Seenfachtagung 2024

Deutsche Seen im Klimawandel: Prognosen und mögliche Anpassungsstrategien

Michael Hupfer

Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Berlin

unterstützt durch:

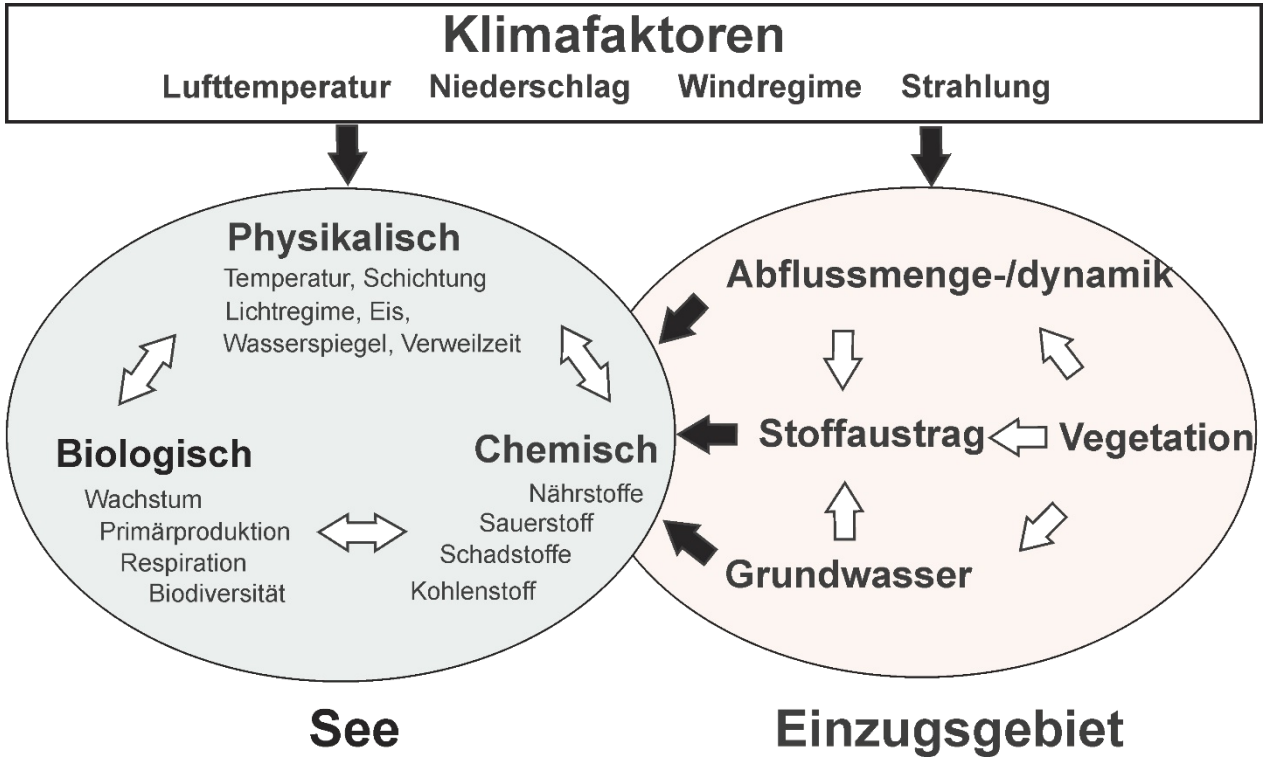
Klimawandel und Standgewässer

Klimafaktoren wirken **direkt** auf die Gewässer und verändern seine physikalische Struktur (Wassertemperatur, Mischungsregime, Abfluss Eisbedeckung, Pegel)

Physikalische Treiber führen zu ökologischen Reaktionen und verändern das Seeökosystem und ihre Funktionen.

Klimafaktoren wirken **indirekt** über das Einzugsgebiet auf Gewässer und verändern die Wasserzufuhr und den Stoffeintrag.

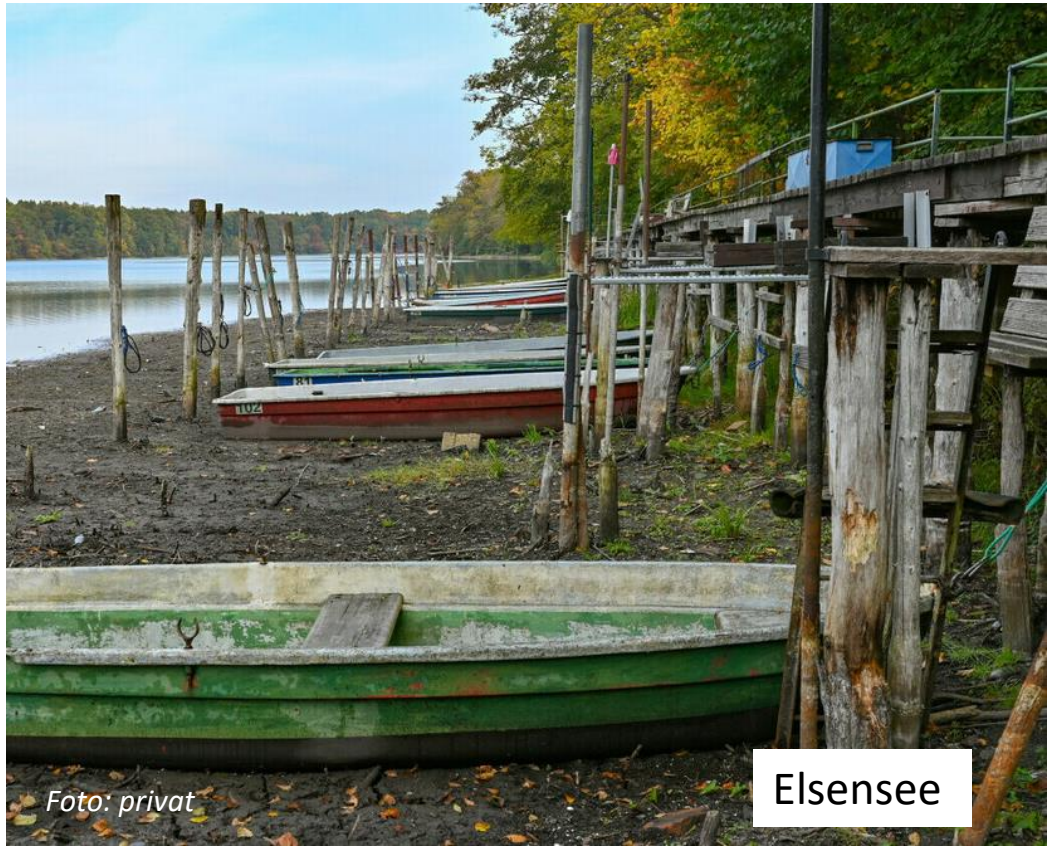
Nicht alle (negativen) Veränderungen lassen sich auf den Klimawandel zurückführen (nur 26% der Seen in Deutschland erreichen den guten ökologischen Zustand).



Hupfer & Nixdorf (2011)

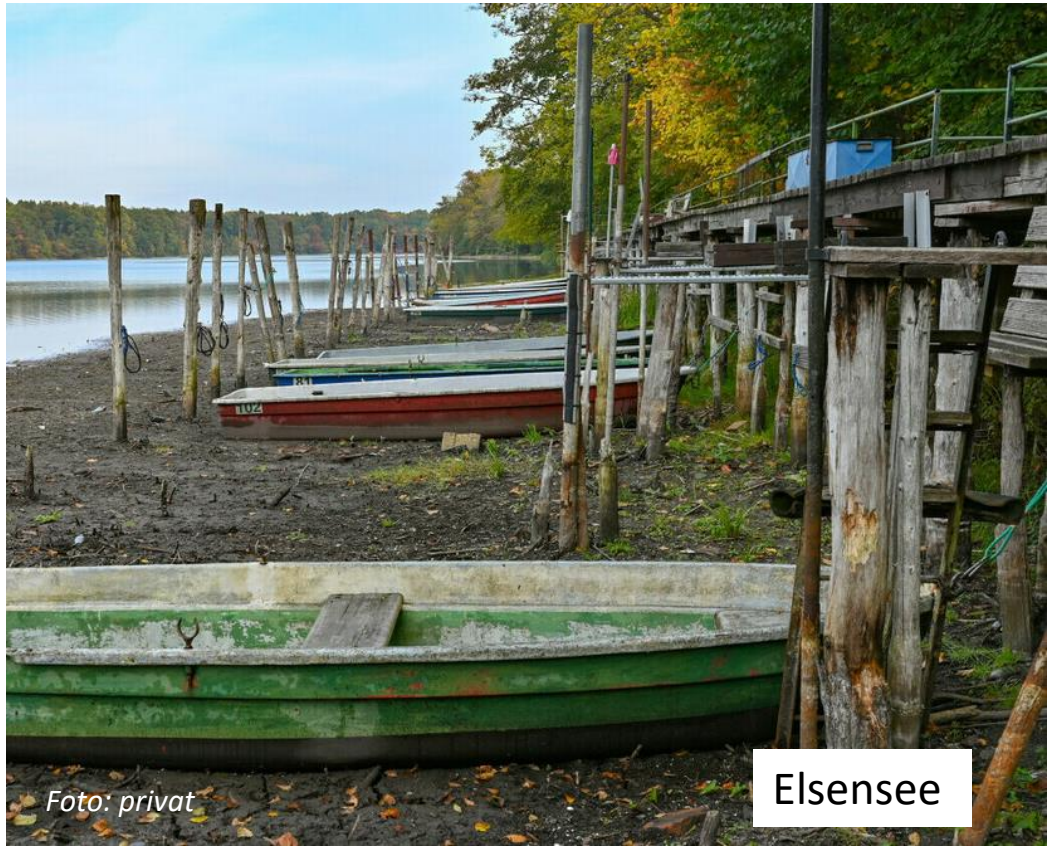
Klimaeffekte von anderen Veränderungen und Belastungen schwer zu trennen

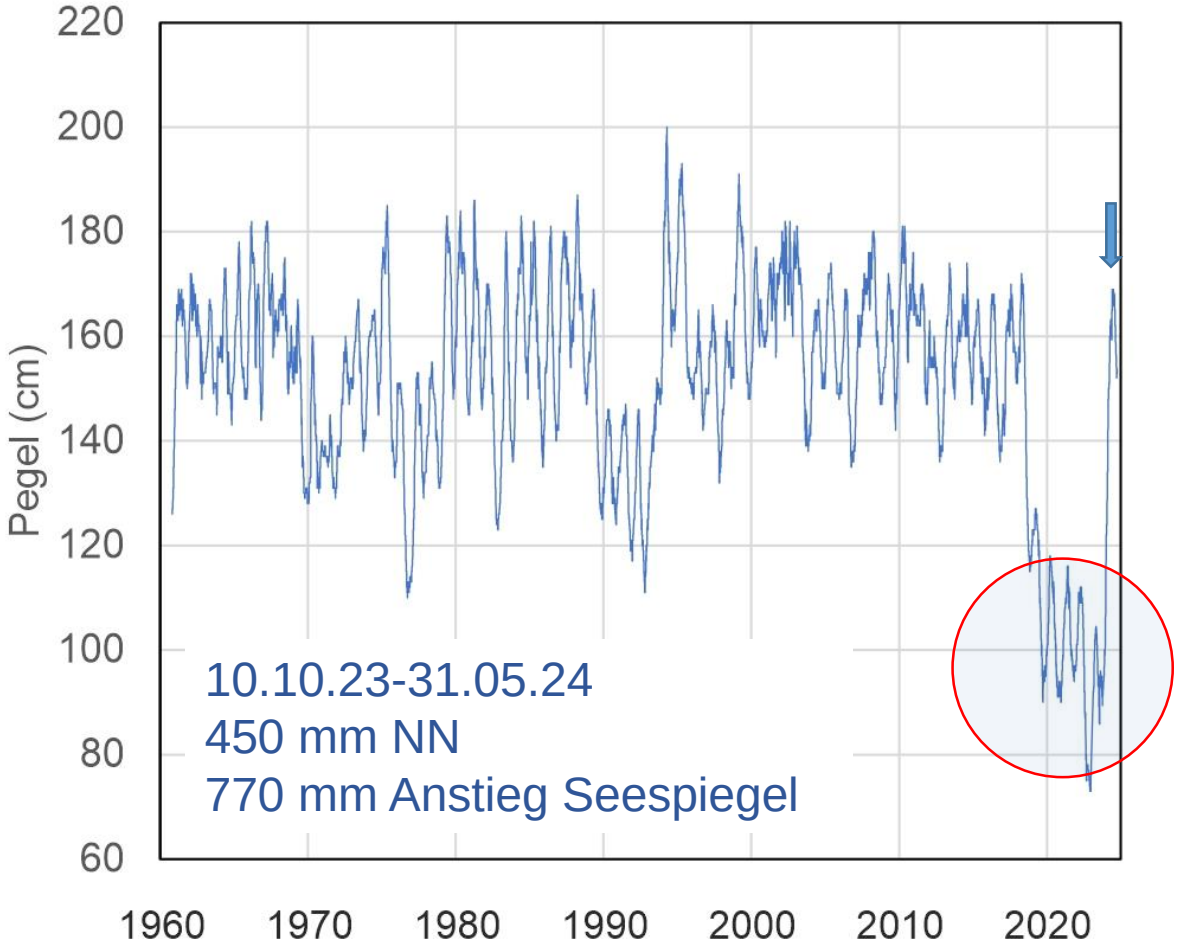
Sichtbare Auswirkungen des Klimawandels auf Seen



Sinkende und wechselnde Wasserstände von Seen

Sichtbare Auswirkungen des Klimawandels auf Seen





Sinkende und wechselnde Wasserstände von Seen

Sichtbare Auswirkungen des Klimawandels auf Seen

Foto: Franz Thorbecke

Foto: IGB Archiv

Eisbedeckung: kürzer, seltener und unvollständig

Regimewechsel von **dimiktisch** (zwei Durchmischungen im Jahr) zu **warm monomiktisch** (eine Durchmischung)

Sichtbare Auswirkungen des Klimawandels auf Seen

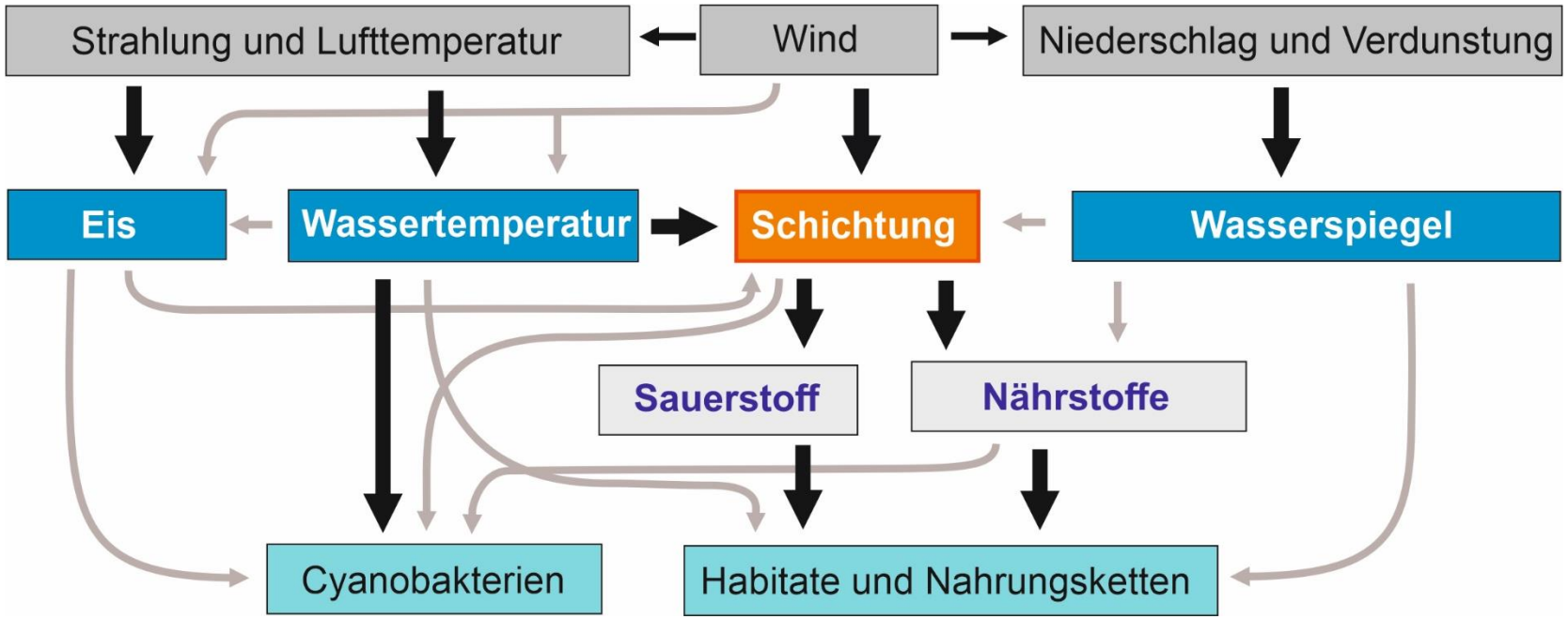
Foto: Tom Shatwell

Foto: Matthias Ahlke

Massenentwicklungen von Cyanobakterien und Fischsterben

Zunahme der Anoxie in Seen

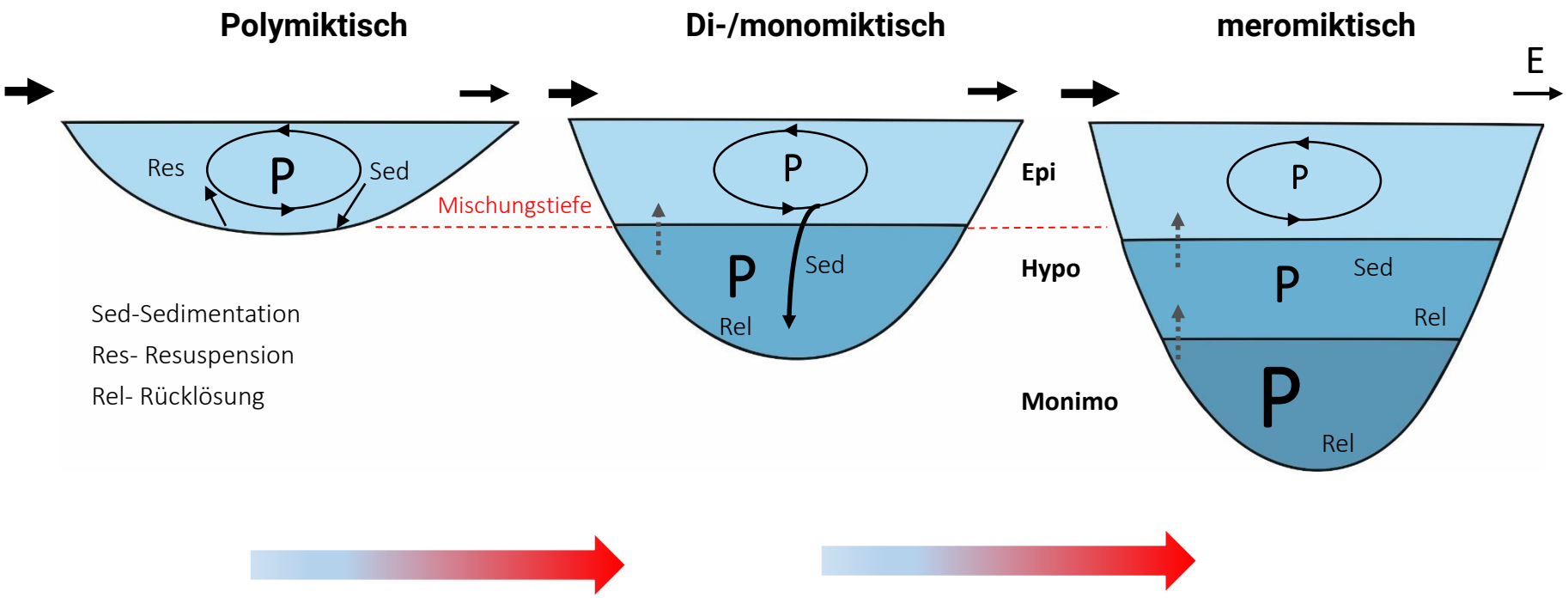
Direkte Wirkung von Klimaelementen auf Seen



Komplexe Auswirkungen des Klimawandels auf Seeökosysteme

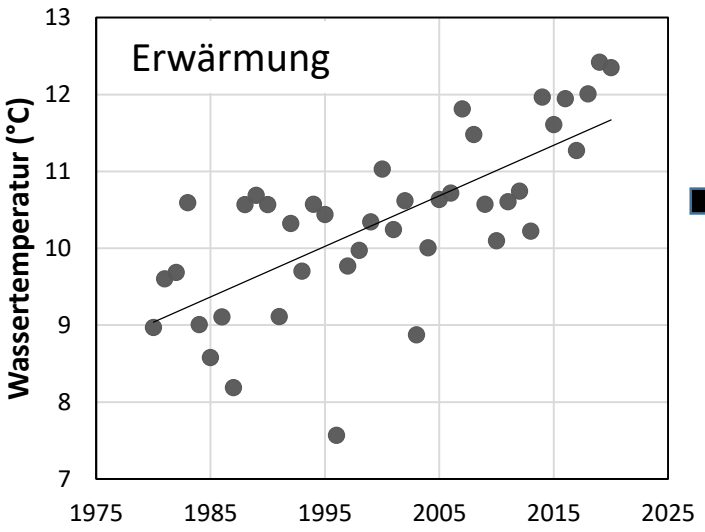
Schwefel et al. (2023). KWW

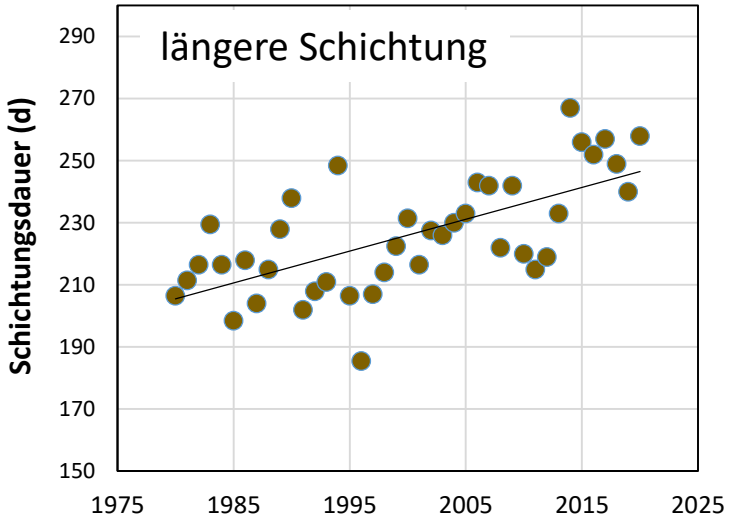
Schichtung und Phosphorverfügbarkeit



Längere Schichtung und Änderung des Mischungsregimes verändert die Verteilung und Verfügbarkeit von Phosphor.

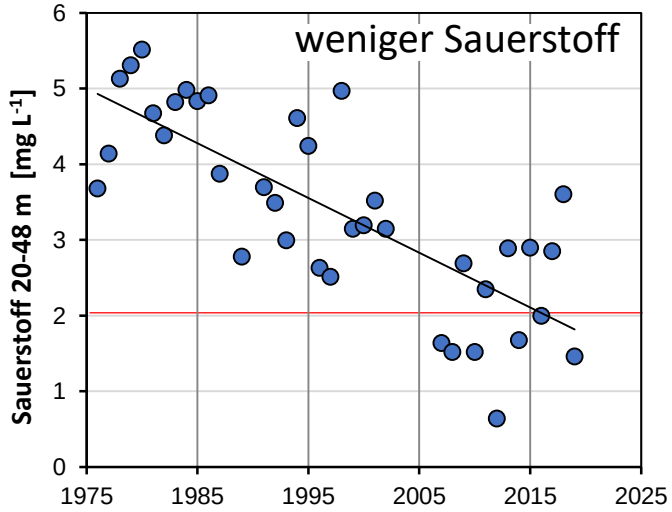
Messbare Auswirkungen des Klimawandels auf Seen



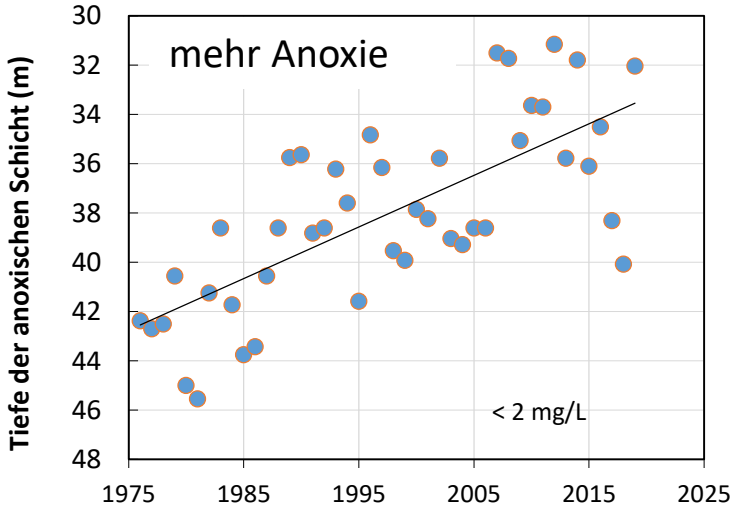


Temperatur/Schichtung

Fallbeispiel Arendsee

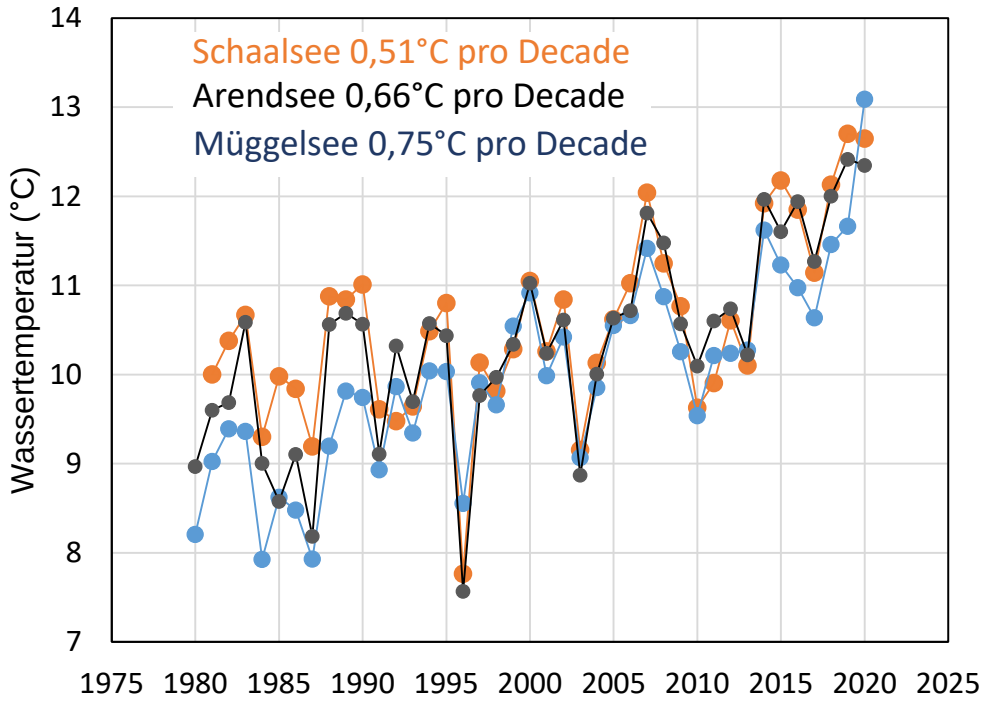


Sauerstoff im Tiefenwasser



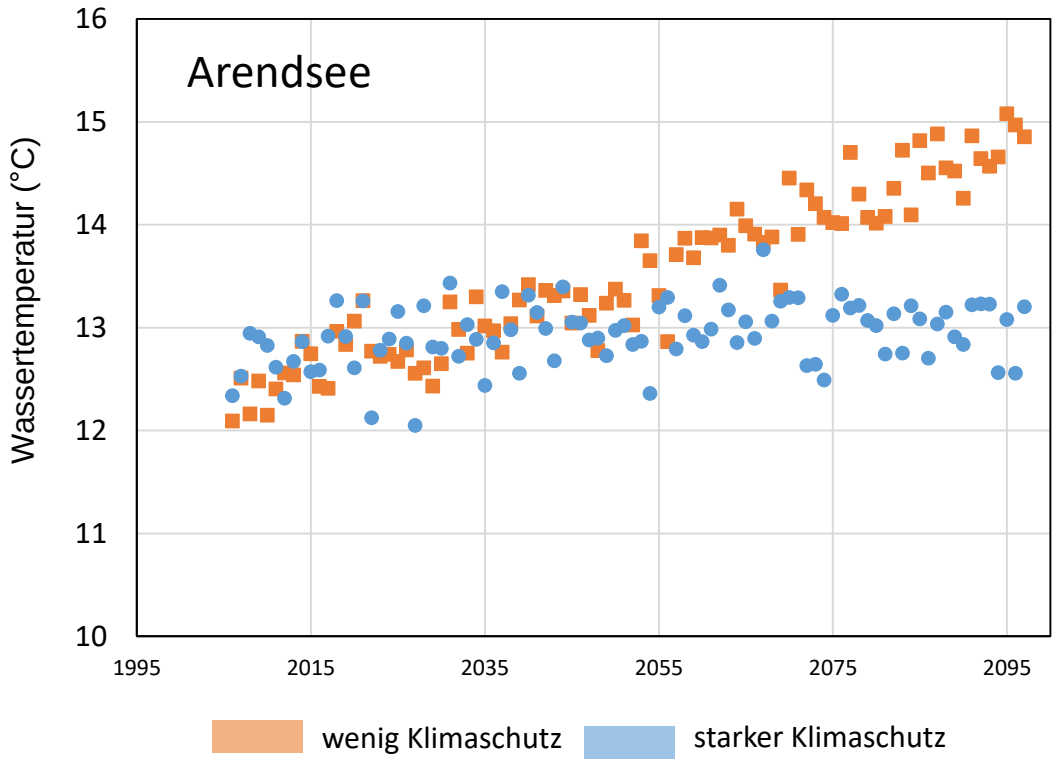
Modellierbare Auswirkungen des Klimawandels

Rückblick



Zunehmende Erwärmungstrends mit >0,5°C pro Dekade (seit 1980) und synchrone interannuelle Schwankungen

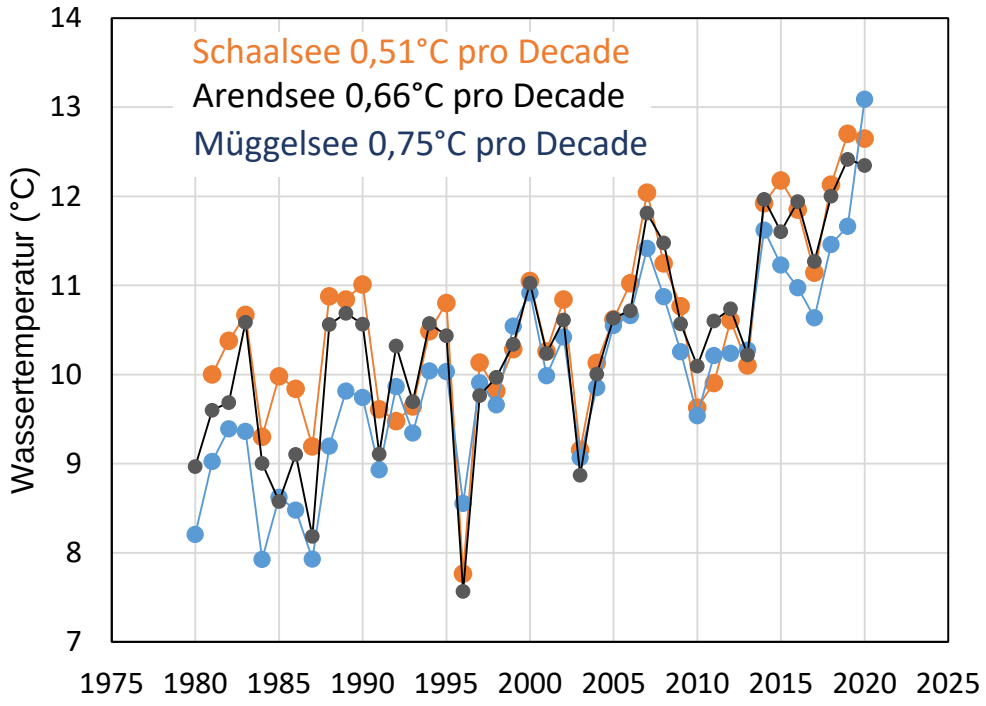
Blick in die Zukunft



Im Szenario mit wenig Klimaschutz steigt die Temperatur um weitere 2,2°C. Die Schichtung verlängert sich um nochmals 28 Tage

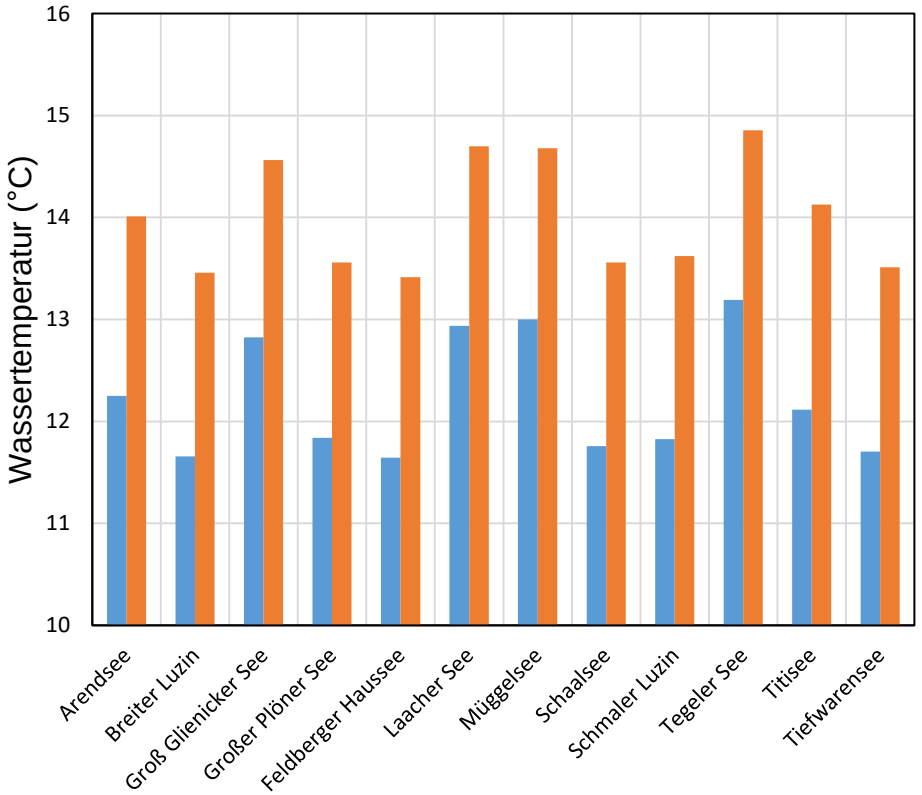
Modellierbare Auswirkungen des Klimawandels

Rückblick



Zunehmende Erwärmungstrends mit >0,5°C pro Dekade (seit 1980) und synchrone interannuelle Schwankungen

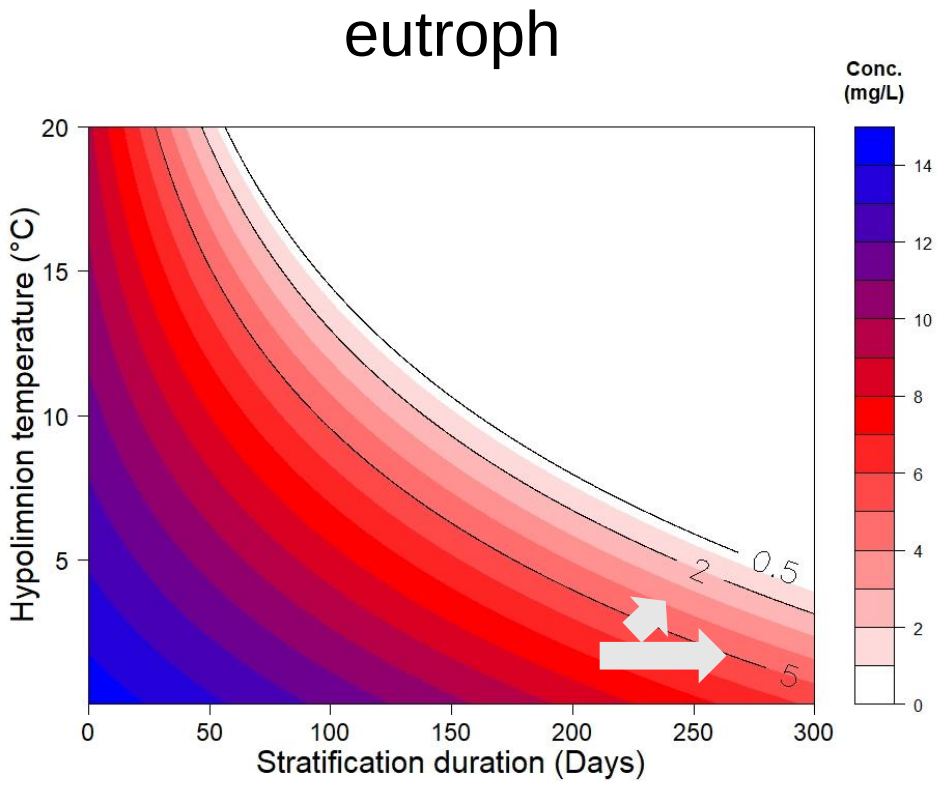
Blick in die Zukunft

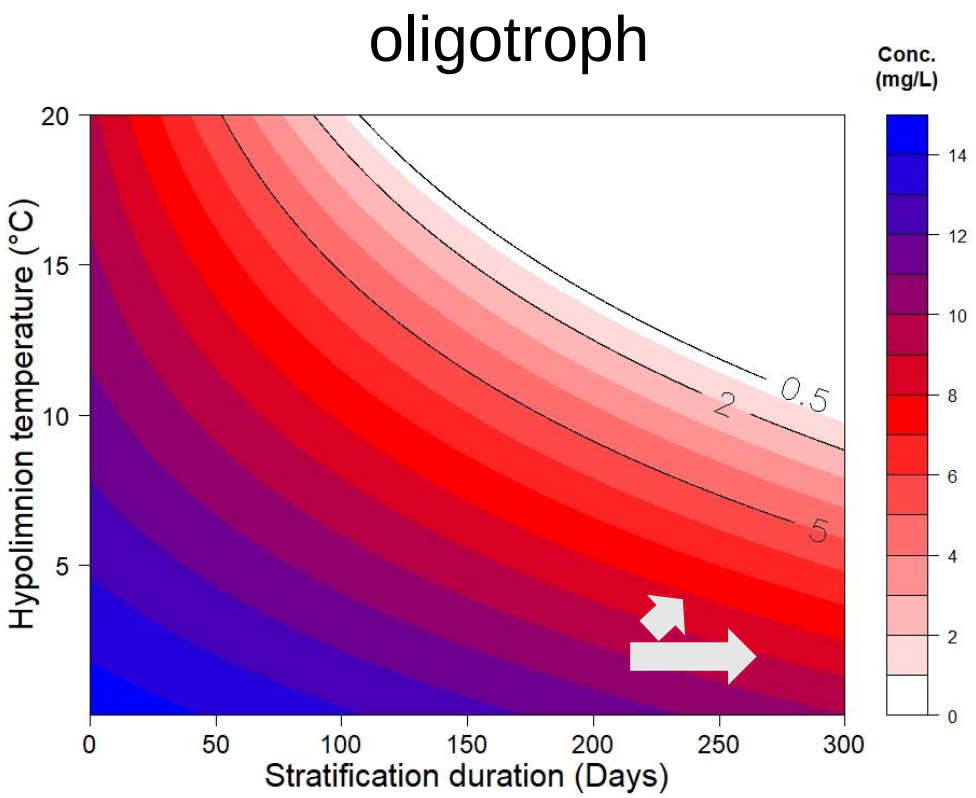


Schichtungsdauer
255 (RCP 8.5) Tage >> 237 Tage (RCP 2.6)

Oberflächentemperatur >25°C
30,6 Tage (RCP 8.5) >> 11,0 Tage (RCP 2.6)

Modellierbare Auswirkungen des Klimawandels





Modell von Nkwalale et al. (2023)

Mittlerer Sauerstoffgehalt im Hypolimnion als Funktion der Tiefenwassertemperatur und Schichtungsdauer

Eutrophierte Seen sind durch Klimaerwärmung stärker gefährdet.

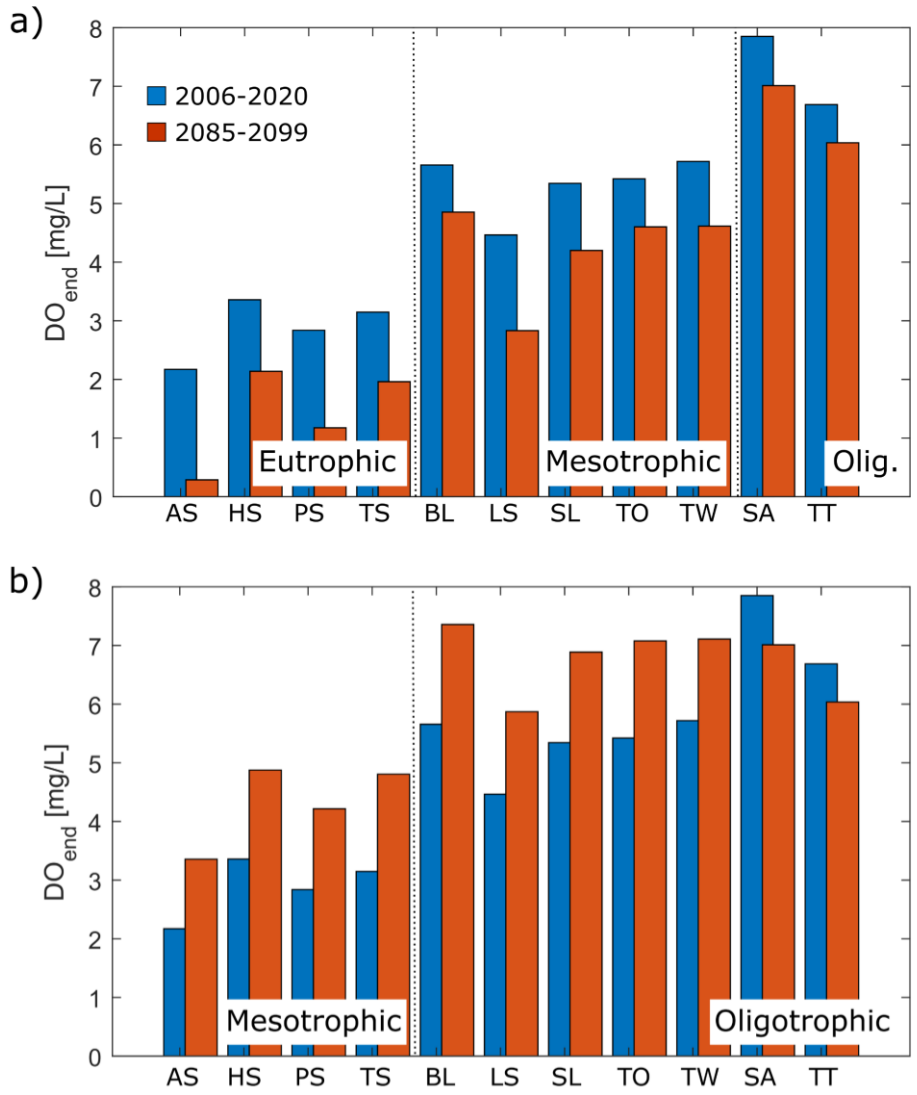
Modellierbare Auswirkungen des Klimawandels

In allen Seen sind am Ende der Schichtungsperiode Rückgänge in den Sauerstoffkonzentrationen zu erwarten.

Stärkste O_2-Verminderung tritt in eutrophen Seen auf.

Verbesserung der Trophie um eine Stufe (durch Nährstoffreduktion) führt zur Verbesserung der Sauerstoffsituation selbst im pessimistischen Klimaszenario.

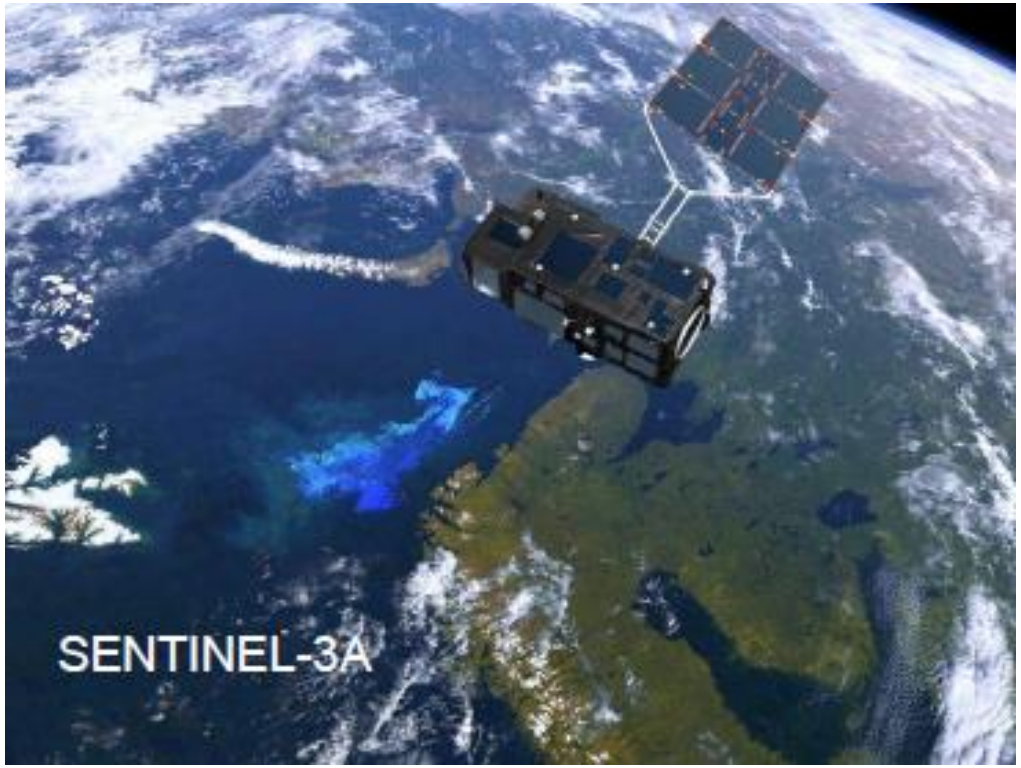
Nährstoffreduktion kann Klimaeffekt für O_2-Gehalt Im Tiefenwasser kompensieren.



Schwefel et al. (2024) Ambio

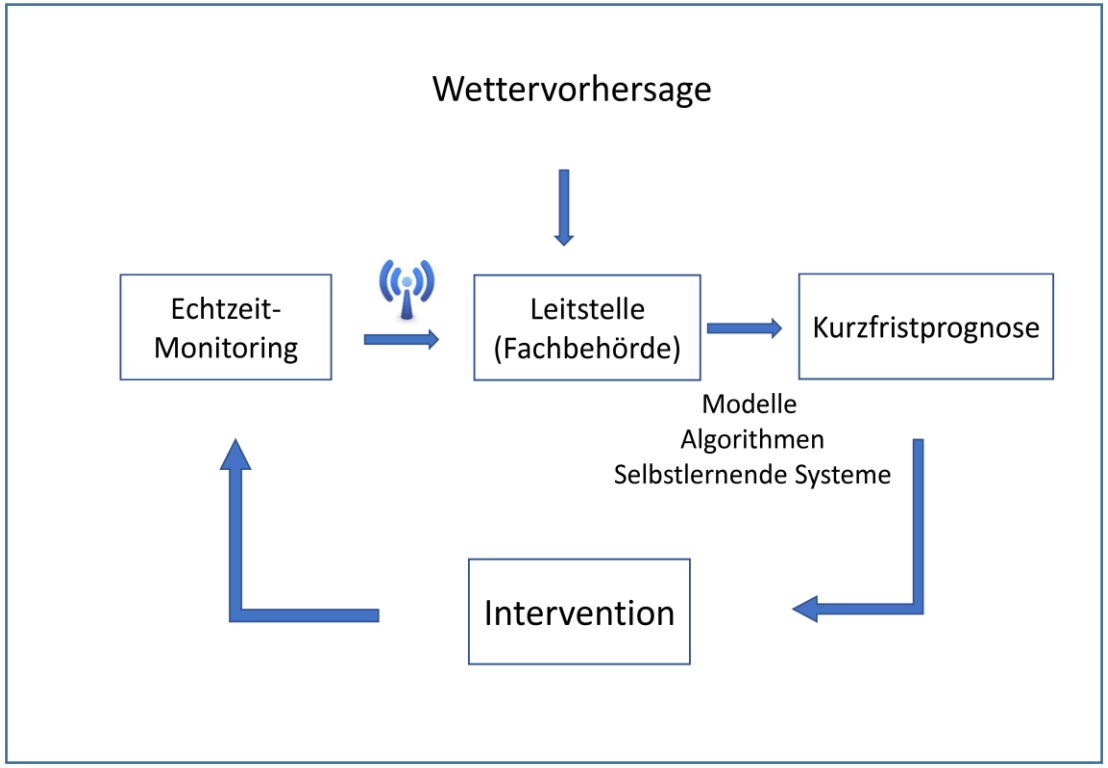
Anpassungsstrategien: Frühwarnsysteme

Methoden der Fernerkundung



Nutzungseinschränkungen
durch Cyanobakterien

Instrumentierung vulnerabler Gewässer



Belüftungssteuerung
zur Verhinderung von Fischsterben

Anpassungsstrategien: Klimaresiliente Seen

Strategie	Realisierung/Einfluss
End of pipe Maßnahmen	Puffersysteme, Phosphorfällung im Zufluss
Steuerung des thermischen Regimes	Flexible Entnahmetiefe des Wassers in Kombination mit Nährstoffkontrolle
Umleitung (Bypassing)	Verhinderung von Stoßbelastungen durch Starkregenereignisse
Unterhaltungsmaßnahmen (nicht nachhaltig)	Maßnahmen, um Wasserqualitätsziele durch Symptombeseitigung zu erreichen
Erhöhung der Speicherkapazitäten/ Fremdwasserzuführung	Erhöhung des Wasserrückhaltes in der Landschaft sowie Wasserzuführung aus anderen Einzugsgebieten gegen Wasserspiegelschwankungen und Austrocknung
Echtzeitmonitoring	Fernerkundungsmethoden und Instrumentierung, Sicherung der Funktionen besonders sensitiver Seeökosysteme (Trinkwasser, Fischerei und Erholung)

Anwendung von Talsperrenmanagement auf natürliche Seen

Auswirkungen der Energiewende auf Seen

Schwimmende PV-Anlagen

Foto: O&L Nexentury

Philippsee in Bad Schönborn (BW)

Thermische Seewassernutzung (Hydrothermie)

www.JeanRichard.photo

Zürichsee (CH)

Thesen: Seen im Klimawandel

Geschädigte Ökosysteme reagieren empfindlicher auf den Klimastress. Die Erreichung des guten ökologischen Zustandes erfordert noch mehr Anstrengungen zur Reduzierung der Nährstoffeinträge.

Das Management von Standgewässern wird zunehmend auf die Abwehr von Klimafolgen ausgerichtet werden. Engere Verbindung von Gewässergüte- und Wassermengensteuerung.

Zur Abwendung klimabedingter ökologischer „Katastrophen“ sowie für Vorhersage ökologischer Zustände müssen moderne Monitoringmethoden und praxisorientierte Modellwerkzeuge implementiert werden.

Die thermische Seewassernutzung und die Nutzung von Seeflächen für Photovoltaik erfordert noch bessere limnologische und rechtliche Grundlagen.

Dank

Messstation am Müggelsee

Finanzierung und Partner

LAWA
Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser

DWA
Klare Konzepte. Saubere Umwelt.

LHW Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt

Mecklenburg Vorpommern
Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt

Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz
be Berlin

IGB
Leibniz Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries

b-tu Brandenburg University of Technology Cottbus - Senftenberg

UFZ HELMHOLTZ Zentrum für Umweltforschung