung der Sommersichttiefe keine dominante Bedeutung zukommt. Die zeitliche Nähe des Niederschlagsereignisses zur individuell gehandhabten Düngeraufbringung scheinen hingegen von ausschlaggebender Bedeutung für die Algenentwicklung und für die Ausprägung der Sichttiefen im Sommer zu sein (Reck-Mieth, Kapitel 4.3.).

Studien an estnischen Seen zeigen, dass dort der dekadische Anstieg von Blaualgen (Cyanobakterien) in flachen Seen auf die Wechselwirkung zwischen lokaler Eutrophierung und globaler Erwärmung zurückzuführen ist, die die physikalischen und chemischen Bedin-

gungen im See näher an das cyanobakterielle Optimum bringen (vgl. Nöges & Nöges, Kapitel 3.4). Zunahmen von Chlorophyll und Cyanobakterien korrelieren oft auch mit sinkenden Wasserständen vieler Seen und Stauseen, zuweilen begleitet von Regimewechseln von klarem zu trübem Wasser (vgl. Bär Lamas, Kapitel 2.2). In einigen eutrophen Seen wurden Fischsterben aufgrund von Sauerstoffmangel und hoher Konzentrationen von Ammonium und Ammoniak beobachtet (vgl. Nöges & Nöges, Kapitel 3.4).

Die Klimaerwärmung und die damit verbundene Zunahme von Hitzeextremen führen zum Teil zu einem Rückgang der Wasserfläche. Dadurch werden Ufersedimente freigelegt und kommen mit Luftsauerstoff in Kontakt. Dies führt zu einer Erhöhung des mikrobiellen Abbaus organischen Materials unter Freisetzung von Kohlendioxid. Dies ist einer der Mechanismen, welche Seen und trockenfallende Flüsse zu Treibhausgasquellen für die Atmosphäre machen und damit die Klimaerwärmung über Rückkopplungseffekte verstärken (vgl. Adrian, Kap. 4.1).

Klimabedingte Schwankungen des Wasserstandes wirken sich auch signifikant auf die Brutbedingungen von Wasservögeln aus. So hat beispielsweise die Reiherente ihre Winterquartiere nach Nordosten verschoben und wurde am Bodensee inzwischen vom Blässhuhn als häufigste überwinterte Art abgelöst (Bauer, Werner, Kap. 4.4). Die Bestände der Wasservögel hängen auch von dem sich verändernden Nahrungsangebot ab. Erhebungen aus Tauchgängen von Sporttauchern konnten das Wissen um die Verbreitungsschwerpunkte von invasiven Arten wie der Quagga-Muschel deutlich verbessern, die sich parallel zum Klimawandel in den deutschen Gewässern ausbreiten (Brümmer, Schill, Kapitel 4.5).

Laut der Klimawirkungs- und Risikoanalyse für Deutschland (KWRA vgl. Kapitel 5.1) führt der klimabedingte Temperaturanstieg zu steigenden Verdunstungsraten, verbunden mit sinkenden Grundwasserständen – besonders im Nordosten Deutschlands in Mecklenburg-Vorpommern, im Süden von Sachsen-Anhalt sowie in den Mittelgebirgen und am Alpenrand. Der oldenburgisch-ostfriesische Wasserverband, der derzeit rund 2.500 Grundwassermessstellen betreibt, stellt in den Geestgebieten bereits seit 15 bis 20 Jahren unterdurchschnittliche Grundwasserstände fest. In den Jahren 2019/20 wurden hier vielerorts historische Tiefststände gemessen. Durch die Entwicklung hin zu heißeren und trockeneren Sommern ist zu erwarten, dass zukünftig verstärkt saisonal negative Wirkungen auf grundwasserabhängige Feuchtgebiete eintreten werden, v.a. wenn die Grundwasserstände relativ tief liegen und gleichzeitig der Bedarf für verschiedene Grundwassernutzungen hoch ist (vgl. Buss, Kapitel 5.3).

Für den Schutz von Mooren, die als besonders gefährdete Feuchtgebiete betrachtet werden müssen, wird als Handlungsansatz bereits seit einigen Jahren die Paludikultur erfolgreich erprobt und beworben. Dieser Ansatz ermöglicht eine Nutzung unter gleichzeitiger Wiederherstellung des natürlichen nassen Zustandes. Dies ist insofern von Relevanz, da entwässerte, dann in der Regel landwirtschaftlich genutzte Moore große Mengen an Klimagasen emittieren. Obwohl Moore nur 7 % der genutzten Landwirtschaftsfläche in Deutschland darstellen, sind sie für 37 % der gesamten landwirtschaftlichen

Treibhausgasemissionen (inklusive Tierhaltung) verantwortlich. Das entspricht rund 43 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr. Die Torfzersetzung beziehungsweise die Mineralisierung in entwässerten Mooren führt außerdem zu hohen Stoffausträgen über Grund- und Oberflächengewässer, was mit dazu beiträgt, dass viele Seen und Küstengebiete in Europa unter einer hohen Nährstoffbelastung leiden und stark eutroph sind.

Die Kohlenstoffspeicherung organischer Böden kann jedoch wiederhergestellt werden, indem torfbildende Vegetationen etabliert werden, beispielsweise durch Erhöhung des Grundwasserspiegels. Die Wiedervernässung von Mooren wird dann gleichzeitig den immensen Nährstoffaustrag an Stickstoff [N] und Phosphor [P] reduzieren, der bei entwässerten Mooren zu beobachten ist. Dies muss eine prioritäre Aufgabe im Flusseinzugsgebietsmanagement im Nordwesten Europas und in den Einzugsgebieten von Nord- und Ostsee werden (vgl. Bender, Wichtmann, Abel, Kapitel 5.2).

Empfehlungen

In der „Blitzlichtstudie Seen und Klimawandel“ werden eine Reihe von Forschungsergebnissen und Veröffentlichungen vorgestellt, ohne dass ein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben wird. Gemeinsam mit Praxis- und Fallbeispielen bietet die Blitzlichtstudie eine Grundlage für erste Schlussfolgerungen und Empfehlungen, die im Folgenden in Form zentraler Thesen für die weitere Diskussion zusammengefasst dargestellt werden.

Neben bereits erkennbaren Veränderungen von Wetter, Wind und insbesondere Temperaturen, die sich für die Zukunft teilweise extrapolieren lassen, ändern sich gleichzeitig ökologische Bedingungen (Bsp. Ausweitung von Neobiota) und zukünftig zu erwartende oder sich bereits abzeichnende zusätzliche Nutzungsansprüche. Diese sind in der Studie zum Teil bereits skizziert, z.B. Kühlwasser, umfassen aber auch weitere Aspekte, wie beispielsweise die Entwicklung von Aquakultur, die hier nicht dezidiert dargestellt sind.

Insgesamt gesehen stehen viele Seen und Feuchtgebiete bereits jetzt an der Grenze ihrer hydrologischen und ökosystemischen Belastbarkeit. Es muss sichergestellt werden, dass aktuelle und bisherige Erfolge im Management von Gewässern durch negative Entwicklungen und neue Ansprüche nicht wieder zunichtegemacht werden. Deshalb müssen vorhandene Nutzungen von und an Seen und Feuchtgebieten sowie zusätzliche Ansprüche vor dem Hintergrund zu erwartender Klimaentwicklungen kritisch geprüft und priorisiert werden, mit dem Ziel, die Gesamtbelastung der Ökosysteme zu reduzieren und das ökologische Gleichgewicht zu sichern.

In allen deutschen Flussgebieten zählt die Nährstoffbelastung zu den wichtigen Wasserbewirtschaftungsfragen nach Artikel 14.1.b WRRL. Die Eutrophierung gilt als eine der wesentlichen Ursachen für das Nichterreichen des in der Wasserrahmenrichtlinie formulierten guten ökologischen Zustands von Oberflächengewässern, die Nitratbelastung als Hauptfaktor für das Verfehlen des guten chemischen

Zustands des Grundwassers. Aktuelle Klimaforschungen zu Seen und ihren Einzugsgebieten deuten auf Faktoren hin, die zu zusätzlichen Nährstoffeinträgen und damit zu verstärkten Algenblüten in Gewässern führen werden. Vorgaben und Rahmenbedingungen zur Reduzierung der Nährstoffeinträge sollten sowohl die höhere Wahrscheinlichkeit zusätzlicher Einträge aus dem Einzugsgebiet, beispielsweise durch Starkregenereignisse, und weitere zusätzliche Belastungen stärker in Betracht ziehen.

Neben den Daten, die durch die zuständigen Stellen auf Bundes- und Länderebene erhoben werden, liegen bei weiteren Institutionen, wie z.B. den Wasserversorgern oder „Citizen Science Projekten“, umfassende, zum Teil langjährige Messdaten vor, die in wesentlich größerem Umfang für die Bestandserfassung und die Ableitung notwendiger Maßnahmen zu Rate gezogen werden sollten. Hinsichtlich der Nährstoffbelastung gilt das insbesondere auch für alle Daten, die im Zusammenhang mit der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung erhoben werden.

Wenn Wasserversorger (wie z.B. der OÖVV) von den niedrigsten jemals gemessenen Grundwasserständen berichten, kann dies als weiteres Indiz für einen großflächigen Rückgang grundwasserabhängiger Feuchtgebiete und Kleingewässer sowie von Seenflächen angesehen werden. Wie groß der bislang aufgetretene Umfang dieser Entwicklung und ihr Gesamteffekt auf den Rückgang der aquatischen Biodiversität bereits ist, scheint gegenwärtig noch nicht vollumfänglich erfasst. Neben dem sich hier andeutenden Forschungsbedarf gibt es aber eine Reihe von Handlungsansätzen, wie den naturnahen Wasserrückhalt, denen sowohl hinsichtlich des Erhalts der Biodiversität, als auch des Klimaschutzes steigende Bedeutung zukommt. Besonders effektiv hinsichtlich der Verringerung von CO₂ und Methanemissionen sind dabei die Anhebung des Wasserstandes und die Wiedervernässung von Moorflächen, die sich derzeit zu ca. 98 % als künstlich entwässert darstellen. Einen wesentlichen Handlungsschwerpunkt bilden dabei die zur landwirtschaftlichen Bewirtschaftung entwässerten ehemaligen Moorflächen, die neben der Tierhaltung zu den Hotspots der landwirtschaftlichen Klimagasemissionen zählen. Hier gilt es, den Moorschutz aus Gründen des Natur- und des Klimaschutzes und der Klimaanpassung auszuweiten und ergänzend Maßnahmen zu angepasster Nutzung unter feuchten Bedingungen (Paludikultur) deutlich auszuweiten. Die Zuführung feuchter Standorte für die konventionelle Bewirtschaftung muss der Vergangenheit angehören.

Im heutigen Zustand sind viele Seen so stark durch menschliche Aktivitäten belastet, dass sie dem Klimawandel nicht unbeschadet widerstehen können. In Zeiten der Erwärmung und sommerlicher Austrocknung benötigen sie daher noch besseren Schutz. Das bedeutet vor allem die konsequente Vermeidung von Schadstoffeinträgen, die Renaturierung der Ufer und eine äußerst zurückhaltende Nutzung des Wassers. Geplante Uferverbauungen sollten unter Beachtung der begrenzten Tragfähigkeit der Seen stärker Gegenstand strategischer Umweltprüfungen werden, umfangreichere Pufferzonen und ungenutzte Gewässerrandstreifen sollten angelegt und naturnahe Flachwasserzonen umfangreicher wiederhergestellt werden. Leitfäden zur Gestaltung von Gewässerrandstreifen wurden von verschiedenen