



Seen und Talsperren im Klimawandel: Welche Herausforderungen erwarten uns?

Michael Hupfer

Cottbus, 11. Februar 2025



59. Öffentliche Ringvorlesung „Wassergespräch Lausitz -
Wie weiter mit dem Wasser in der Region?“



Klimawandel: Global and regional

Auswirkungen von Klimafaktoren auf Gewässer

Direkte und in indirekte Wirkungen

Ökologische „Katastrophen“

Schichtungsverhalten in Standgewässern

Anpassungen

Monitoring und Vorhersagemodelle

Handlungsoptionen

Fakten und Grundlagen zum Klimawandel (global und regional)

Definitionen

Klima: Statistische Auswertung meteorologischen Größen einer Mindestperiode von 30 Jahren. Zu den statistischen Eigenschaften zählen unter anderem Mittelwerte und Extremwerte (z.B. bei Temperatur und Niederschlag), Häufigkeiten (z.B. Sommer- und Frosttage) und Andauerzeiten (z.B. Sonnenscheindauer).

Wetter: Augenblicklicher physikalischer Zustand der unteren Atmosphäre (Troposphäre) zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort. Beschreibung durch die Lufttemperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Strahlung und Wind, sowie weiterer ableitbare Parameter beschrieben werden. Von Wetter spricht man bei Zeiträumen von wenigen Stunden bis zu einigen Tagen.

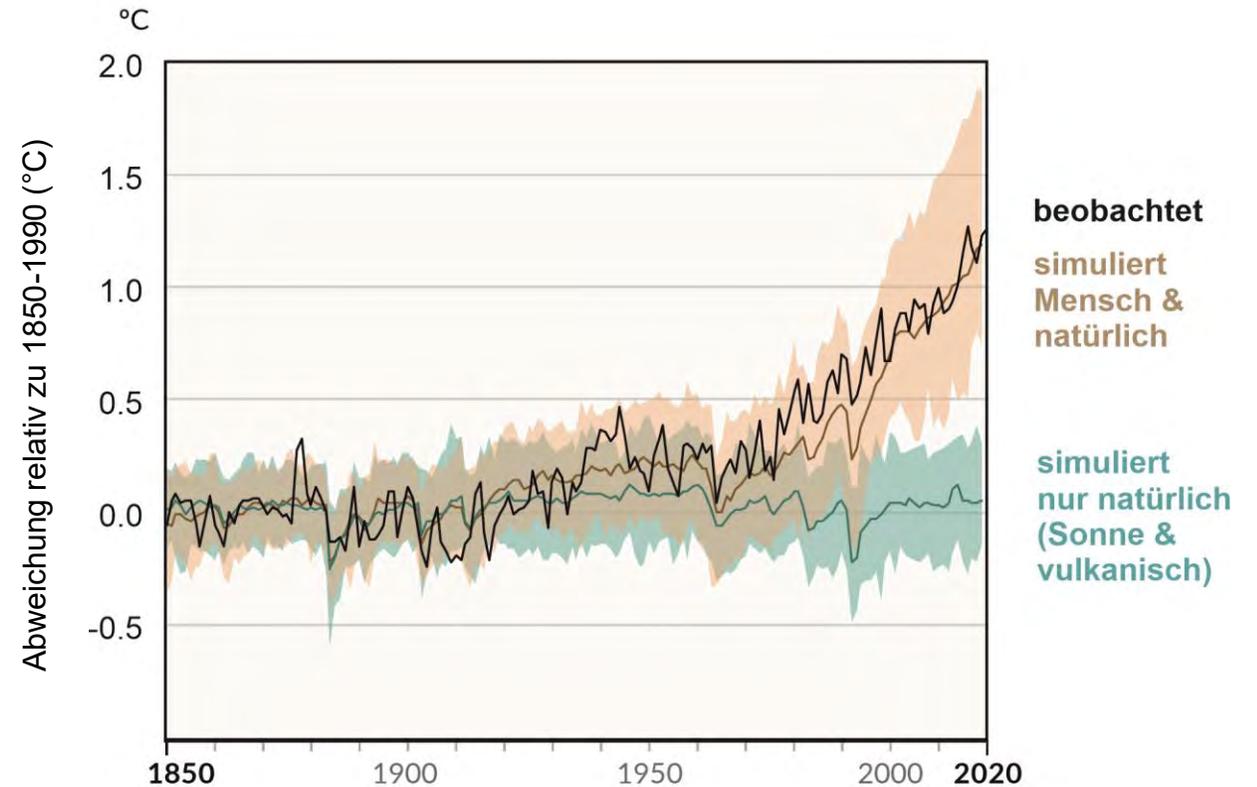
Witterung: Vorherrschender Charakter des Wetters an einem bestimmten Ort über Zeiträume von wenigen Tagen bis Wochen.

Globaler Klimawandel

Alexander von Humboldt (1769-1859)



Der **Mensch** verändere das **Klima** „durch **Fällen der Wälder**, durch **Veränderung in der Vertheilung der Gewässer** und durch die **Entwicklung großer Dampf- und Gasmassen** an den Mittelpunkten der Industrie“ (1844)



IPCC SPM (2021)

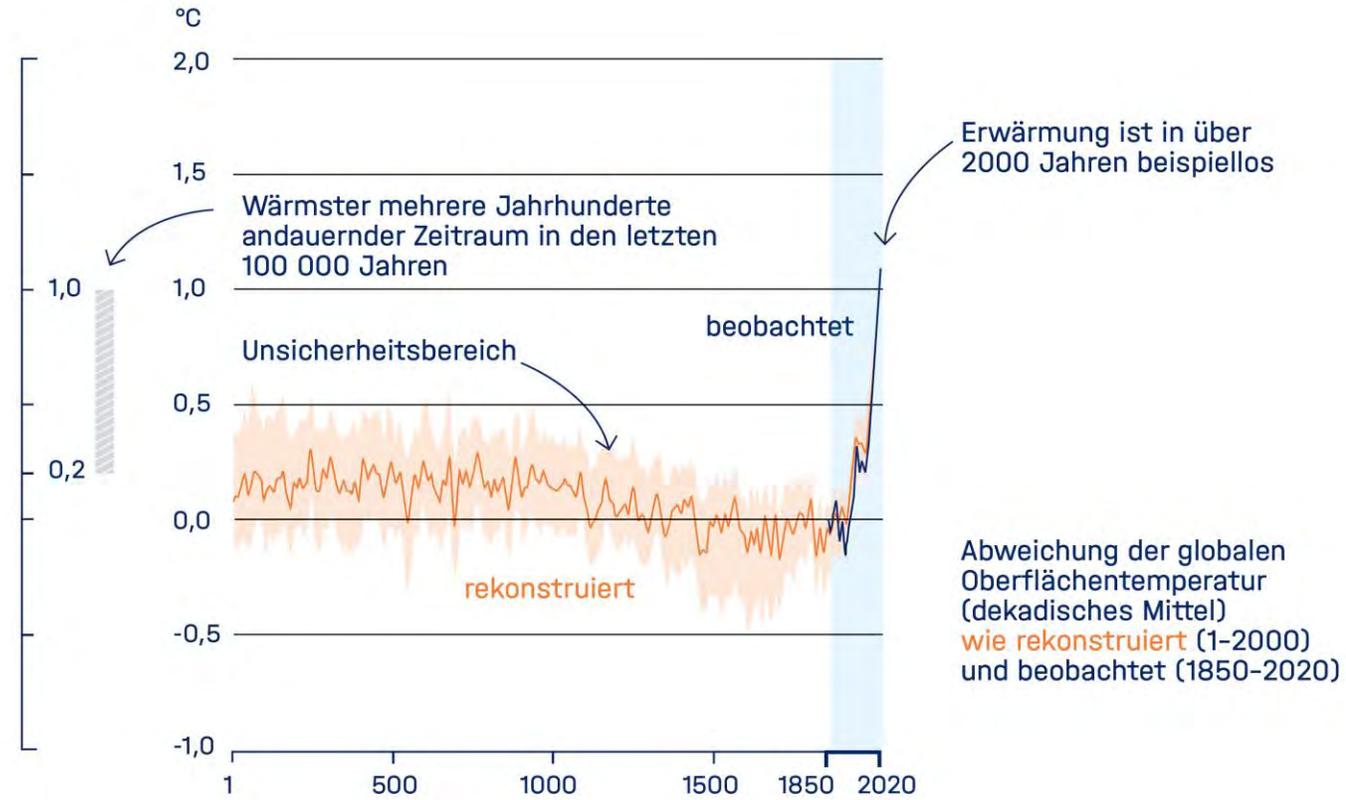
Simulationen zeigen, dass die Veränderung der globalen Oberflächentemperatur nur **mit menschlichen Einfluss** erklärt werden können.

Globaler Klimawandel

Die wichtigsten Treibhausgase sind Wasserdampf (H₂O), Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O), die sich unterschiedlich lang in der Atmosphäre halten.

Ohne Treibhausgase (aber bei ansonsten gleichbleibenden Bedingungen) wäre es auf der Erdoberfläche im Mittel etwa **minus 18°C** kalt.

Durch den Treibhauseffekt wird die Erde also überhaupt erst bewohnbar, die Temperatur steigt um circa 32 °C auf rund **plus 14 °C**.



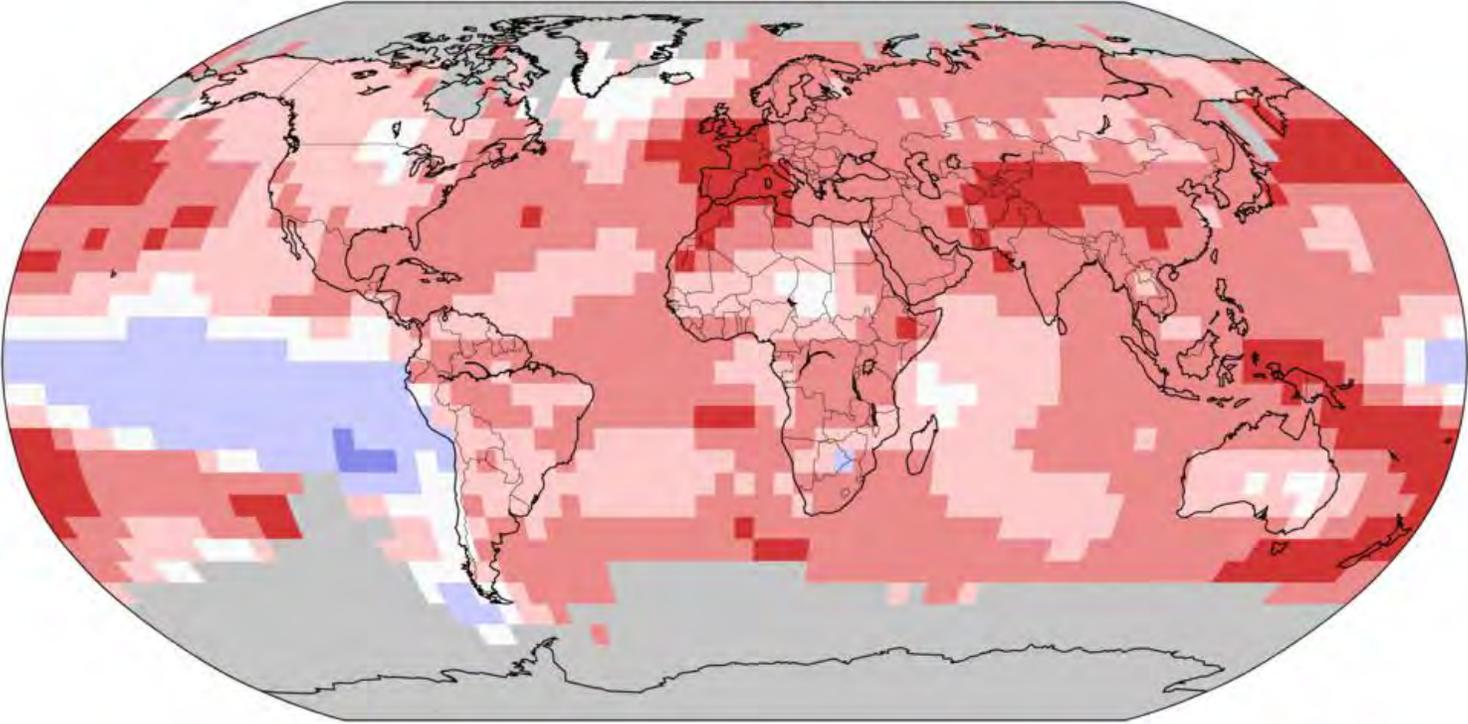
Abweichungen von der durchschnittlichen globalen Oberflächentemperatur (1950 bis 1900), rekonstruiert aus paläoklimatischen Archiven und aus direkten Beobachtungen

Globaler Klimawandel

Land & Ocean Temperature Percentiles Jan–Dec 2022

NOAA's National Centers for Environmental Information

Data Source: NOAAGlobalTemp v5.0.0–20230108



Record Coldest

Much Cooler than Average

Cooler than Average

Near Average

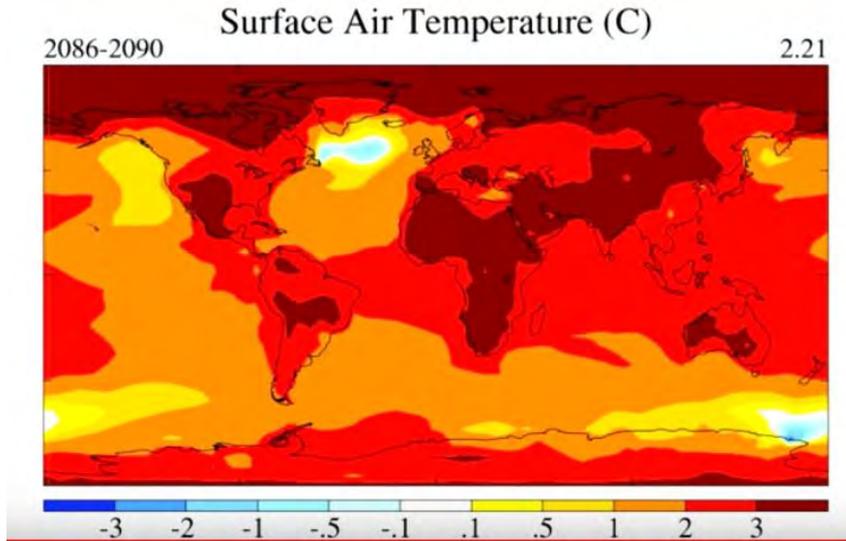
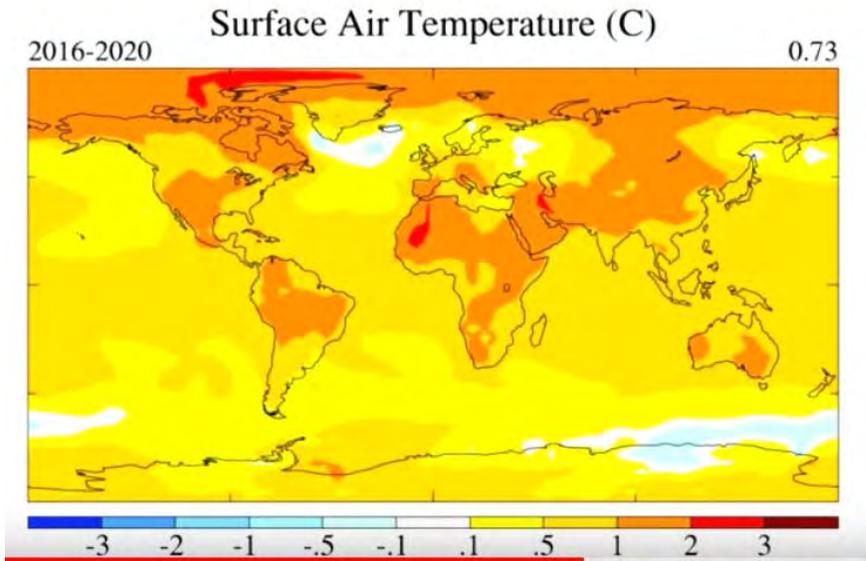
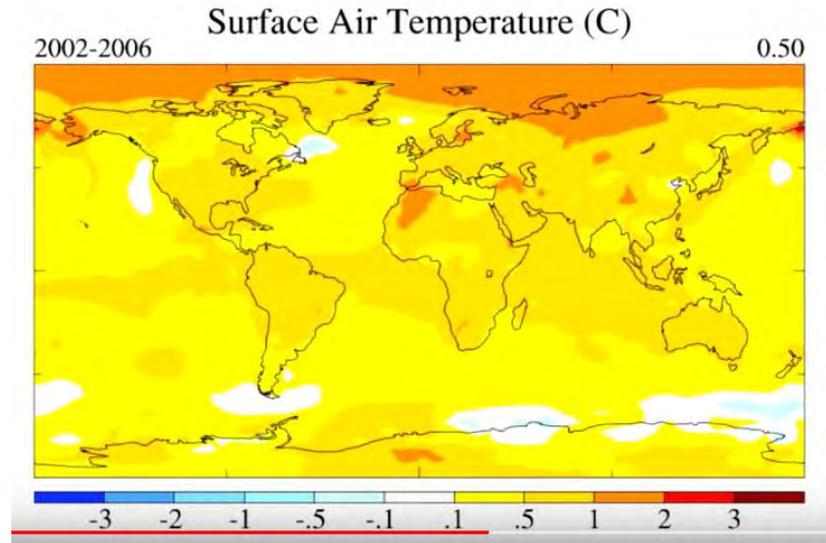
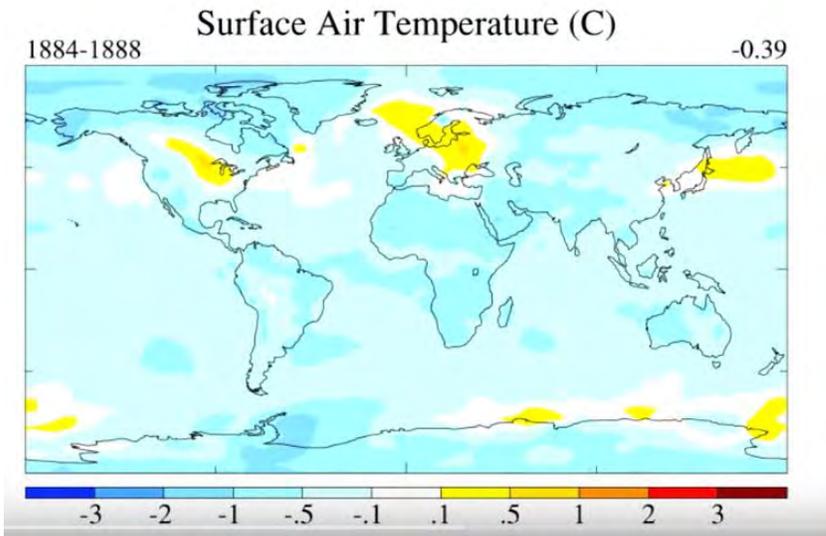
Warmer than Average

Much Warmer than Average

Record Warmest

GHCNM v4.0.1.20230107.qfe

Globaler Klimawandel: Blick in die Zukunft



Source:
GISS (Goddard Institute for Space
Studies) climate model simulation
made for the IPCC report.

Flächenbrände



Maxar Technologies



AP / Ethan Swope

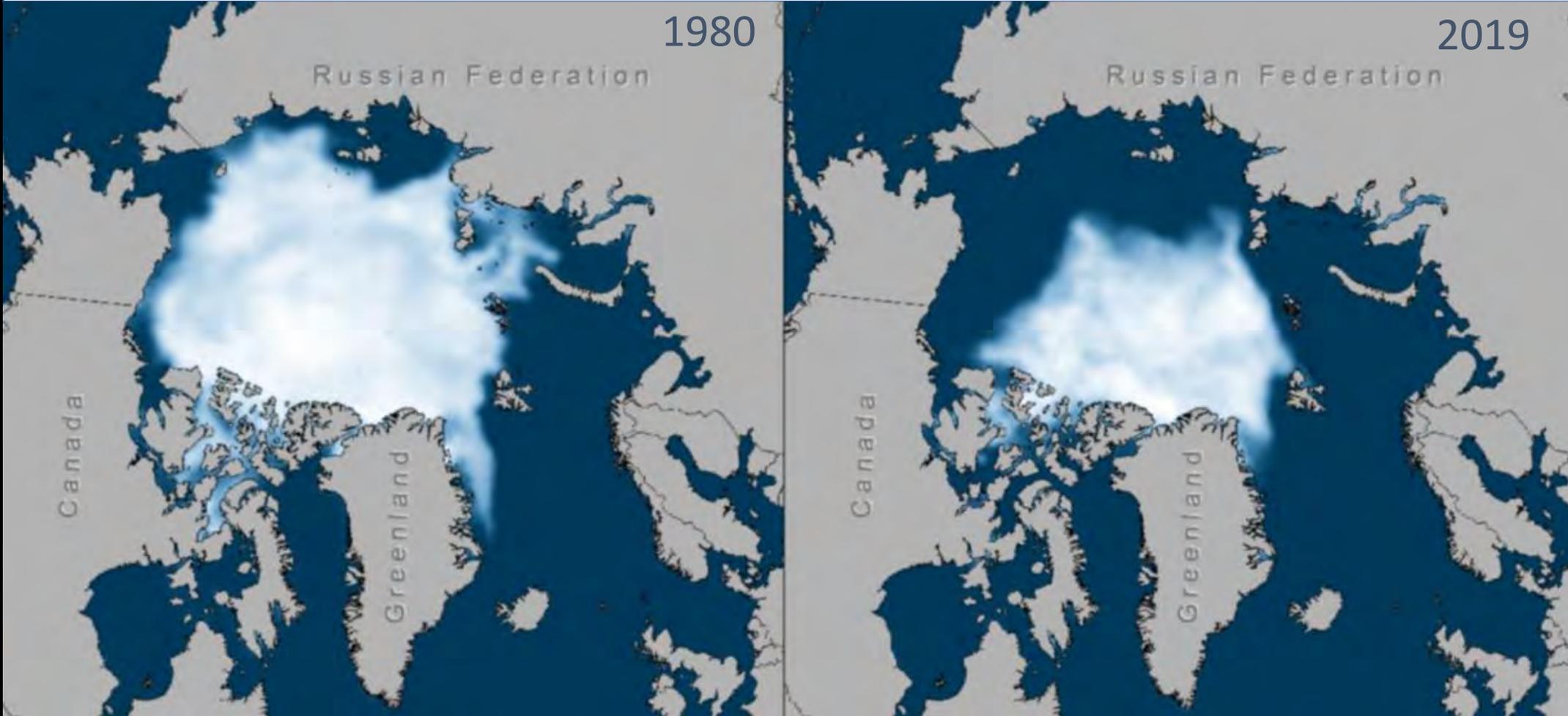
Los Angeles, Januar 2025

12.000 zerstörte Gebäude, 30.000 Evakuierungen, 27 Tote

Arktisches Meereis

Minimale Ausdehnung 1979-1992: 6,85 Mio. km²

Minimale Ausdehnung 2007-2020: 4,40 Mio. km²



Roessler, DLR

Meereisfläche zum Ende des arktischen Sommers im September 1980 und 2019.

Gletscher als Klimaänderungsindikatoren

Pasterze (von Südosten), Großglocknerregion



Foto: Otberg

2005

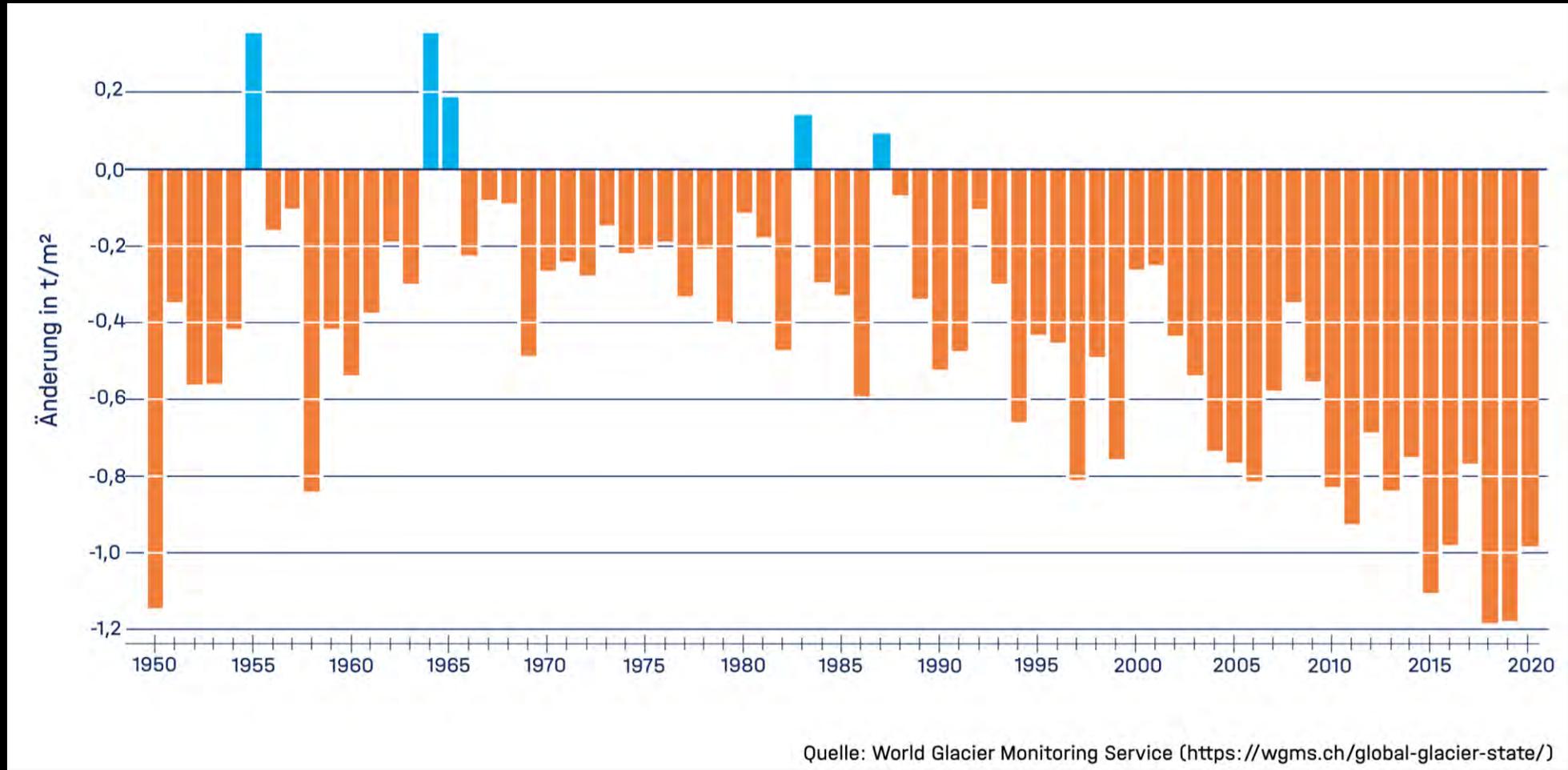


Foto: Max Baier

2020

Seit 1950 haben die Alpengletscher mehr als 50% ihres Volumens verloren

Gletscher als Klimaänderungsindikatoren



Jährliche Veränderung der Gletschermasse weltweit

Dürre: Amazonas in Brasilien



Foto: Reuters/Bruno Kelly

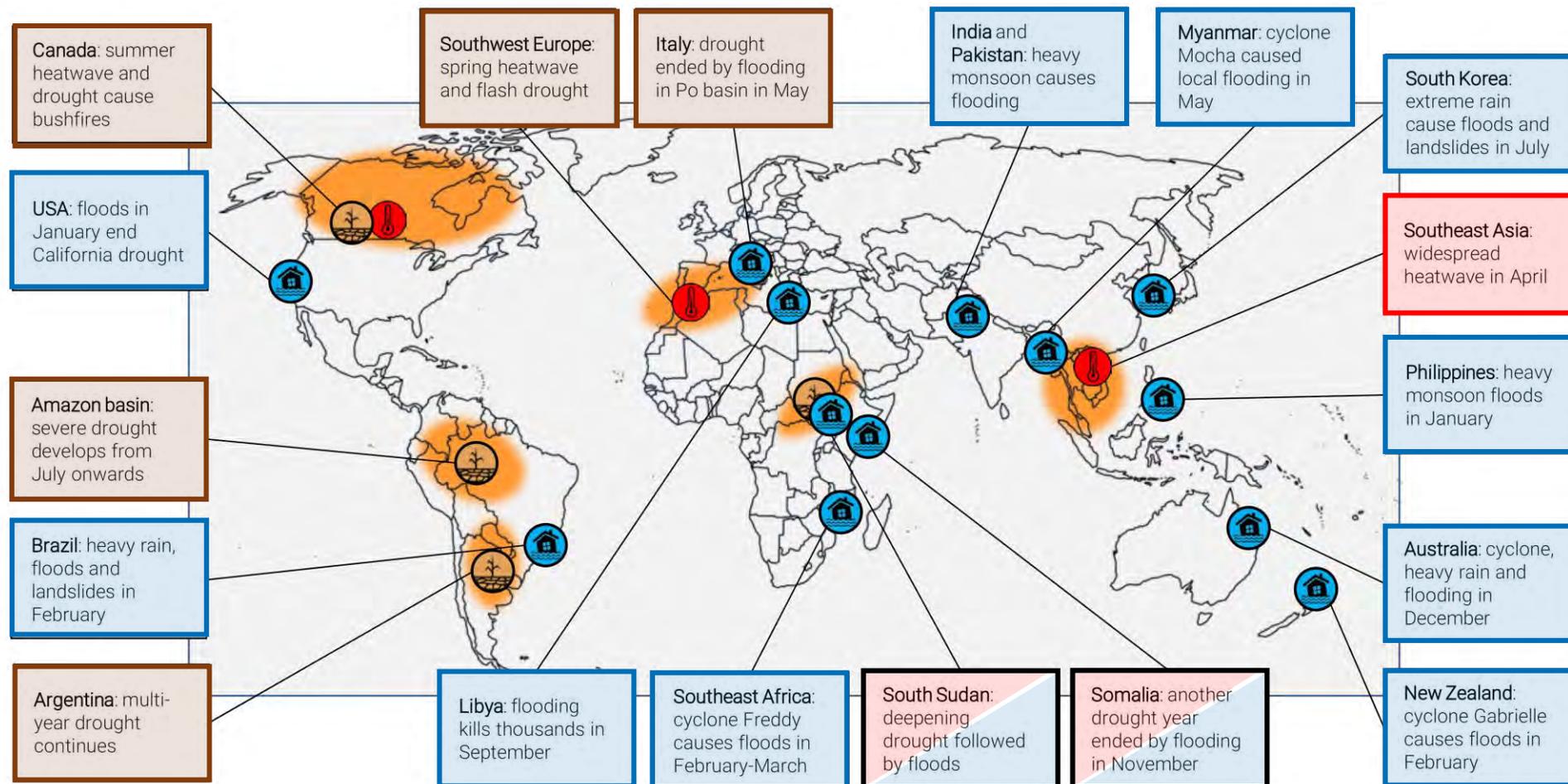
Lago do Puraquequara nahe Manaus im Bundesstaat Amazonas, Oktober 2023

Zunahme von Wetterextremen



Valencia 30. Oktober 2024

Globaler Klimawandel: Wichtige wasserbezogene Ereignisse im Jahr 2023



Van Dijk et al. (2023): Global Water Monitor 2023, www.globalwater.online

Der Klimawandel und die damit verbundenen Auswirkungen sind in Europa angekommen!

Klimawandel: Deutschland

Semiaride Regionen: 250 bis 500 mm (IPCC)



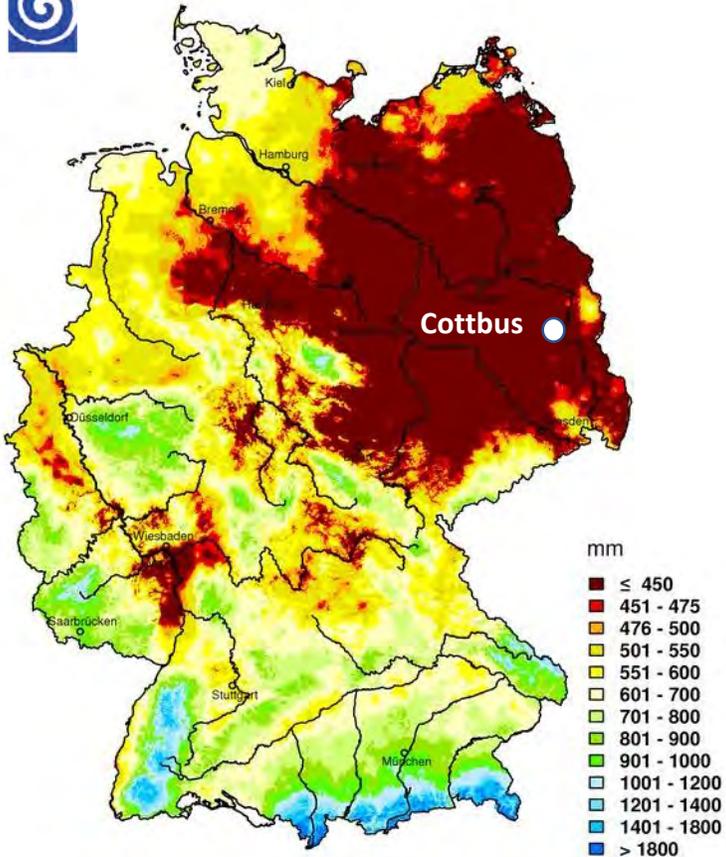
2018

2019

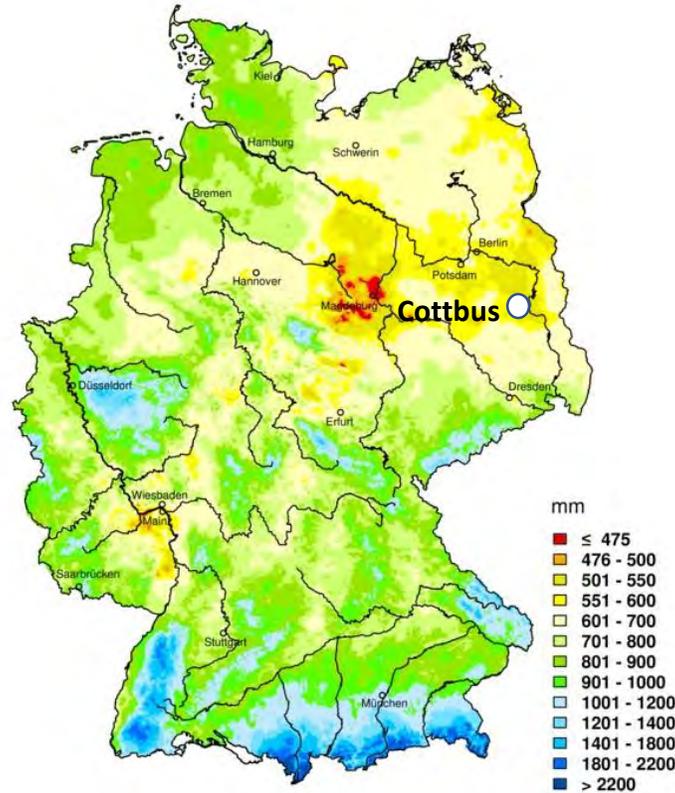
2020

2021

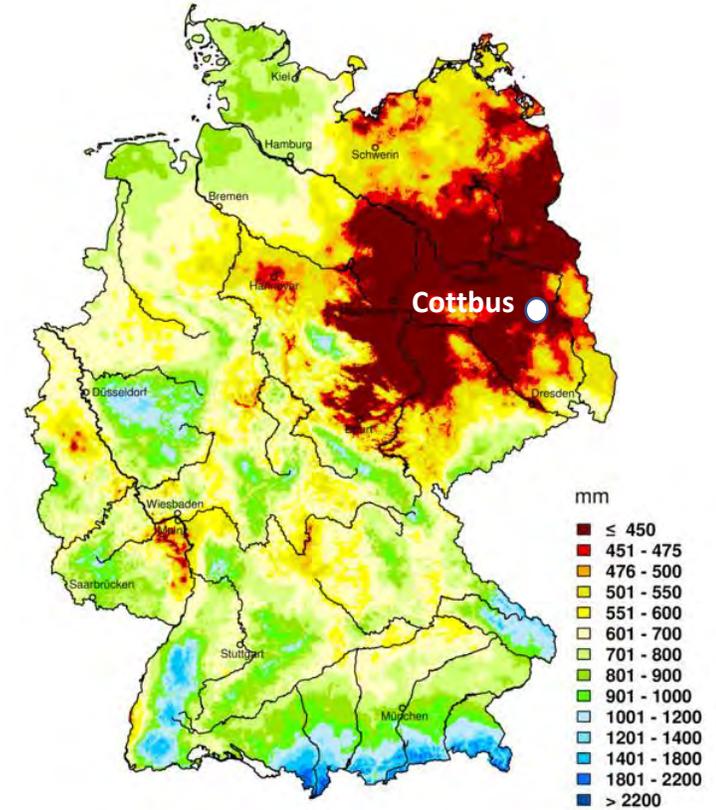
2022



Brandenburg **390 mm**
Sachsen 468 mm



Brandenburg 600 mm
Sachsen 778 mm



Brandenburg **434 mm**
Sachsen 565 mm

Wasserbilanz ist in Sachsen und Brandenburg ist überwiegend negativ: Bilanz aus Niederschlag, Verdunstung, Abfluss und Speicheränderung bezogen auf ein Gebiet und einen Zeitraum.



Brandenburg: Trockenheit



„In dieser Region gibt es so viel Wasser. Sehen Sie sich um. Hier ist überall Wasser. Kommt Ihnen das wie eine Wüste vor? Das ist lächerlich. Es regnet sehr viel.“

Klimawandel: Deutschland

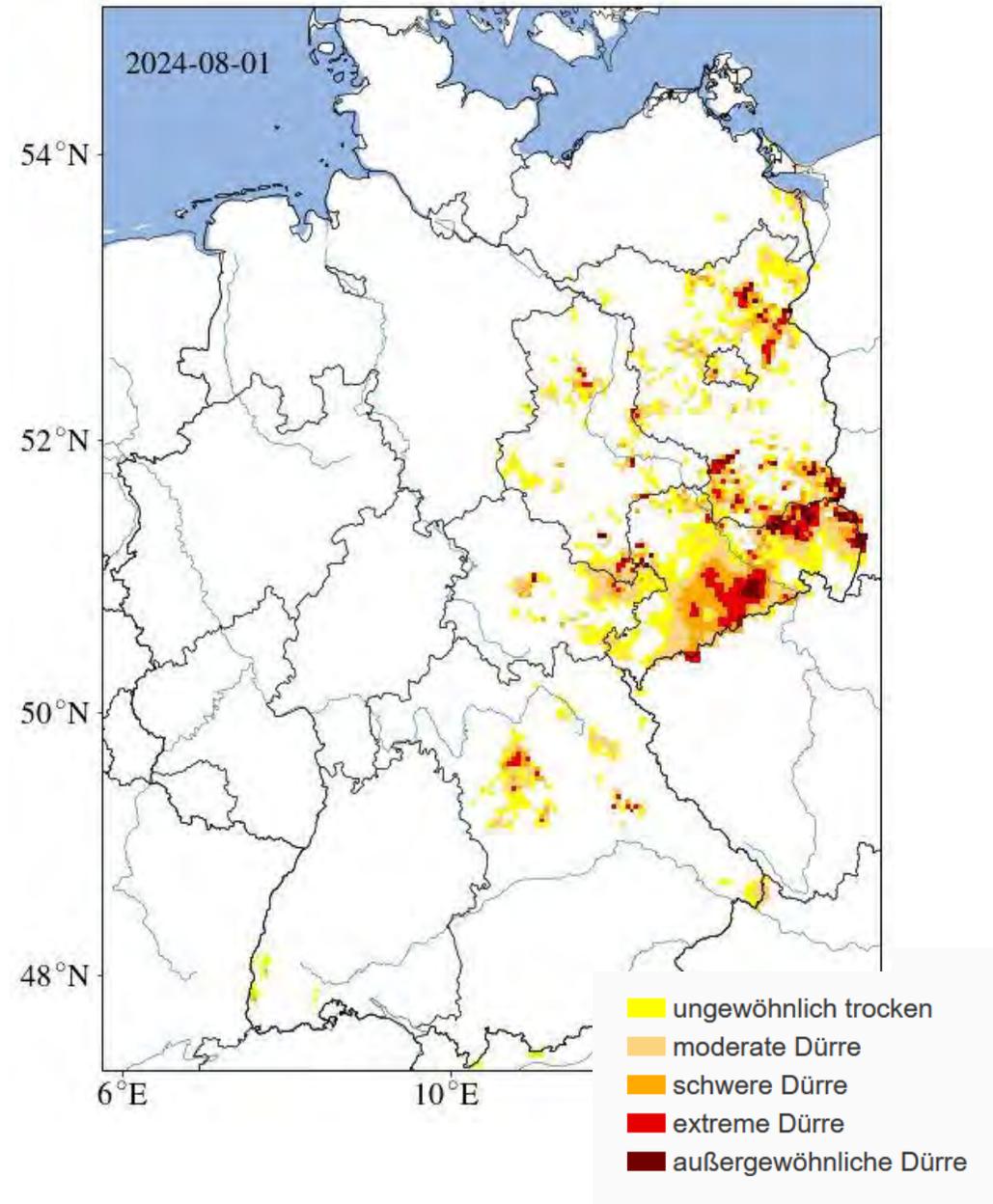
Häufung von Trockenjahren (2018, 2019, 2020, 2022) und Jahren mit negativer Wasserbilanz

In Folge der Hitze und Trockenheit kam es zu **Waldbränden**, **Ernteaussfällen**, **Waldsterben** und anderen **Hitzeschäden**.

Es gibt große regionale Unterschiede in Deutschland

Dürremonitor Deutschland (UFZ)

<https://www.ufz.de/index.php?de=37937>



Klimawandel: Deutschland

Der lineare Trend der Temperaturentwicklung seit 1881 ist in Deutschland mit **1,7°C** höher als der weltweite Anstieg mit **1,1 °C**.

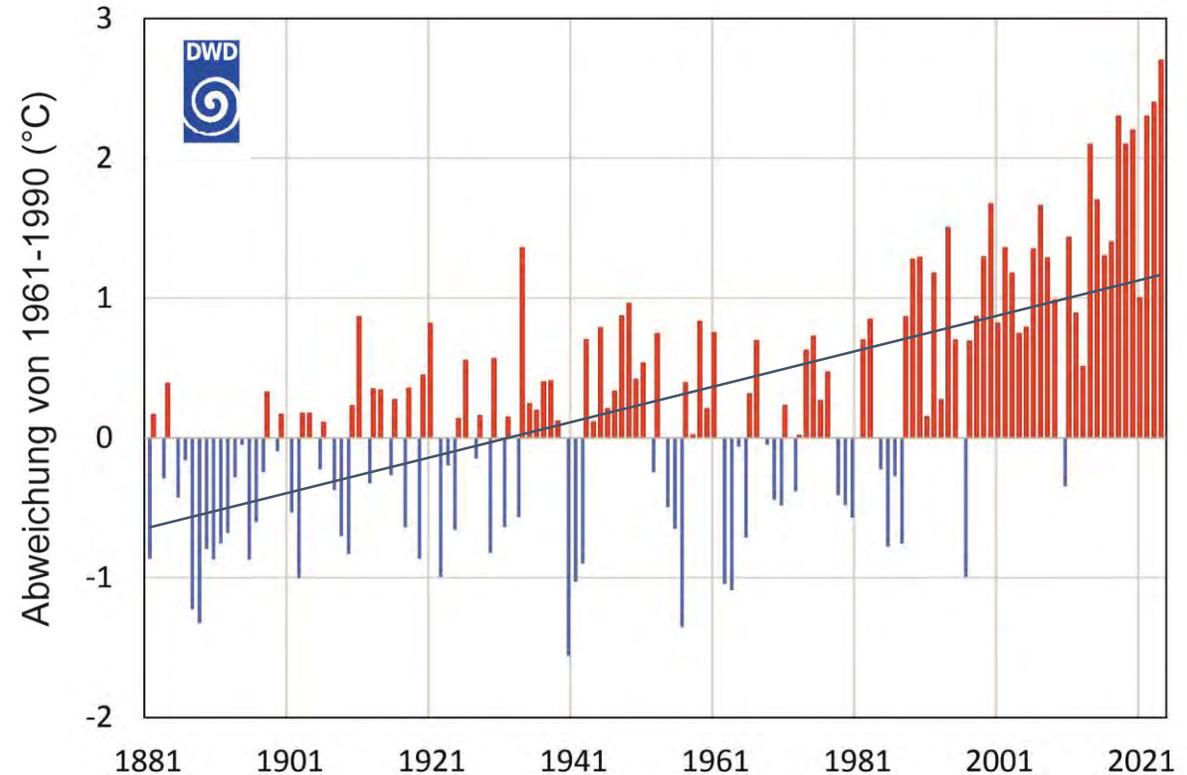
Seit 1984 steigt die Lufttemperatur mit **0,51°C** pro Dekade.

Während der letzten 36 Jahre traten nur zwei unterdurchschnittlich warme Jahre auf.

Die fünf wärmsten Jahre wurden innerhalb der letzten sieben Jahre registriert. „Rekordjahr“ ist **2024**: 10,9°C Brandenburg 11,4 °C, Berlin 11,9°C

Beschleuniger Klimawandel

Die aktuelle Erderwärmung verläuft mehr als 100 mal schneller als die nach der letzten Eiszeit.



Temperaturanomalie in Deutschland in Bezug auf den Referenzzeitraum 1961 bis 1990 (8,2°C)



Seen und Talsperren im Klimawandel

Allgemeines

Klimafolgenforschung an Gewässern

Interannuelle Variabilität/Extrema

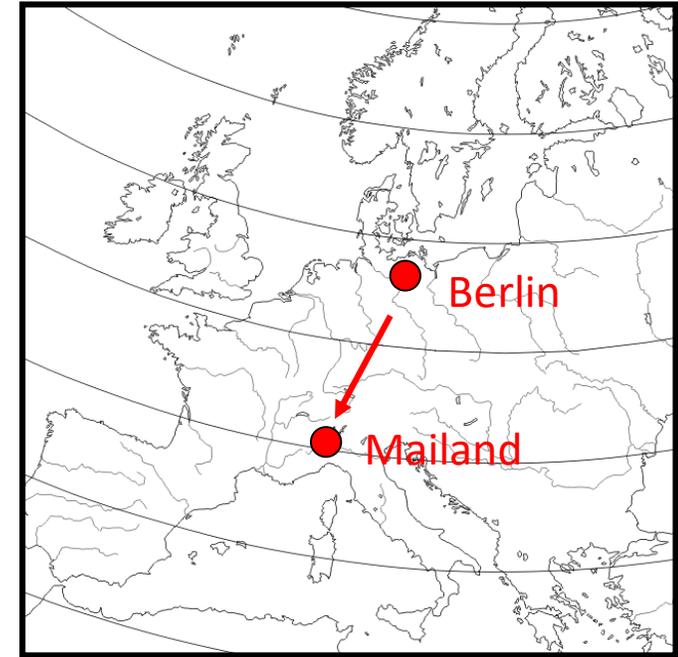
Verhalten entlang klimatischer Gradienten
(Breitengrade/Höhenlagen)

Prozessstudien auf verschiedenen Skalen

Langzeitdaten und historische Aufzeichnungen

Paläolimnologische Untersuchungen

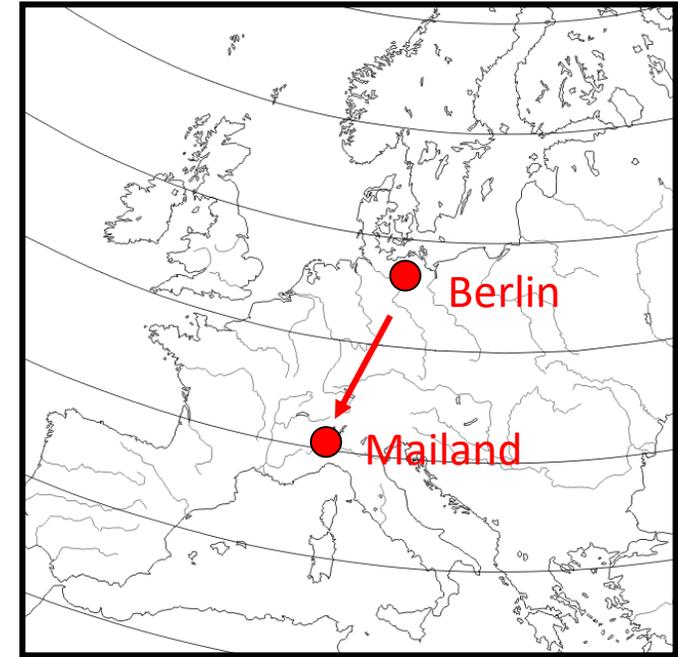
Modelle



Klimafolgenforschung an Gewässern

Interannuelle Variabilität/Extrema

Verhalten entlang klimatischer Gradienten
(Breitengrade/Höhenlagen)

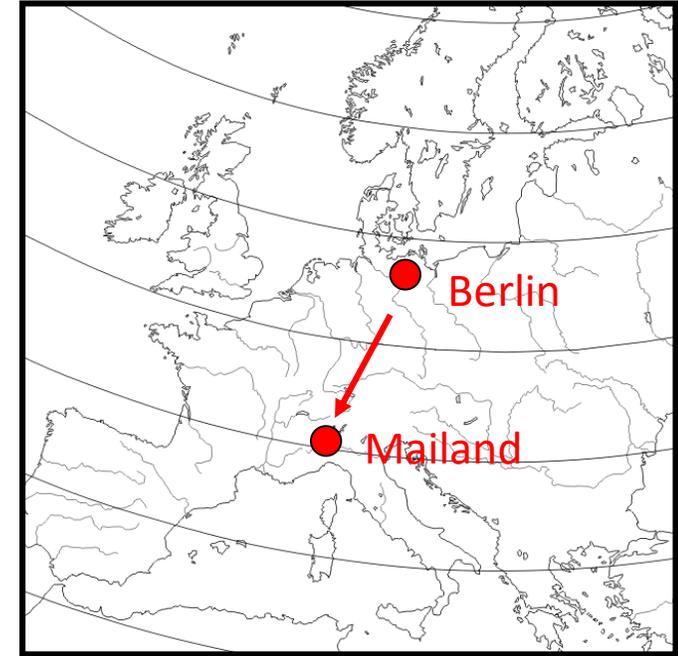


Klimafolgenforschung an Gewässern

Interannuelle Variabilität/Extrema

Verhalten entlang klimatischer Gradienten
(Breitengrade/Höhenlagen)

Prozessstudien auf verschiedenen Skalen



Seelabor Stechlinsee

Foto: IGB

Klimafolgenforschung an Gewässern

Interannuelle Variabilität/Extrema

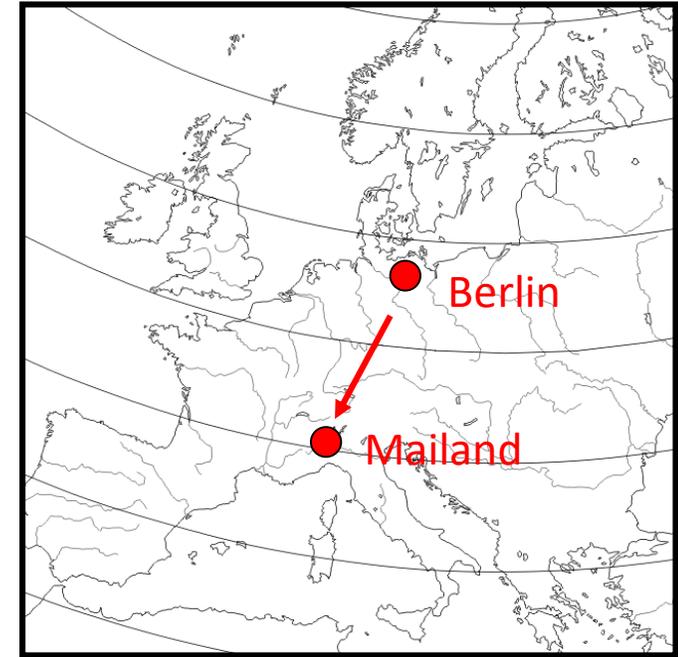
Verhalten entlang klimatischer Gradienten
(Breitengrade/Höhenlagen)

Prozessstudien auf verschiedenen Skalen

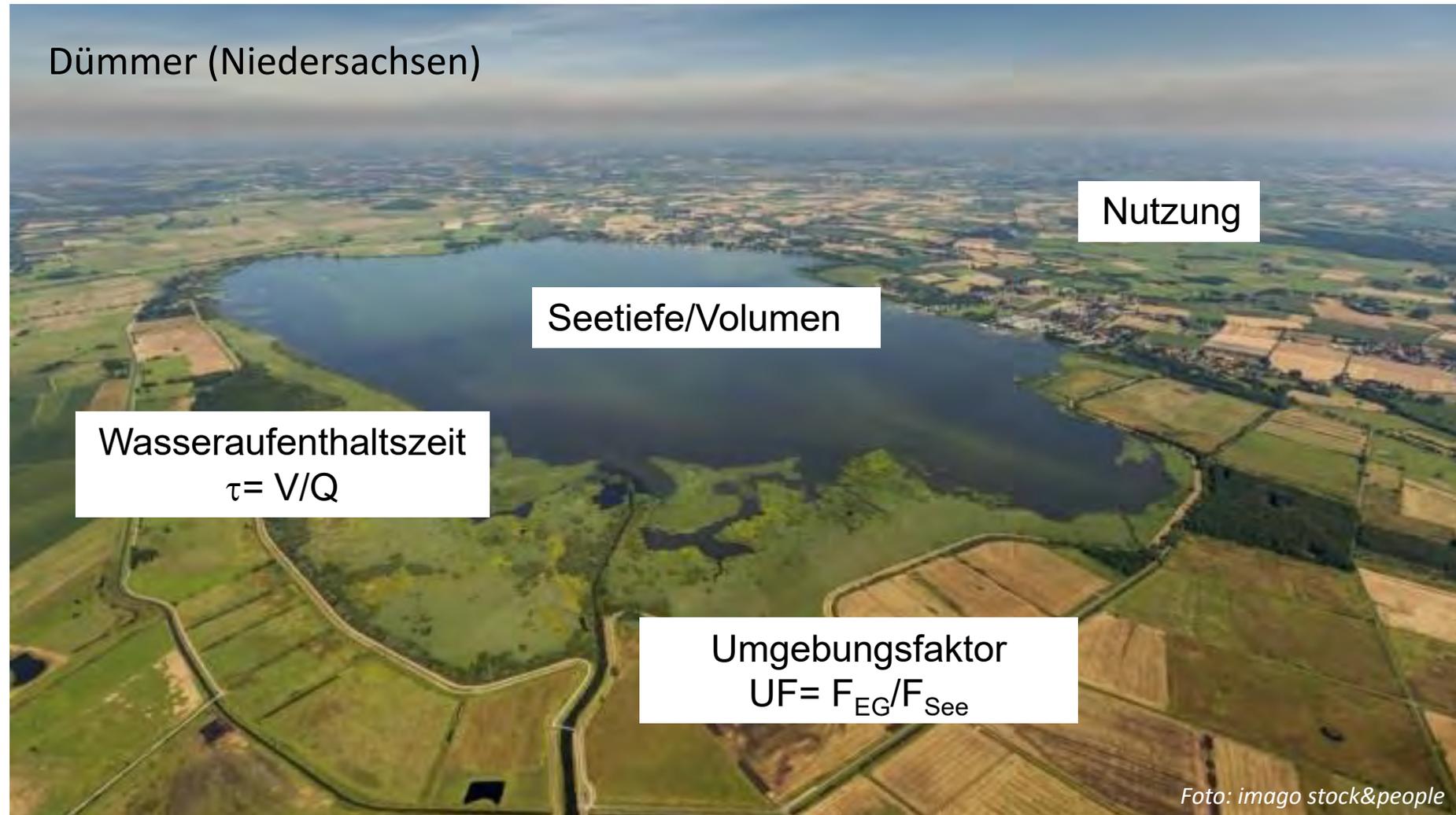
Langzeitdaten und historische Aufzeichnungen

Paläolimnologische Untersuchungen

Modelle



Klimawandel und Seen



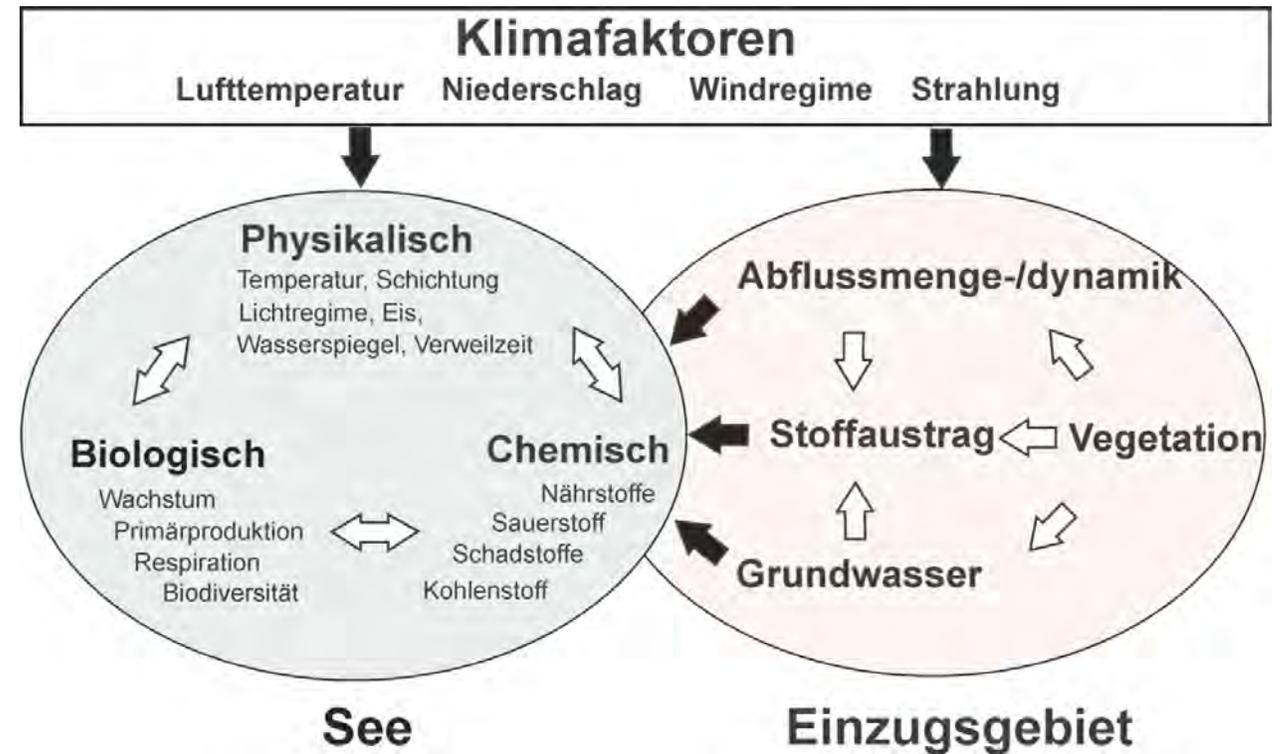
Gewässer sind tiefste Punkte in der Landschaft und sind daher sensible Indikatoren für Veränderungen

Klimawandel und Gewässer

Klimafaktoren wirken **direkt** auf die Gewässer und verändern ihre 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.



Hupfer & Nixdorf (2011)

Nicht alle (negativen) Veränderungen lassen sich auf den Klimawandel zurückführen (nur **26% der Seen** und nur **7% der Flüsse** erreichen in Deutschland den guten ökologischen Zustand).

Klimaeffekte von anderen Veränderungen und Belastungen schwer zu trennen



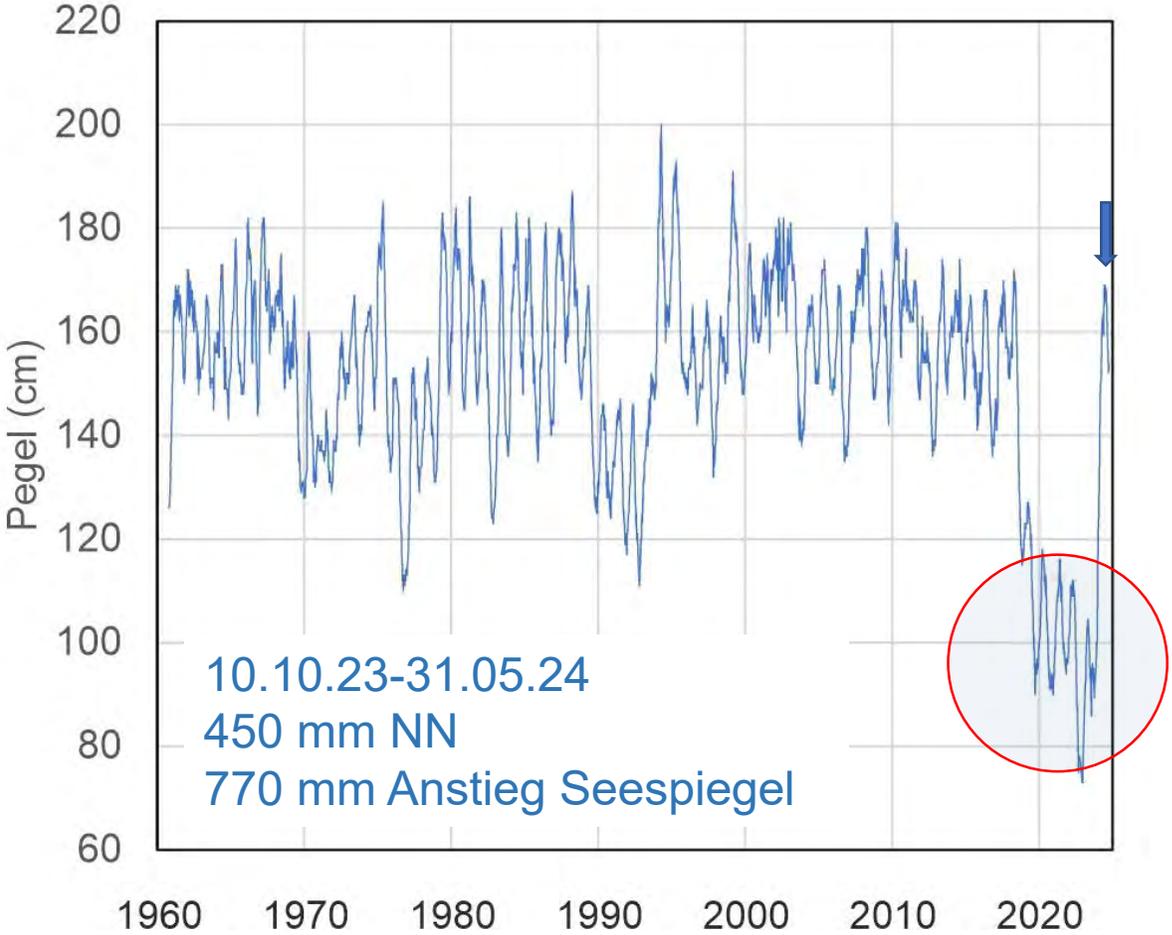
Sichtbare Auswirkungen des Klimawandels auf Seen



Sinkende und wechselnde Wasserstände von Seen



Sichtbare Auswirkungen des Klimawandels auf Seen



Sinkende und wechselnde Wasserstände von Seen



Sichtbare Auswirkungen des Klimawandels auf Seen



Winter 1963

Bodensee

Foto: Franz Thorbecke



Februar 2017

Tegeler See

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 von sauerstofffreien Bedingungen in Seen oder Teilen davon.



Gewässer im Klimawandel

Kombination indirekter und direkter Wirkung

Beispiel 1: Fischsterben in der Oder im August 2022



Foto: Luc de Meester /IGB

Belastungen und Hitzewellen: Fischsterben in der Oder August 2022

Was ist passiert?

Massives Fischsterben:

> 200 Tonnen Fisch wurden eingesammelt und entsorgt

Schätzung: 1.000 Tonnen Fischverlust

Massive Störung der benthischen Fauna vor allem filtrierende Tiere (Muscheln, Schnecken, Insektenlarven)

Vögel und Säugetiere waren nicht betroffen

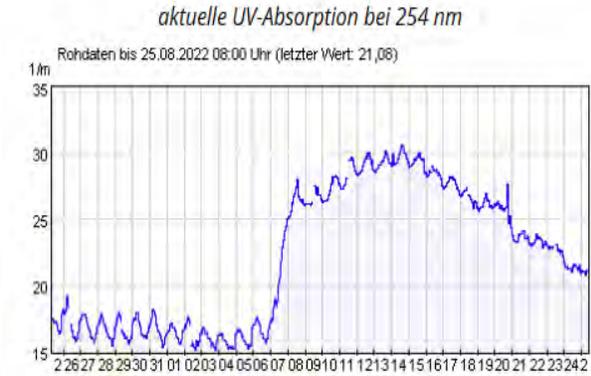
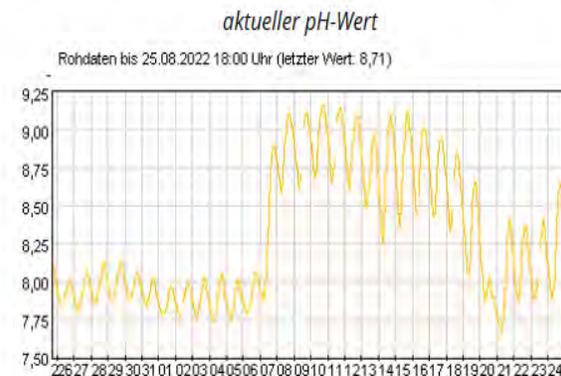
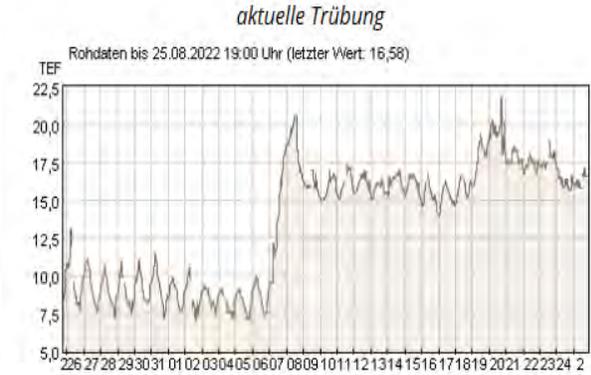
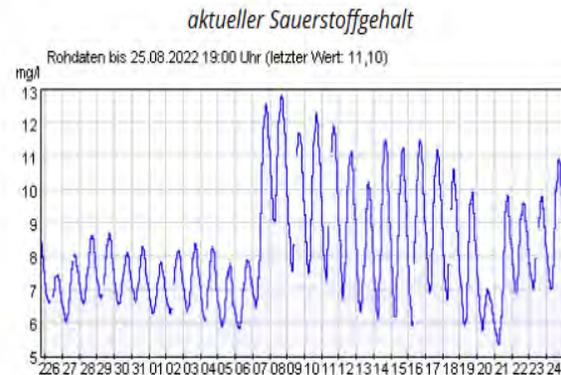
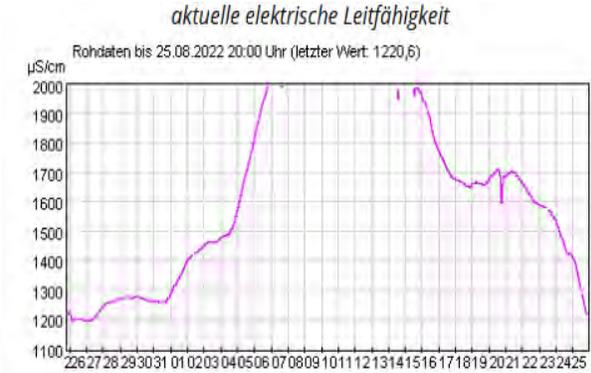
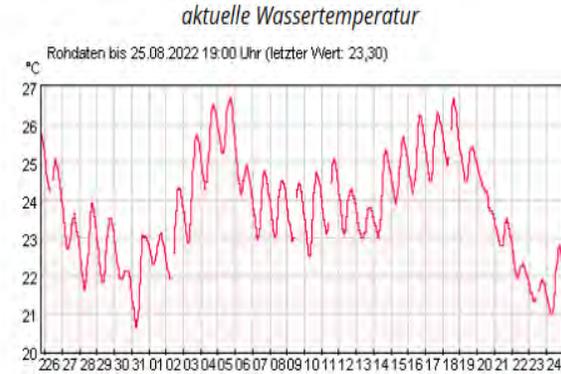
Was wurde noch beobachtet?

Starke Erwärmung des Wasserkörpers

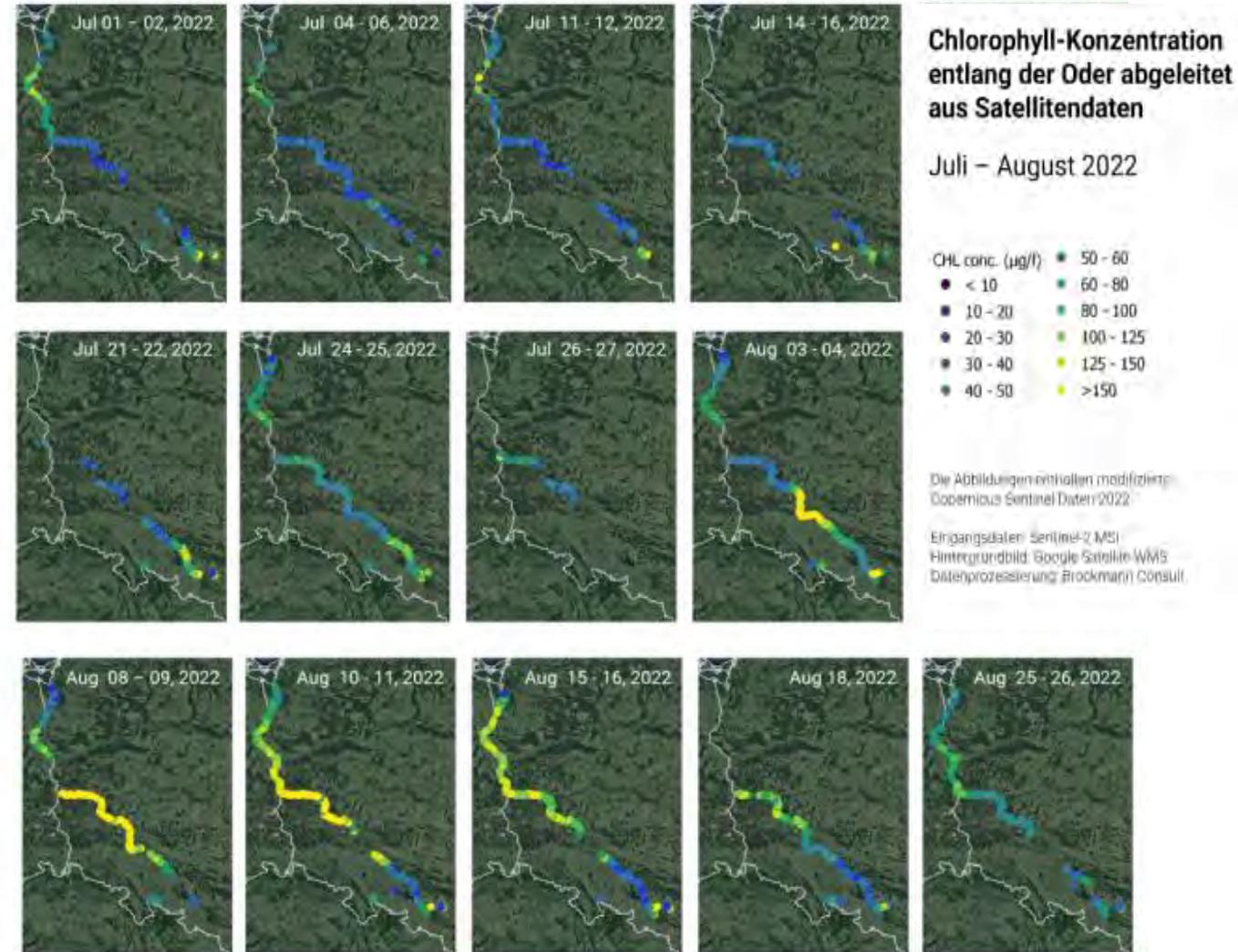
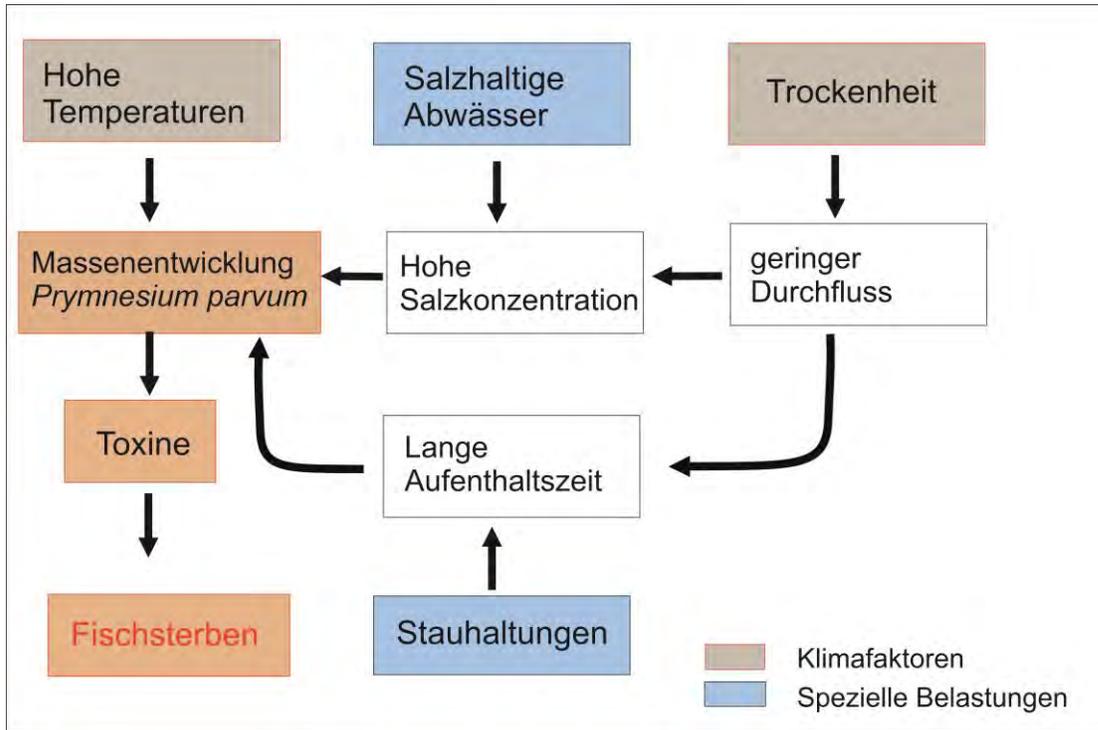
Hohe Leitfähigkeit (> 2 mS)

Hohe Sauerstoffkonzentrationen und pH Werte

Starke Trübung (Chla > 300 µg/L)

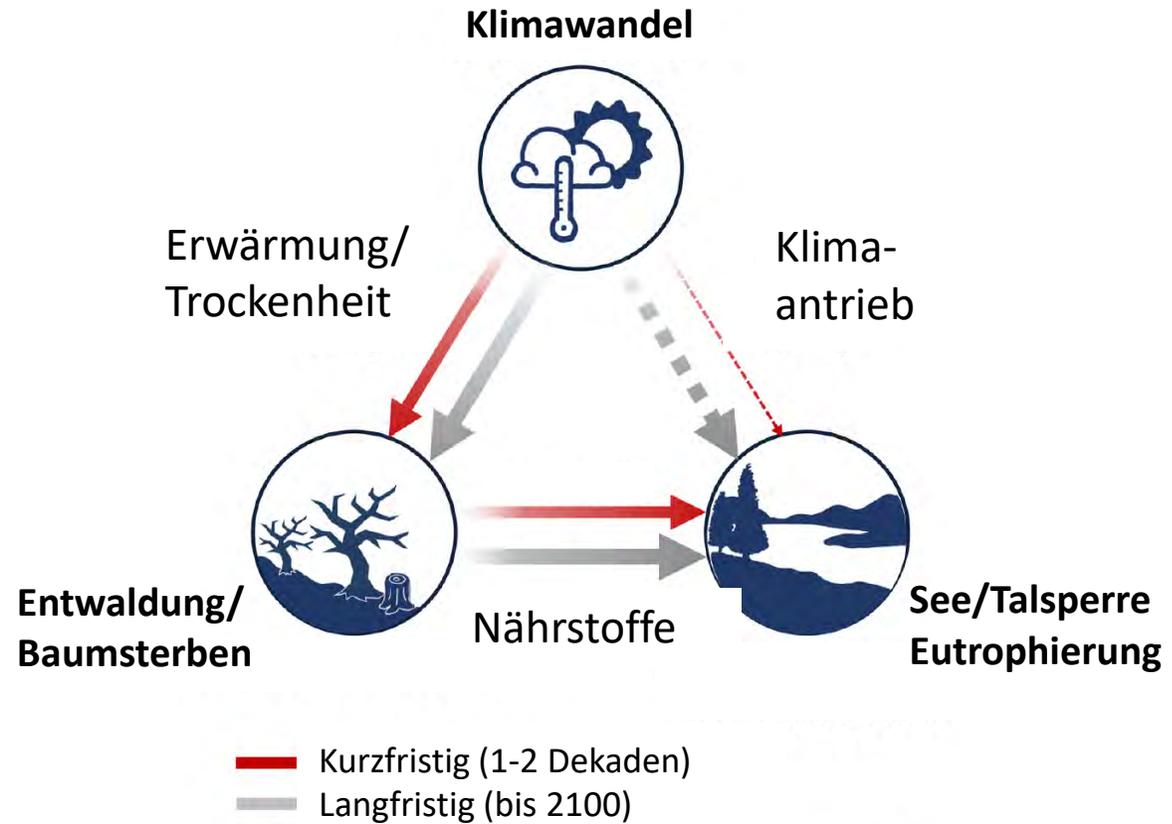
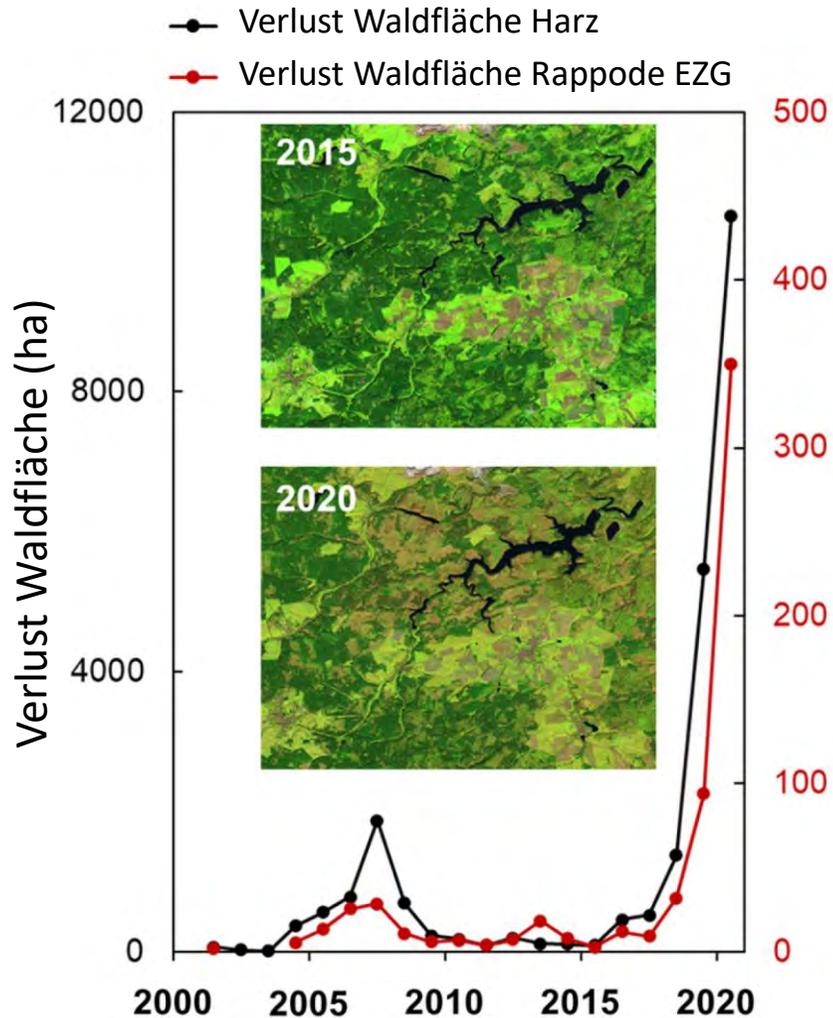


Belastungen und Hitzewellen: Massives Fischsterben in der Oder August 2022



Prymnesium parvum
 Oder in der Nähe von Hohenwutzen
 15. August 2022

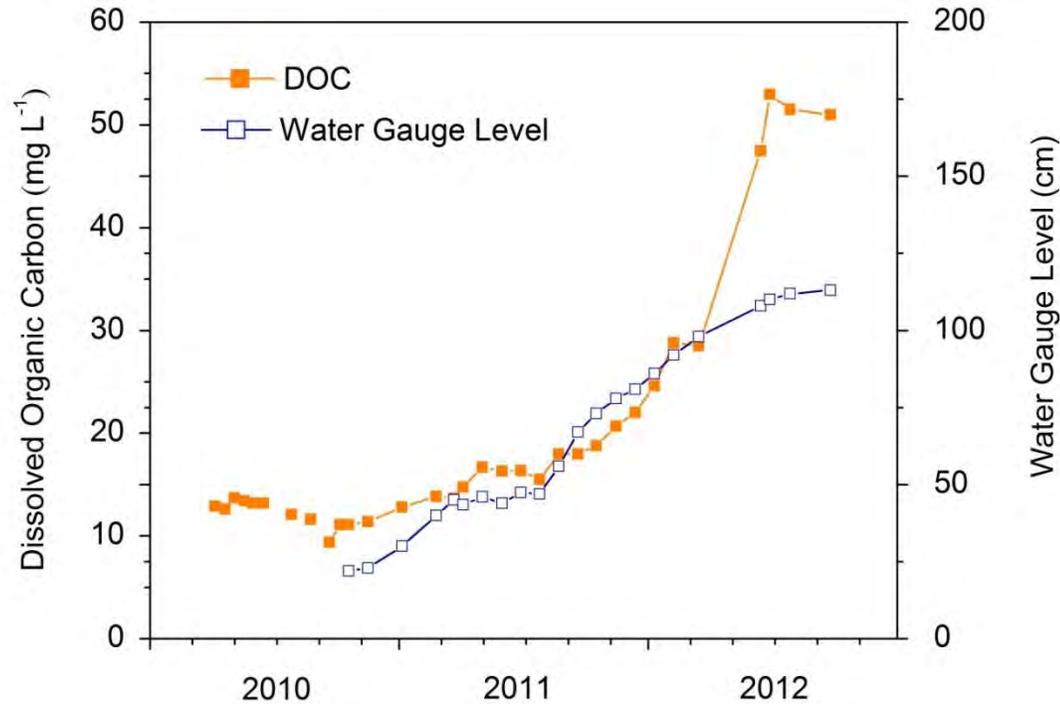
Beispiel 2: Eutrophierung einer Talsperre



Kong et al. (2022) Wat. Res. 221

Waldsterben im Harz: Modellbasierte Berechnungen zeigen, dass **indirekte Effekte** (Entwaldung) die Trophie kurzfristig von **mesotroph** auf **eutroph** verändert. **Direkte Effekte** wirken sich erst später zusätzlich aus.

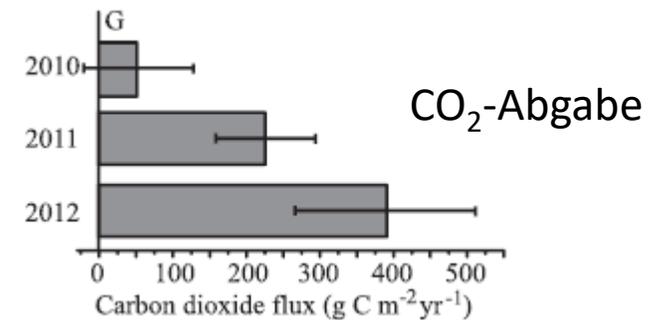
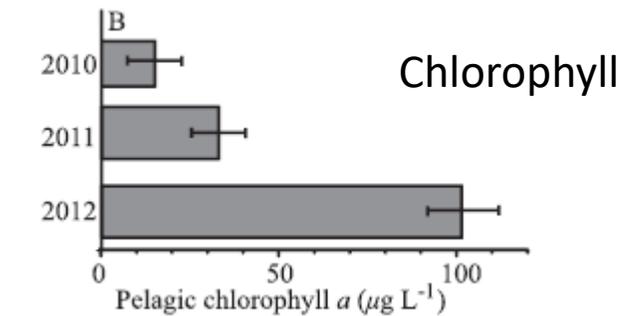
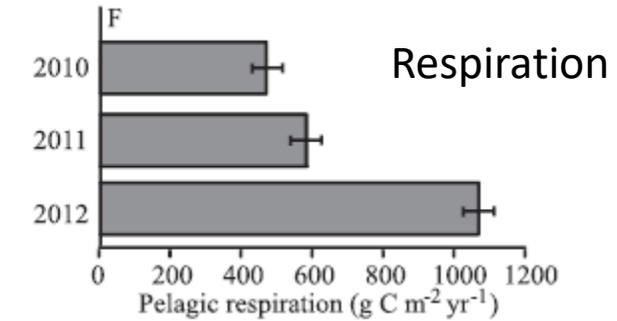
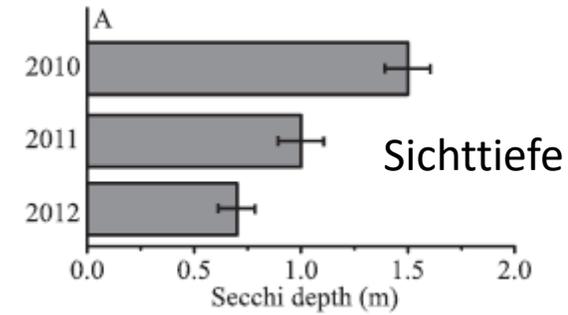
Beispiel 3: Dystrophierung eines Sees



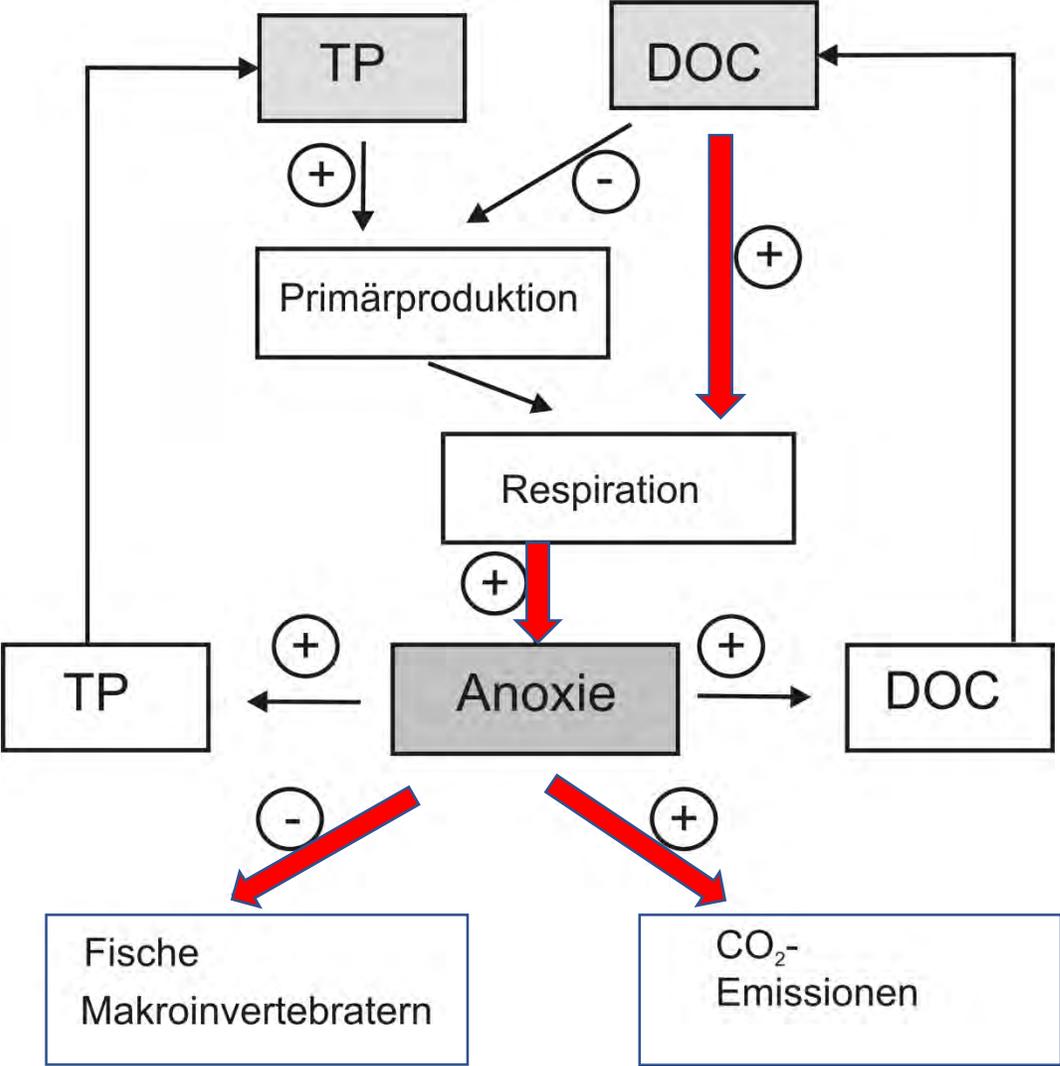
Beispiel: Kleiner Gollinsee
3.3 ha, 2.9 m maximale Tiefe

DOC: gelöster organischer Kohlenstoff

aus Brothers et al (2014)



Beispiel 3: Dystrophierung eines Sees

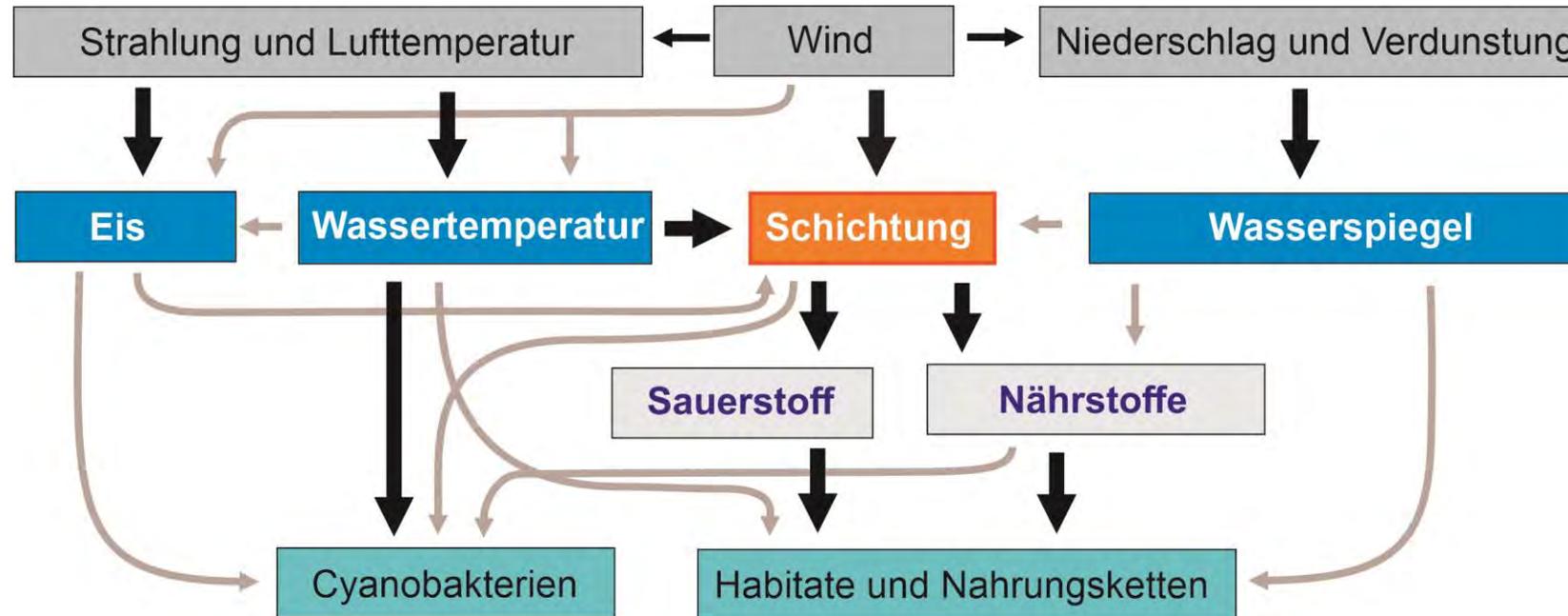


vereinfacht aus Brothers et al (2014)

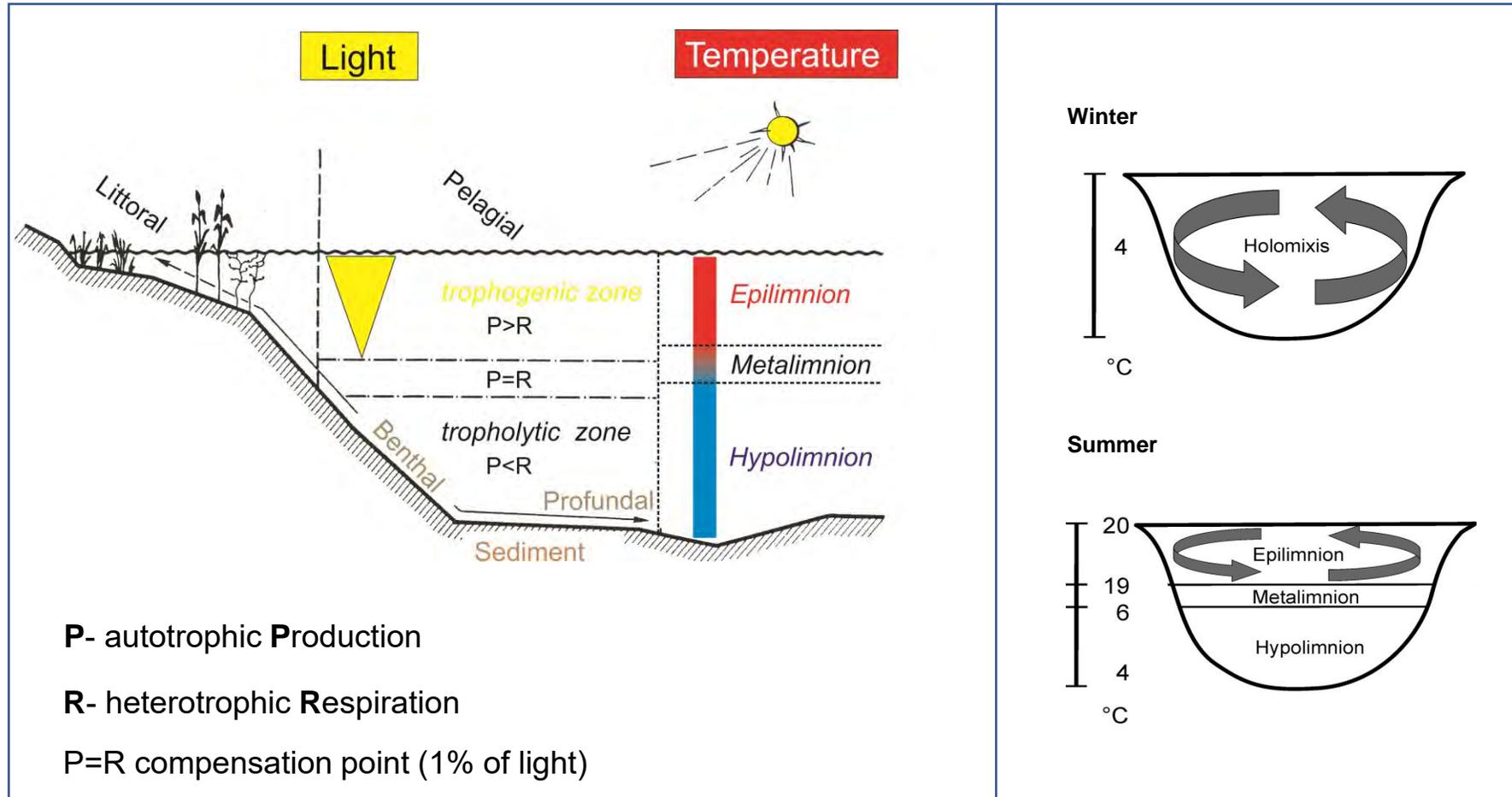
Seen und Talsperren im Klimawandel

Thermisches Regime

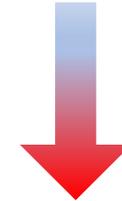
Direkte Wirkung von Klimaelementen auf stehende Gewässer



Physikalische Struktur von Seen



Polymiktische Seen
Häufige Mischung



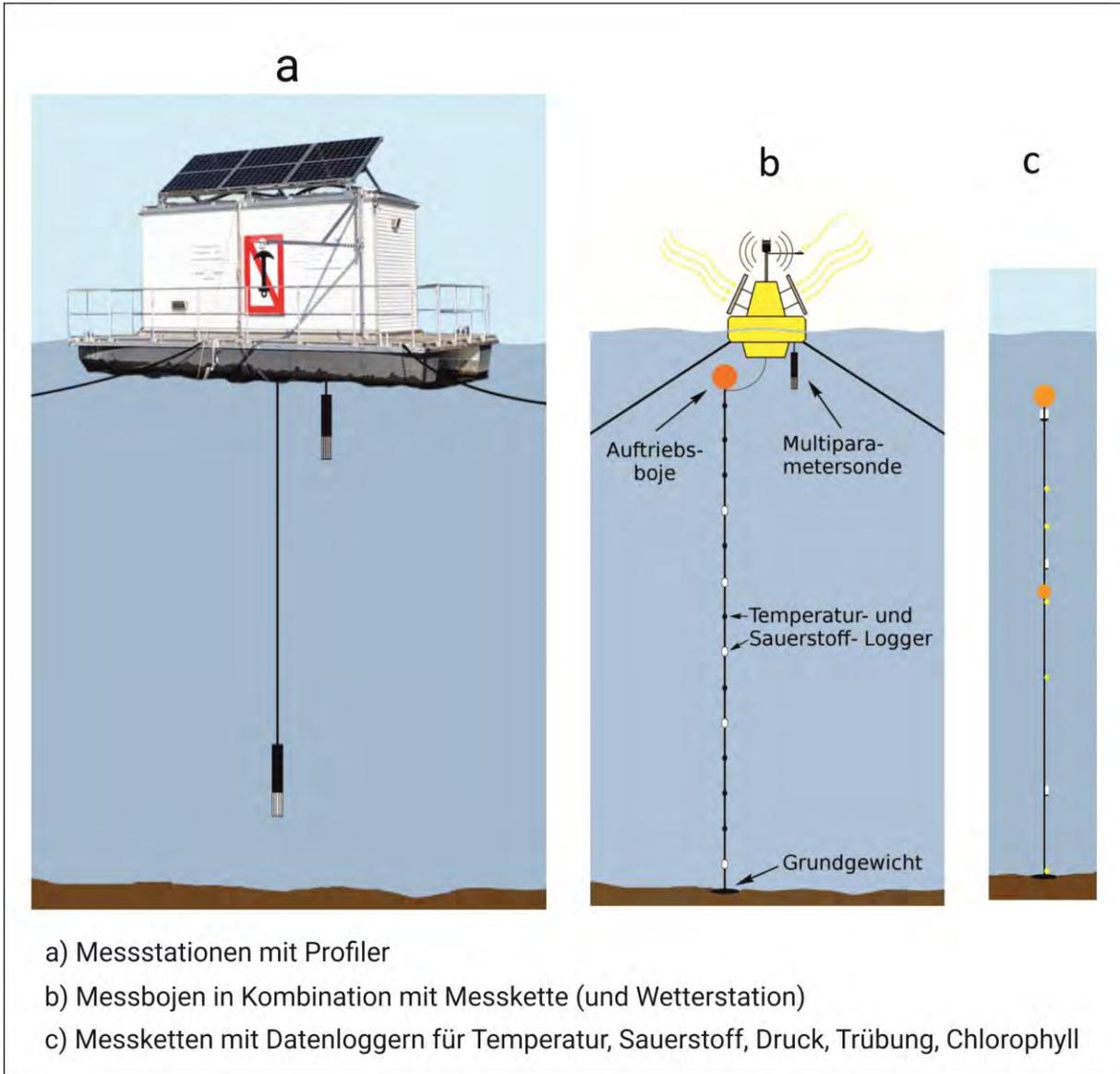
Dimiktische Seen
zwei Mischungen im Jahr



Monomiktische Seen
eine Mischung im Jahr

Temperatur und Licht strukturieren einen See in verschiedene Habitate und bestimmen die saisonalen Veränderungen

Klimamonitoring für Standgewässer



Klimamonitoring für Standgewässer



Foto: IGB Archiv

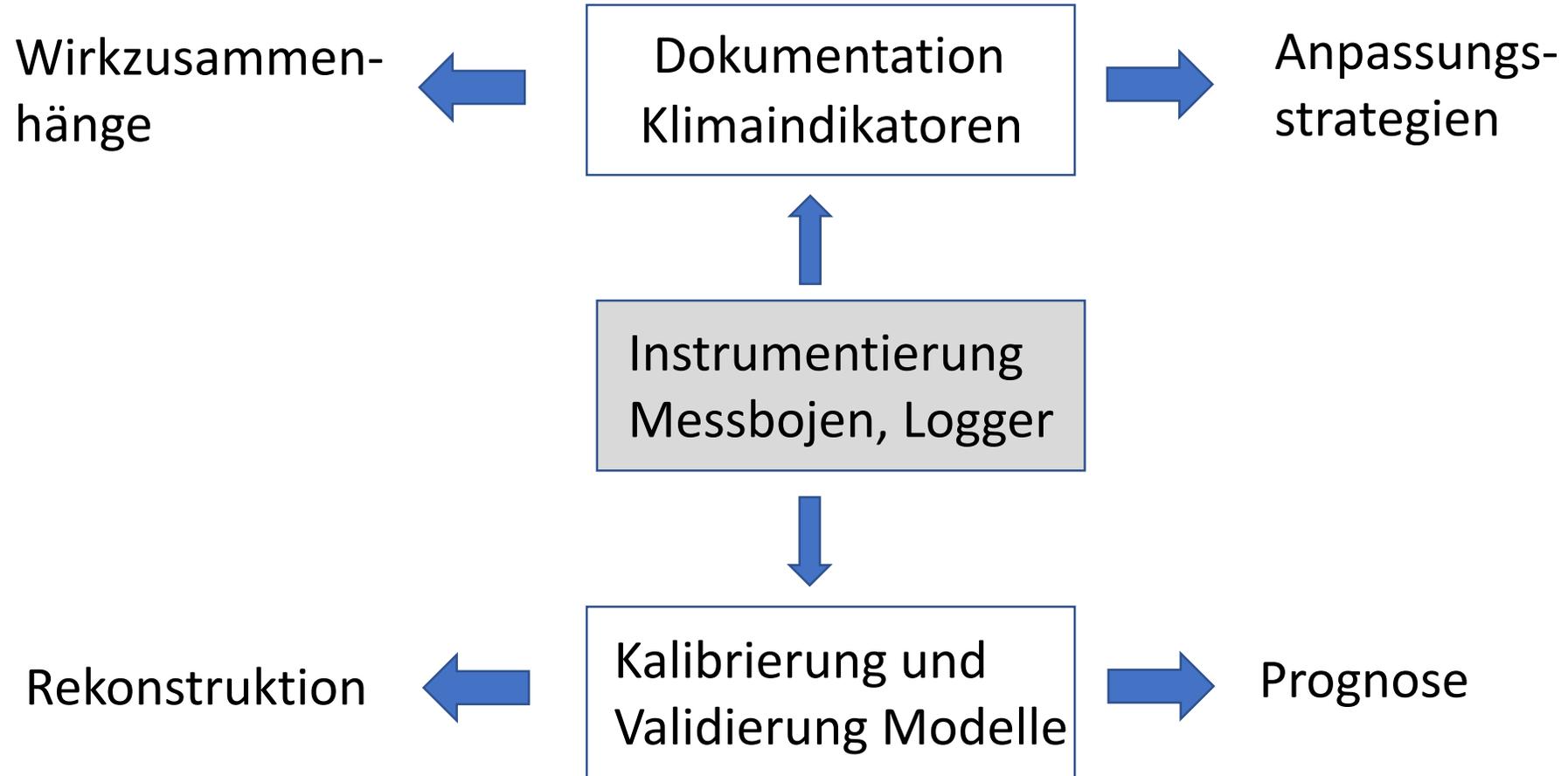
Arendsee



Foto: IGB Archiv

Müggelsee

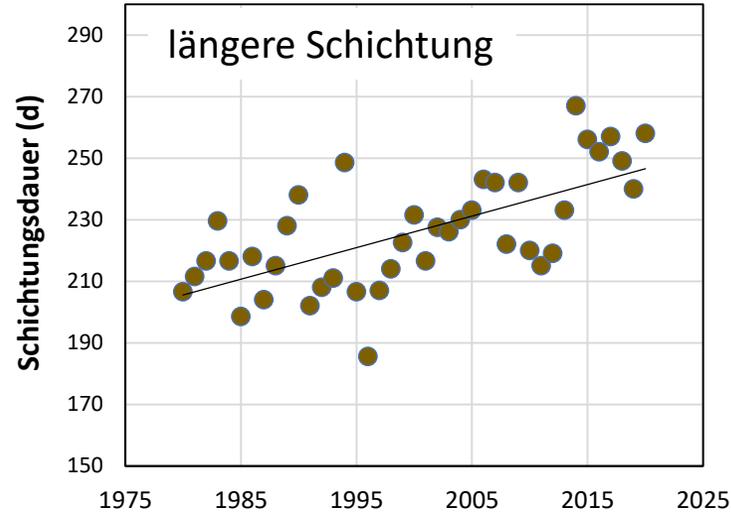
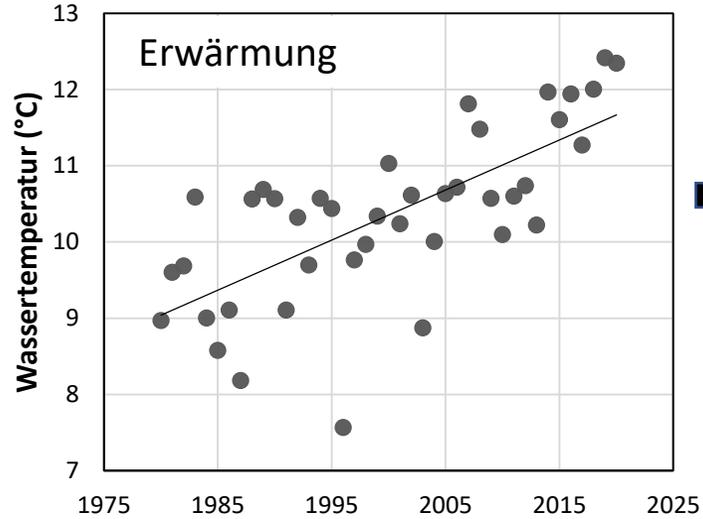
Etablierung Klimamonitoring für Seen



Klimadaten ab 1960

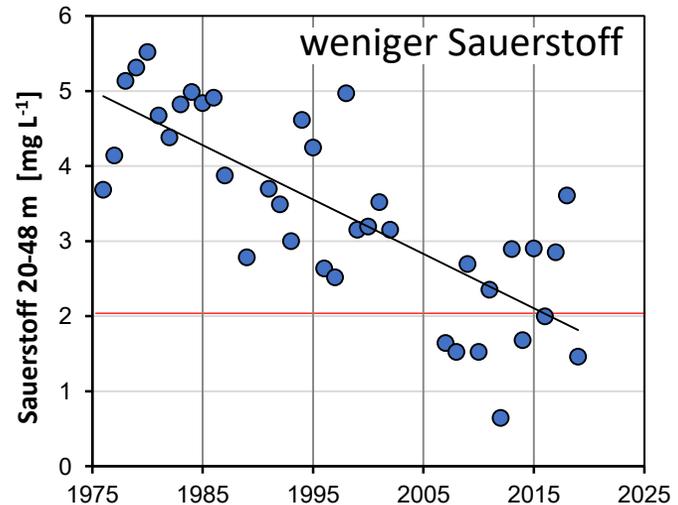
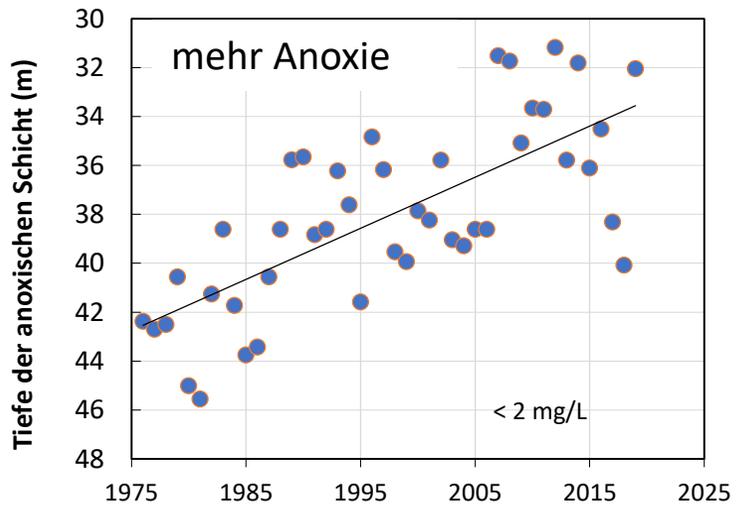
Klimaprojektionen bis 2100

Erwärmung von Seen: Schichtungsdauer und Sauerstoff



Temperatur/Schichtung

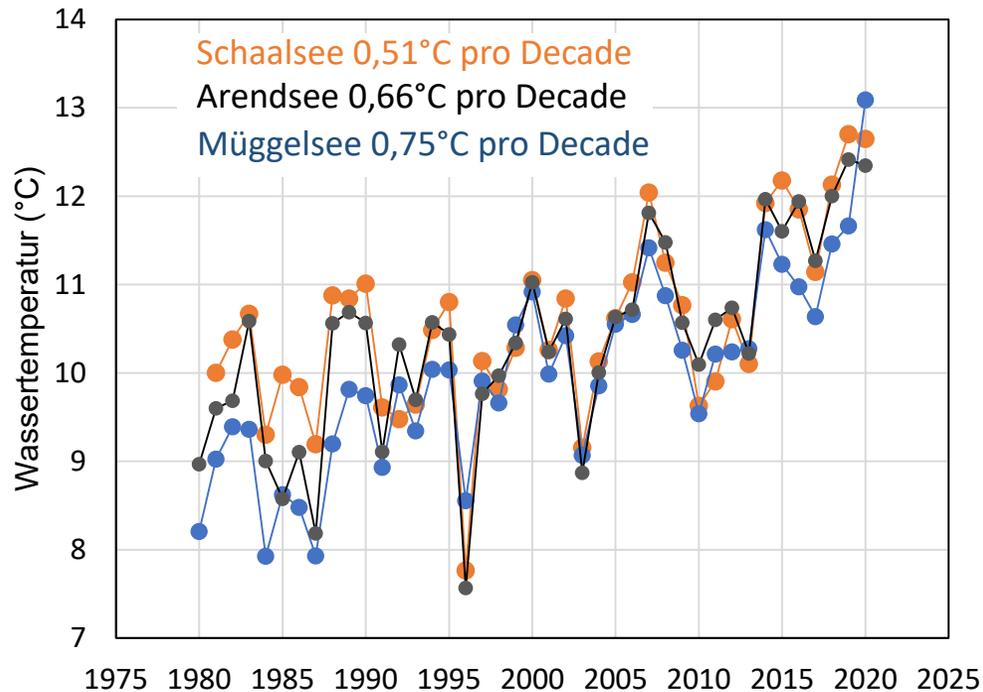
Fallbeispiel Arendsee (Sachsen-Anhalt)



Sauerstoff im Tiefenwasser

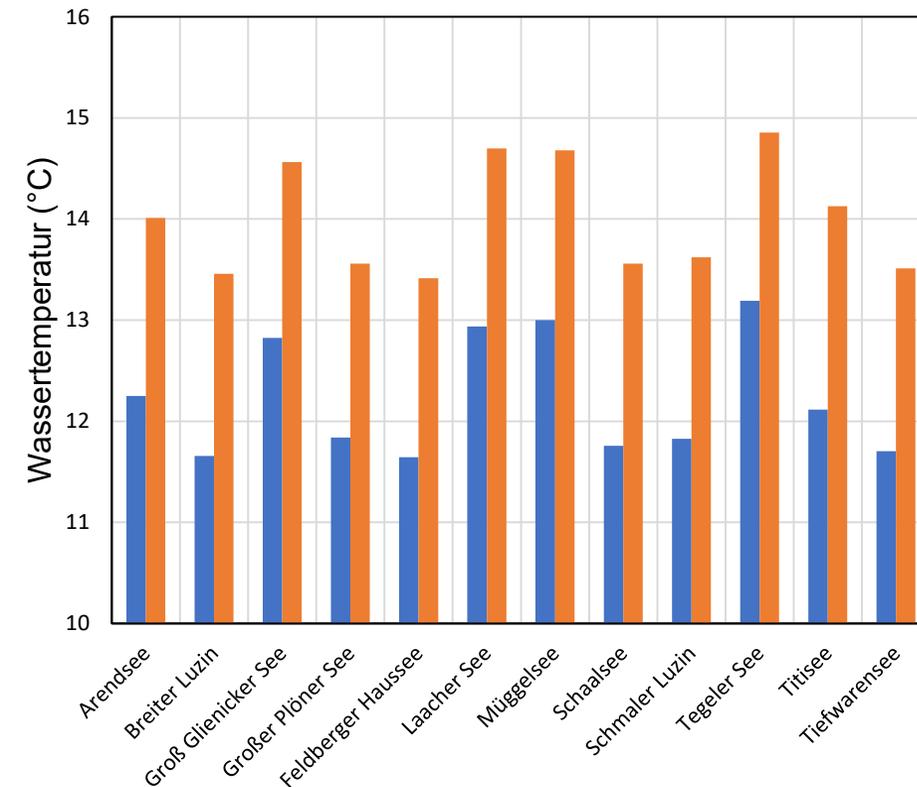
Auswirkungen des Klimawandels auf Seen

Rückblick



Zunehmende Erwärmungstrends mit $>0,5^{\circ}\text{C}$ pro Dekade (seit 1980) und synchrone interannuelle Schwankungen

Blick in die Zukunft



Schichtungsdauer

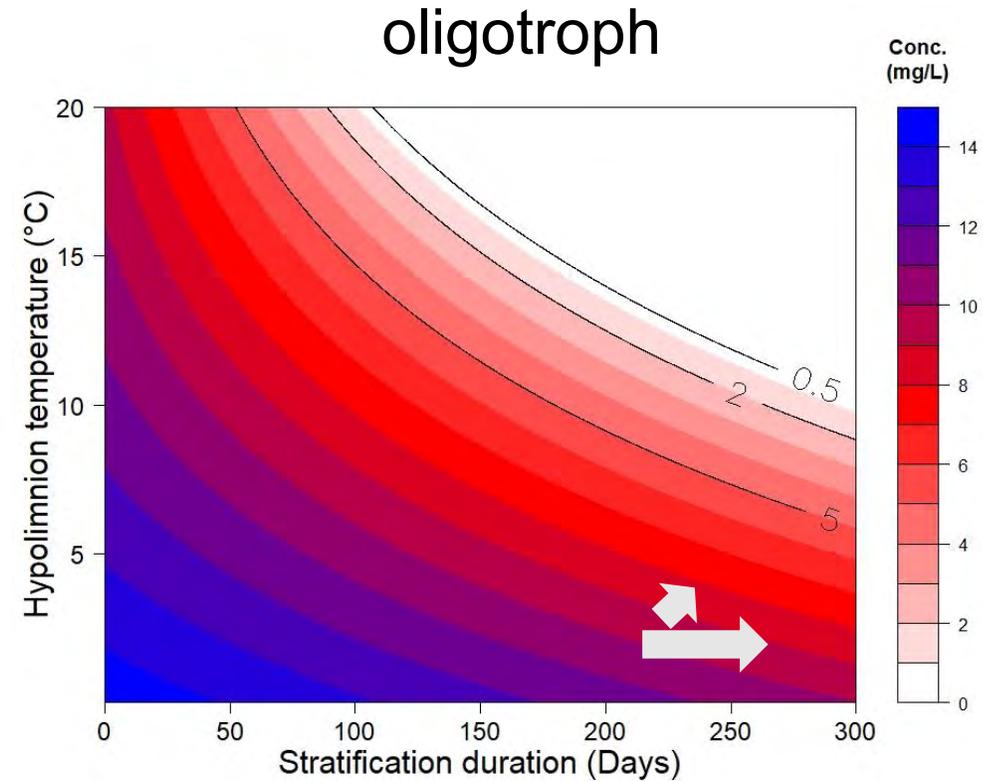
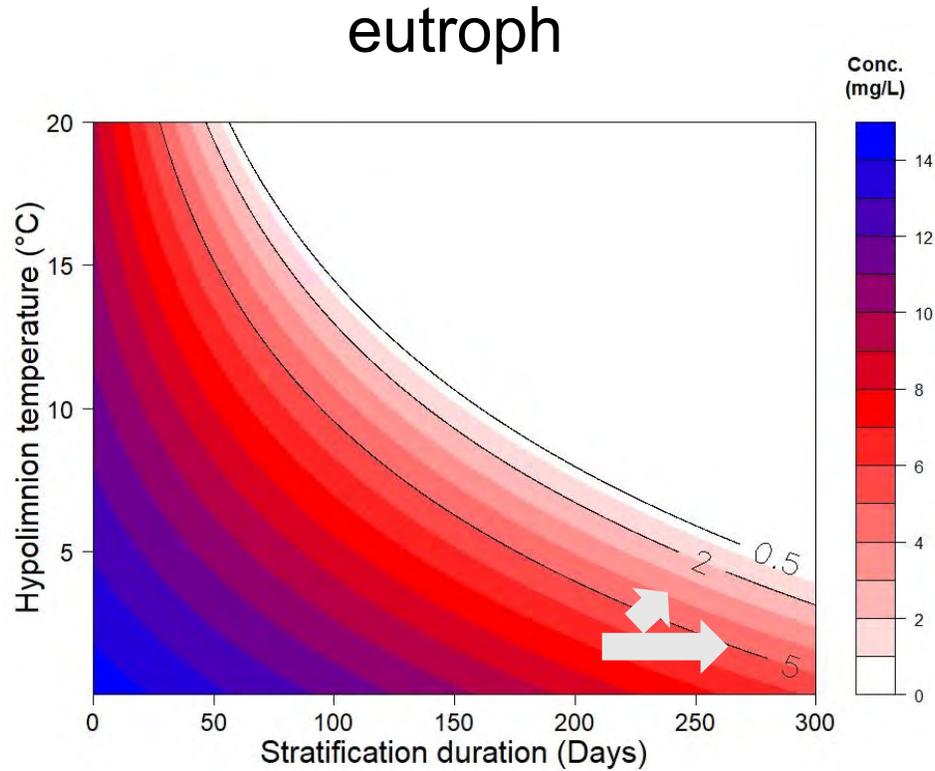
255 (RCP 8.5) Tage >> 237 Tage (RCP 2.6)

Oberflächentemperatur $>25^{\circ}\text{C}$

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.



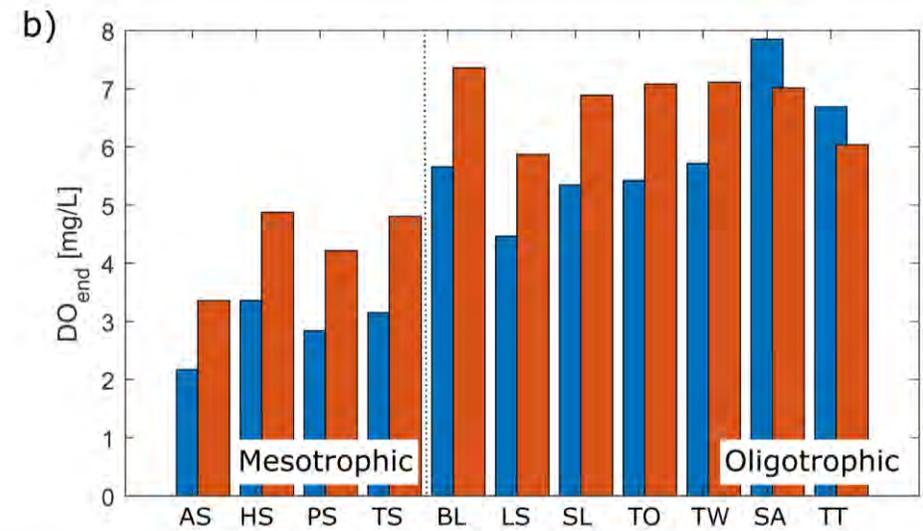
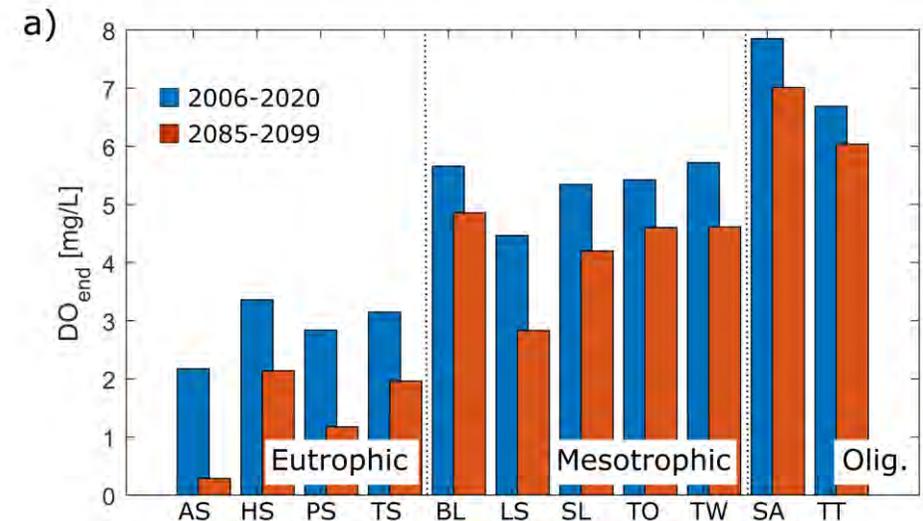
Auswirkungen des Klimawandels auf Seen

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

Stärkste O₂-Verminderung tritt in eutrophen Seen auf.

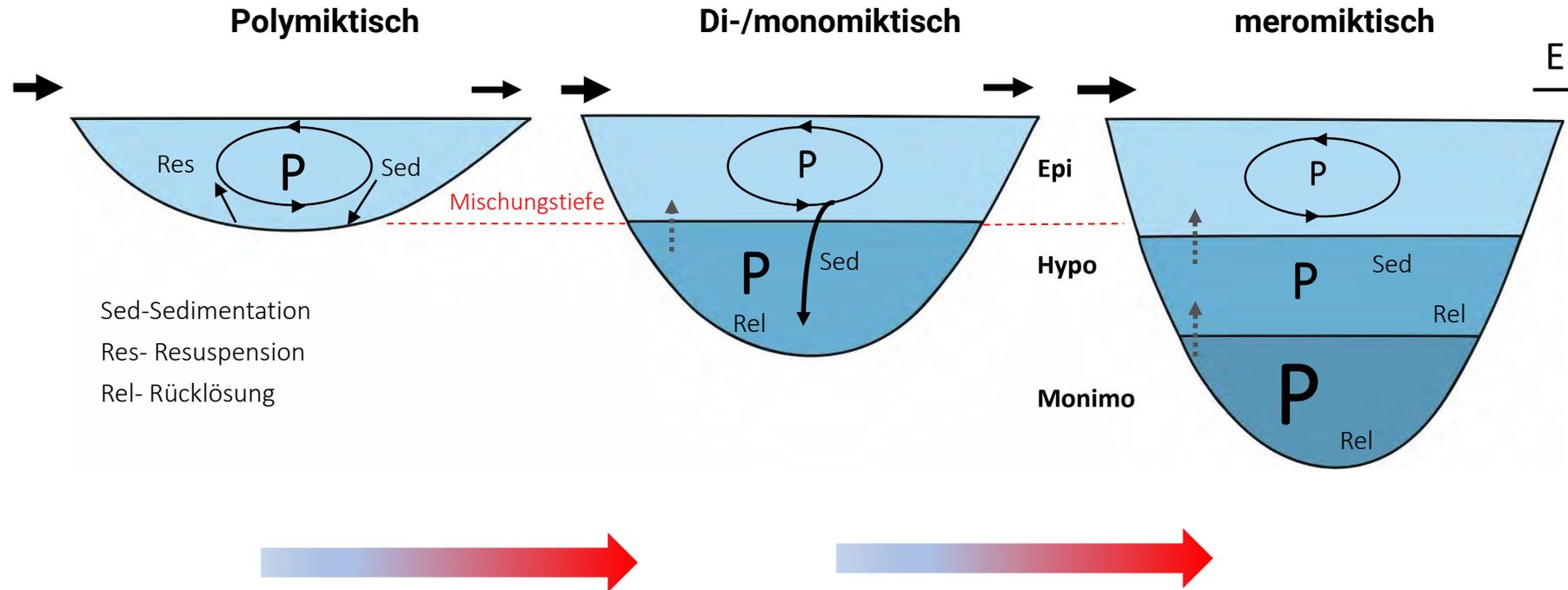
Verbesserung der Trophie um eine Stufe (durch Nährstoffreduktion) führt zur Verbesserung der Sauerstoffsituation selbst im pessimistischen Klimaszenario.

Nährstoffreduktion kann negativen Klimaeffekt für O₂-Gehalt im Tiefenwasser kompensieren.



Seen und Talsperren im Klimawandel
Schichtung und Phosphor

Schichtung und Phosphorverfügbarkeit



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

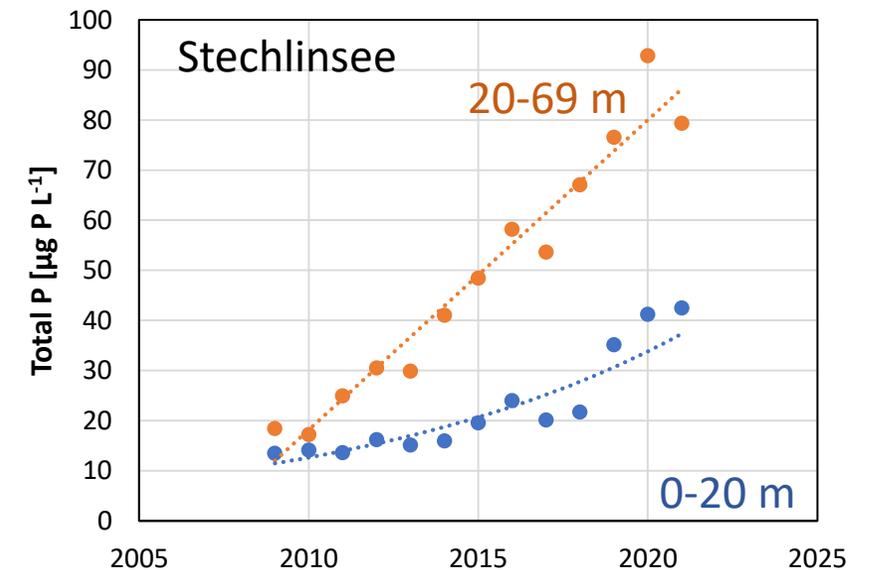
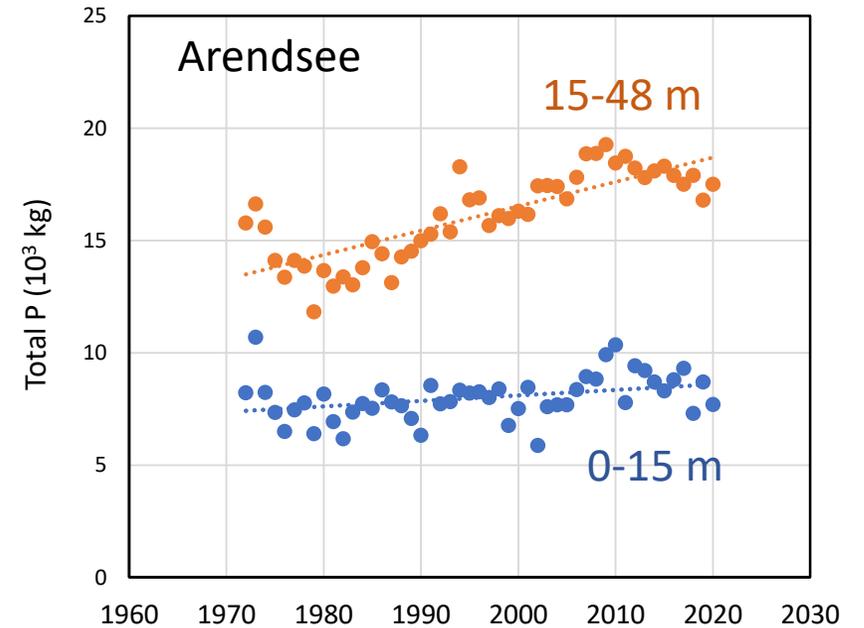
Erwärmung von Seen: Einfluss auf den Phosphorhaushalt

Stabilere und längere Schichtung

Tiefenwasser wirkt als saisonale P-Senke

Verfügbarkeit in der euphotischen Zone sinkt

Anreicherung durch verringerten P-Export



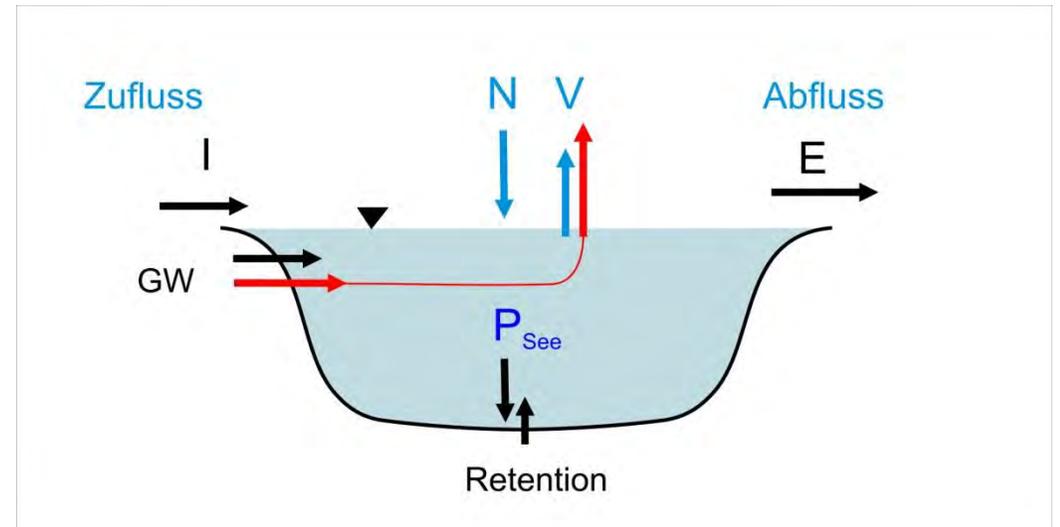
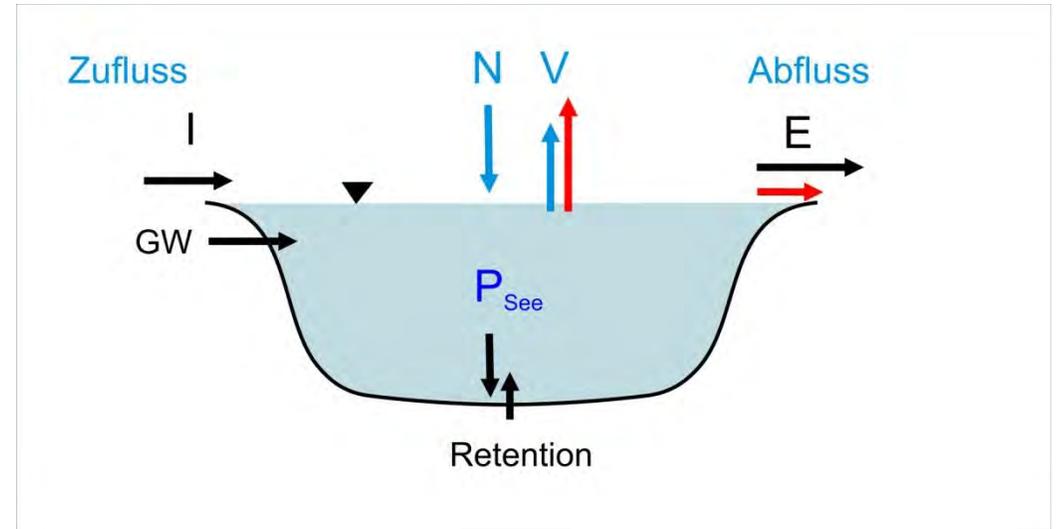
Erwärmung von Seen: Einfluss auf den Phosphorhaushalt

Stabilere und längere Schichtung

Tiefenwasser wirkt als saisonale P-Senke
Verfügbarkeit in der euphotischen Zone sinkt
Anreicherung durch verringerten P-Export

Höhere Verdunstung

Aufkonzentrierung von Phosphor durch verringertes Wasservolumen oder verringerten Phosphor-Export
Erhöhung des Phosphoreintrages durch verstärkten Nachschub über (nährstoffbelastetes) Grundwasser



Erwärmung von Seen: Einfluss auf den Phosphorhaushalt

Stabilere und längere Schichtung

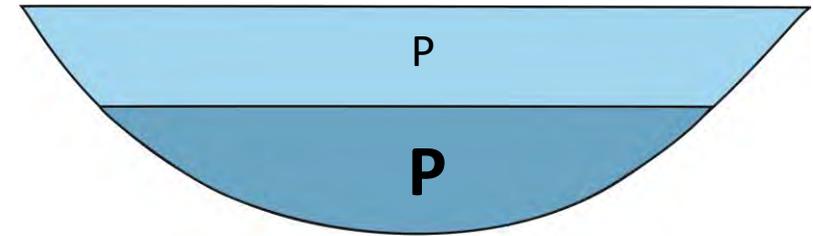
Tiefenwasser wirkt als saisonale P-Senke
Verfügbarkeit in der euphotischen Zone sinkt
Anreicherung durch verringerten P-Export

Höhere Verdunstung

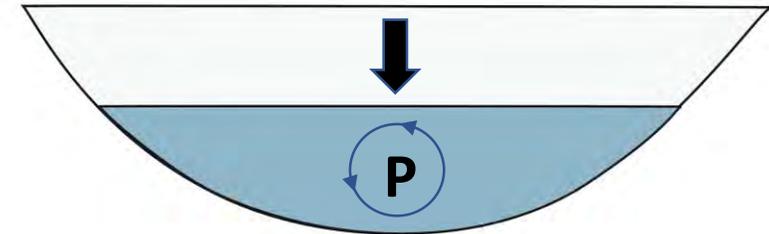
Aufkonzentrierung von Phosphor durch verringertes Wasservolumen oder verringerten Phosphor-Export
Erhöhung des Phosphoreintrages durch verstärkten Nachschub über (nährstoffbelastetes) Grundwasser

Erniedrigung des Seespiegels

Schichtungsstabilität wird schwächer. Phosphor wird leichter zirkulieren. Eutrophierungsneigung nimmt zu.



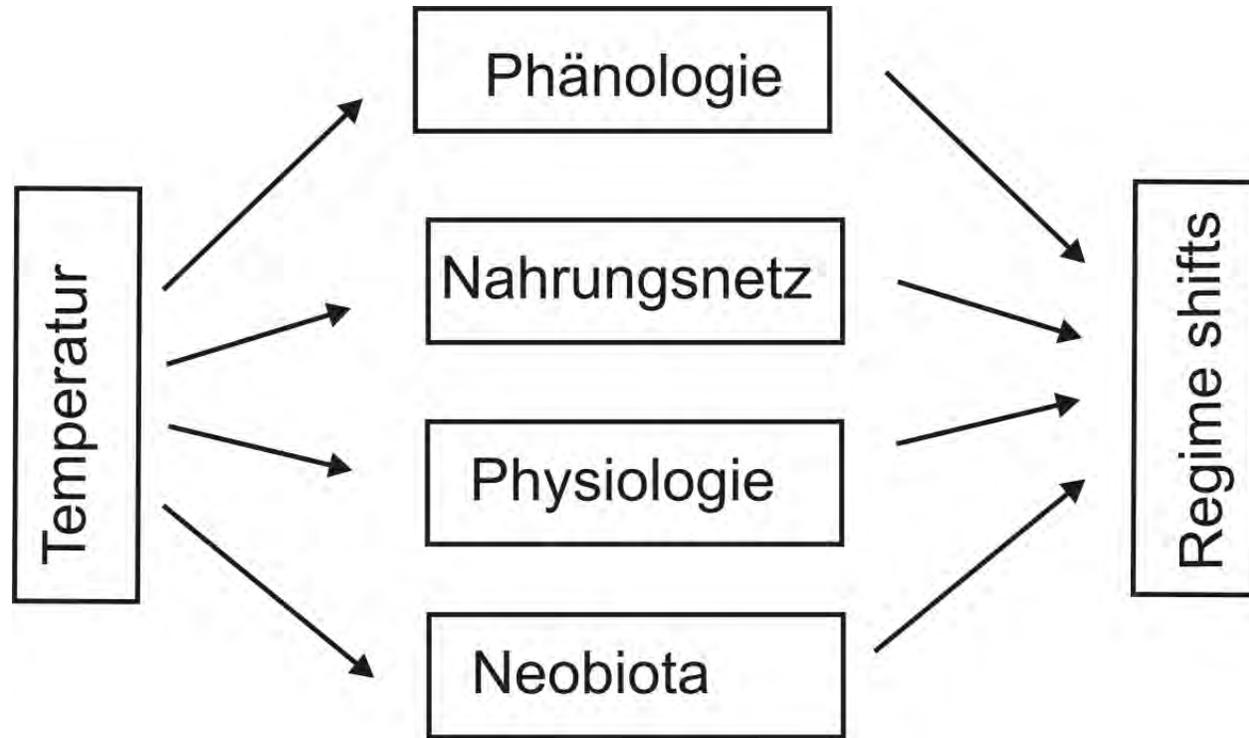
geschichtet



ungeschichtet

Seen und Talsperren im Klimawandel
Biologische Effekte

Besiedlung von Gewässern



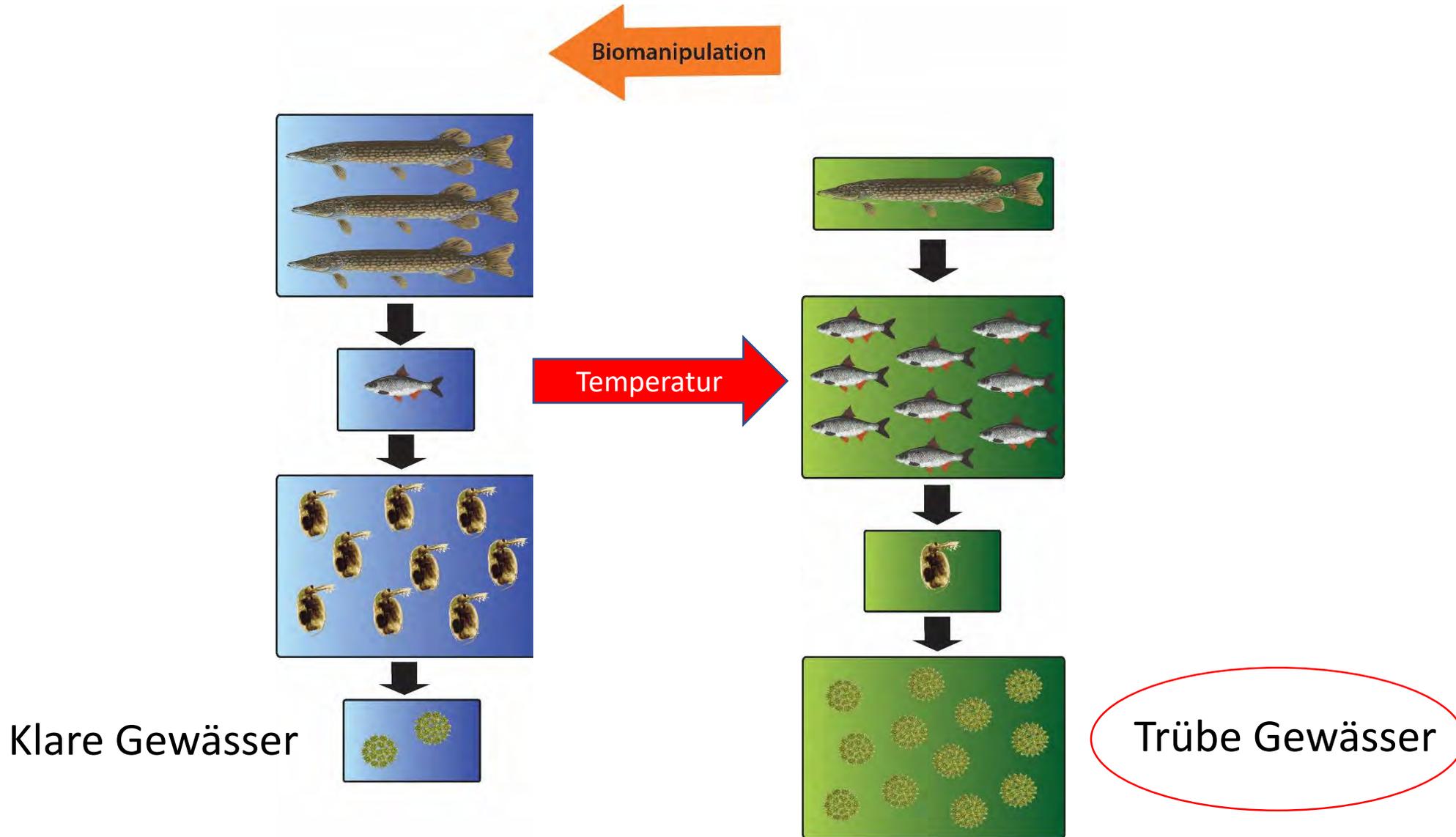
Plankton-Dominanz



Makrophyten-Dominanz

Einfluss der Temperatur auf das Nahrungsnetz

Planktivore Fische profitieren von höheren Temperaturen



Rutilus rutilus
(Rotaug)



Abramis brama
(Brachse, Brasse)



Trübe Gewässer

Gebietsfremde Arten



Cylindrospermopsis raciborskii



Elodea canadensis
Kanadische Wasserpest



Oncorhynchus mykiss
Regenbogenforelle



Myriophyllum spicatum
Ähriges Tausendblatt



Procambarus clarkii
Roter Amerikanischer Sumpfkrebs



Dreissena rostriformis bugensis
Quagga-Muschel

Ausbreitung nicht einheimischer Organismen: Dreissena rostriformis (= Quagga Muschel)

Massenentwicklung: Hohe Filtrationsleistung



Müggelsee

Foto: Klaus van de Weyer

Stern-Armlauchteralgen (*Nitellopsis obtusa*)
Verbesserte Transparenz



Bodensee

Foto: SWR Moritz Klutner

Weniger Algen und Nährstoffe= geringerer Fischertrag
Nährstoffe akkumulieren sich im Litoral

In Deutschland wurde die Quagga-Dreikantmuschel erstmals 2005 nachgewiesen.

Seen und Talsperren im Klimawandel
Anpassungen

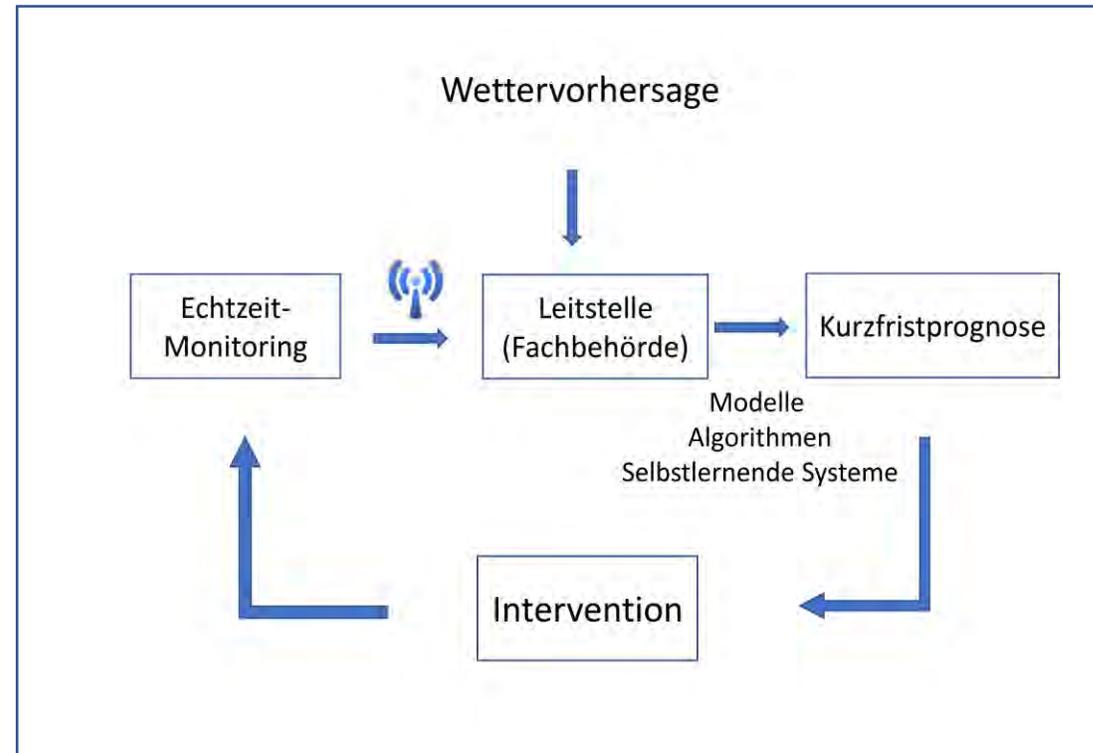
Anpassungsstrategien: Frühwarnsysteme

Methoden der Fernerkundung



Nutzungseinschränkungen
durch Cyanobakterien

Instrumentierung vulnerabler Gewässer



Belüftungssteuerung
zur Verhinderung von Fischsterben



Anpassungsstrategien: Dynamische Modelle für Talsperren und Seen

Feldbauer et al. *Environ Sci Eur* (2020) 32:48
<https://doi.org/10.1186/s12302-020-00324-7> Environmental Sciences Europe

RESEARCH Open Access

Managing climate change in drinking water reservoirs: potentials and limitations of dynamic withdrawal strategies

Johannes Feldbauer^{1*}, David Kneis^{1,2}, Tilo Hegewald³, Thomas U. Berendonk¹ and Thomas Petzold¹



Methode: Simulationen von Entnahmestrategien für Rohwasser und abfließendes Wasser in drei Trinkwassertalsperren auf die Temperatur und die Stratifikation.

Praktischer Nutzen: Ein Teil des Klimaeffektes kann durch Optimierung der Entnahme kompensiert werden. Wenig Effekt auf Oberflächentemperatur, Eis und Beginn der Schichtung

Science of the Total Environment 748 (2020) 141366

Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv

Ensemble warming projections in Germany's largest drinking water reservoir and potential adaptation strategies

Chenxi Mi^{a,b,*}, Tom Shatwell^a, Jun Ma^c, Yaqian Xu^c, Fangli Su^b, Karsten Rinke^a

^a Helmholtz Centre for Environmental Research, Department of Lake Research, Magdeburg, Germany
^b College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang, China
^c Hubei Key Laboratory of Ecological Restoration of River-Lakes and Algal Utilization, Hubei University of Technology, Wuhan, China



Methode: Modellierung verschiedener Bewirtschaftungsszenarien auf der Basis von Klimaprojektionen bis 2100.

Praktischer Nutzen: Mehr Oberflächenentnahme verhindert die Erwärmung des Oberflächen- und des Tiefenwassers. Bei RCP 2.6 (hoher Klimaschutz) sind keine Anpassungen notwendig.

 MDPI

Article

Climate Change Demands Adaptive Management of Urban Lakes: Model-Based Assessment of Management Scenarios for Lake Tegel (Berlin, Germany)

Robert Ladwig^{1,2,*}, Eiichi Furusato³, Georgiy Kirillin¹, Reinhard Hinkelmann² and Michael Hupfer¹

Methode: Modellierung verschiedener Bewirtschaftungsszenarien auf der Basis von Klimaprojektionen bis 2100.

Praktischer Nutzen: Die Phosphoreliminationsanlage gewinnt bei der Verhinderung hoher Nährstoffkonzentrationen und von Cyanobakterien an Bedeutung.

Anpassungsstrategien

Neue Informationswerkzeuge

Fernerkundung und Sensoren

Real-time Monitoring

Sicherung der Funktionen besonders sensibler Ökosysteme

Modelle

Praxistaugliche Modelle für Kurz- und Langfristprognosen

Reduzierung von Nähr- und Schadstoffeinträgen

End-of-pipe Maßnahmen

Puffersysteme, Phosphorfällung im Zufluss, Vorsperren

Umleitung (Bypassing)

Verhinderung von Stoßbelastung bei Starkregenereignissen

Entnahmestrategie

Tiefervariable Wasserentnahme (Temperatur und Nährstoffe)

Operative Maßnahmen

Unterhaltung

Symptombekämpfung, Havariebekämpfung

Erhöhung der Speicherkapazitäten

Erhöhung Wasserrückhalt in der Landschaft, künstliche Grundwasseranreicherung

Fremdwasserzuführung

Verbindung von Versorgungssystemen, Überleitung

Anpassungsstrategien: Wassermangel in Brandenburg

Situation

Durch den Klimaeinfluss steigt der individuelle Wasserverbrauch (Abkühlung durch Duschen, Pools, Gartenbewässerung)

Hoher (perspektivischer) Wasserbedarf durch Kohleausstieg Bergbau

Sinkende Grundwasserstände.

Rationierung: Neue Verträge des Wasserverbandes SE mit Privathaushalten beinhalten eine Deckelung der Wasserversorgung (nur noch 105 Liter Wasser pro Person und Tag).

Mögliche Lösungsansätze/Anpassung

Umleitung von Wasser

Entsalzung wird als realistische Alternative diskutiert (Pipelines von Ostsee)

Abwasser-Recycling (künstliche Grundwasseranreicherung)

Nutzung des Tiefengrundwasserleiters mit relativ hohem Salzgehalt (Entsalzungstechnologien notwendig)

Wiedervernässung von Mooren und Auen

Die Spree

Cottbus



Berlin



Erfordernis einer länderübergreifenden Zusammenarbeit

Auswirkungen der Energiewende auf Gewässer

Schwimmende PV-Anlagen



Foto: O&L Nexentury

Philippsee in Bad Schönborn (BW)

Thermische Seewassernutzung (Hydrothermie)



www.JeanRichard.photo

Zürichsee (CH)



Gewässerökosysteme im Klimawandel

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

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

Zur Abwendung klimabedingter ökologischer „Katastrophen“ sowie für die 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

