Entwicklung von Seen im Klimawandel: Welche Auswirkungen und Konsequenzen ergeben sich für den Gewässerschutz

Automatische Messstation auf dem Arendsee

Seen-Fachtagung
22.-24. Oktober 2018
Friedrichshafen

Michael Hupfer

IGB
Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei

Hitzesommer 2018

Hitzesommer 2018

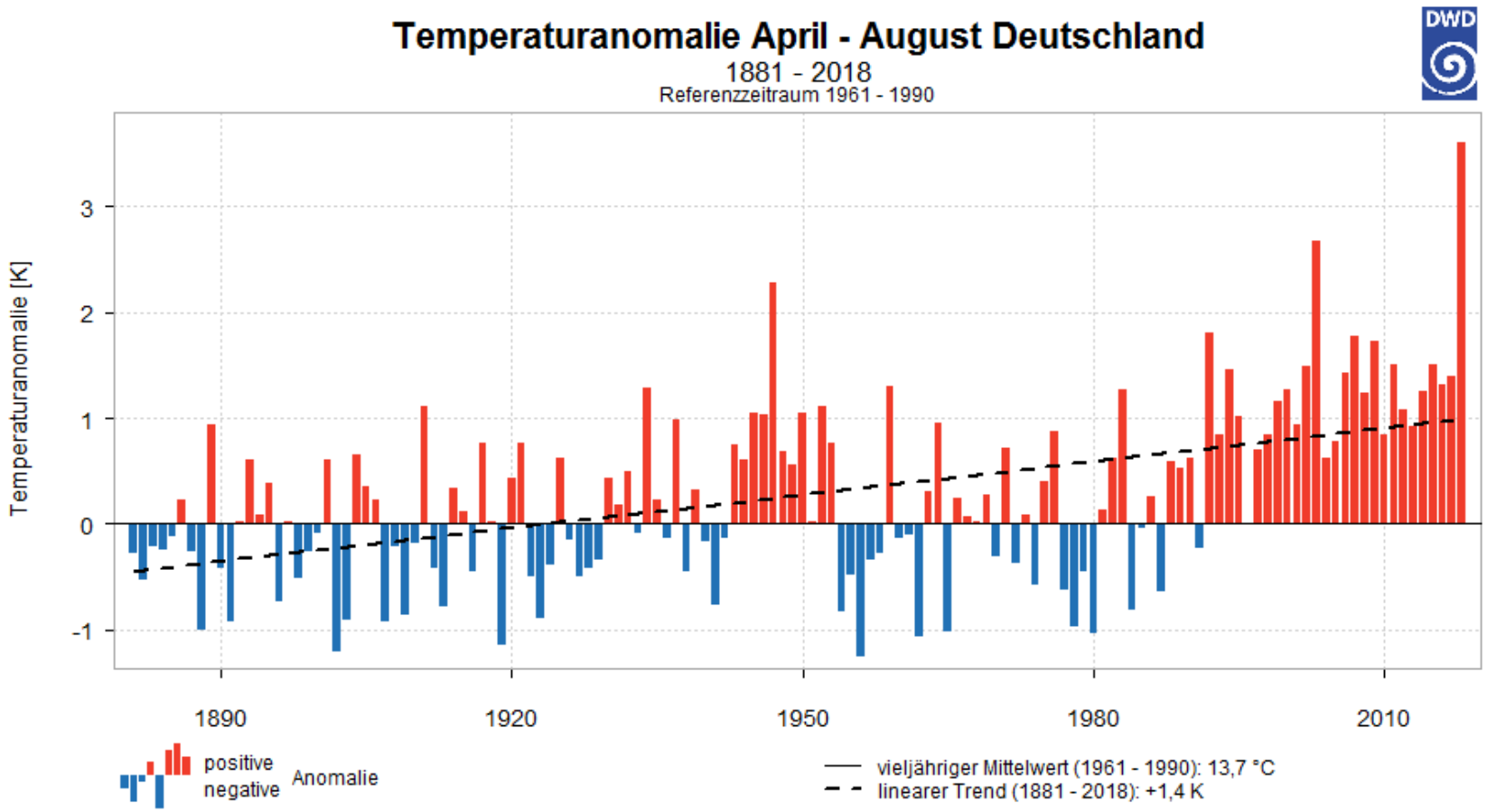
Sommertage Hitzetage

Sommer-/Hitzetage		2018	Rekord (bisher)		2018	Rekord (bisher)	
Stand 24.09.2018	Seit	>=25°C	>=25°C	Jahr	>=30°C	>=30°C	Jahr
List auf Sylt	1937	29	20	1997	3	5	1994/1975
Schleswig	1947	35	37	1947	8	7	1994
Arkona	1947	20	14	1997	0	2	2013
Bremen	1890	75	64	1947	22	17	1947
Schwerin	1890	63	48	1917	18	19	1911
Greifswald	1899	45	34	2006	7	10	1994
Hamburg-Fuhlsbüttel	1937	63	51	1947	19	18	1994
Potsdam	1893	94	71	1947	33	26	1947
Berlin-Dahlem	1876	83	67	1947	28	21	2006
Angermünde	1947	82	62	1947	25	19	1994
Hannover	1936	74	56	1947	22	18	1947
Göttingen	1947	80	68	1947	26	27	1947
Bad Lippspringe	1951	79	61	1959	22	18	1994
Kleve	1948	79	65	2006	15	22	2006
Essen-Bredeney	1935	75	47	1959	12	17	1976
Köln-Stammheim	1945	93	85	2003	27	35	1947
Siegen (Kläranlage)	1937	85	66	2003	18	20	1994/2003
Seehausen	1977	89	62	2003	30	20	2006
Erfurt-Weinmar	1951	63	53	2003	17	17	2003/2015
Jena (Sternwarte)	1824	98	80	1947	37	33	1947
Cottbus	1889	95	73	1992	32	29	2006
Bad Kreuznach	1947	103	91	2003	38	41	1947
Trier-Petrisberg	1948	90	79	2003	26	26	1976
Frankfurt/Main	1949	104	96	2003	43	31	2003
Leipzig-Holzhausen	1864	87	67	2003	36	27	1947
Dresden-Klotzsche	1934	77	70	1983	28	24	2015
Saarbrücken-Ensheim	1949	81	75	2003	15	22	2015
Mannheim	1936	104	103	2003	42	42	2003
Bad Mergentheim	1947	106	95	2003	41	38	1947
Stuttgart-Echterdingen	1953	82	90	2003	22	26	2015
Rheinau-Memprechtsh.	1958	110	106	2003	40	42	2003
Würzburg	1947	102	90	2003	36	31	2003
Nürnberg	1955	95	85	2003	31	33	2015
Regensburg	1947	105	91	2003	41	41	2003
Augsburg	1947	75	80	2003	12	31	1947
München-Stadt	1954	85	88	2003	16	33	2015

Neue Rekorde für die Anzahl der Sommer- und Hitzetage.

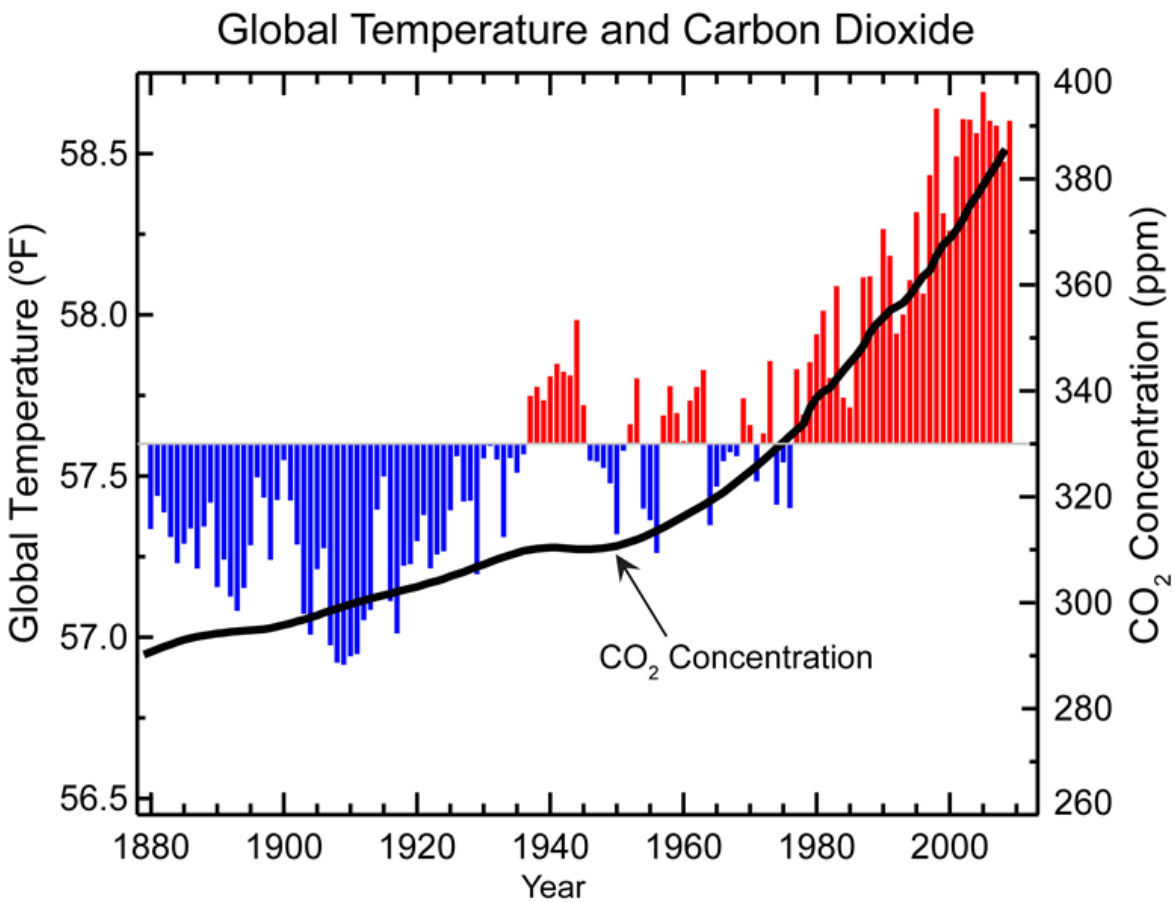
https://wetterkanal.kachelmannwetter.com

Hitzesommer 2018



Von April bis September wurde in jedem einzelnen Bundesland ein neuer Rekord für das höchste Temperaturmittel aufgestellt.

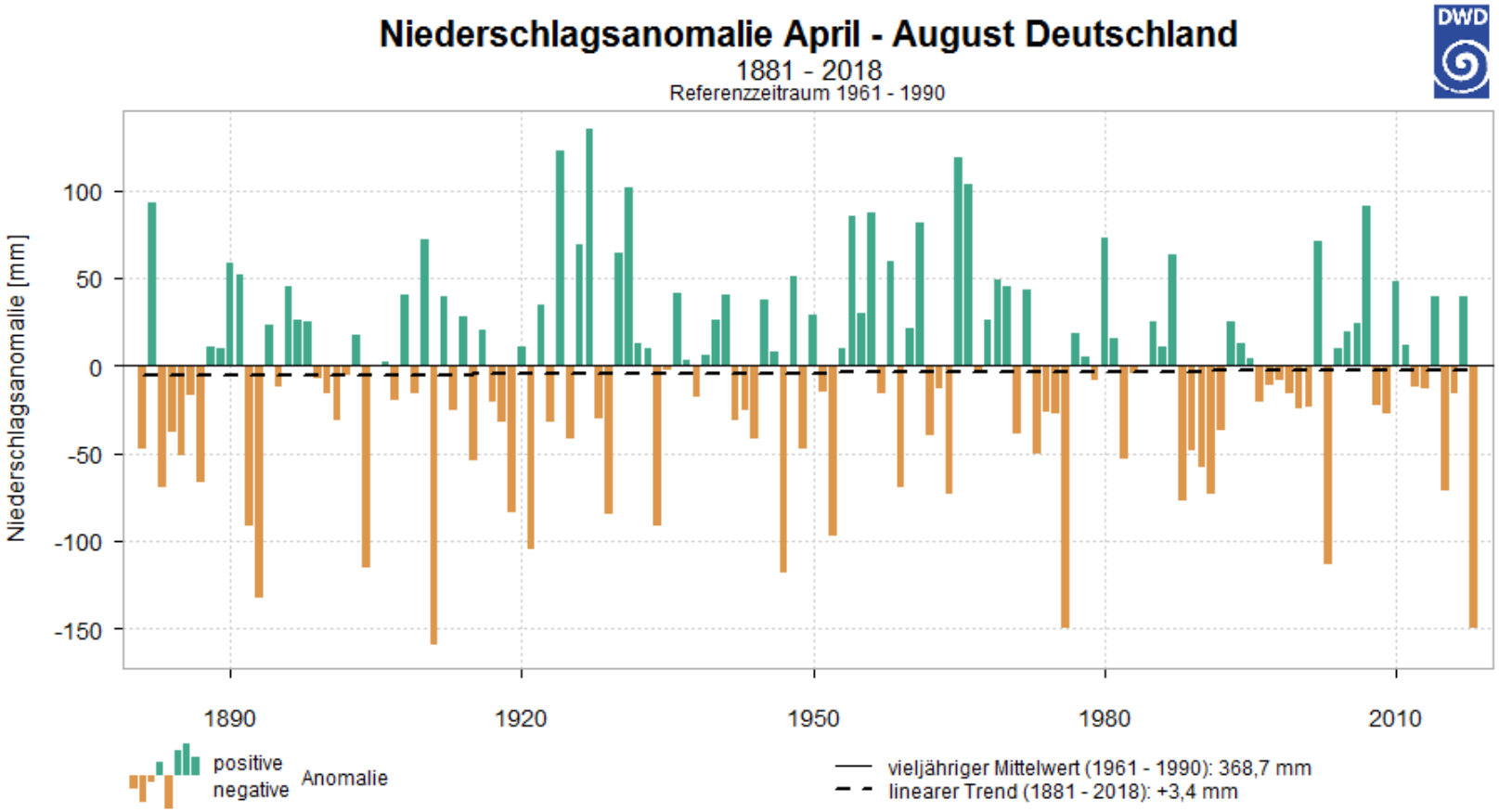
Klimawandel: Globaler Temperaturanstieg



Der von Menschen verursachte Anstieg Treibhausgaskonzentrationen ist wahrscheinlich die Hauptursache der beobachteten Erwärmung.

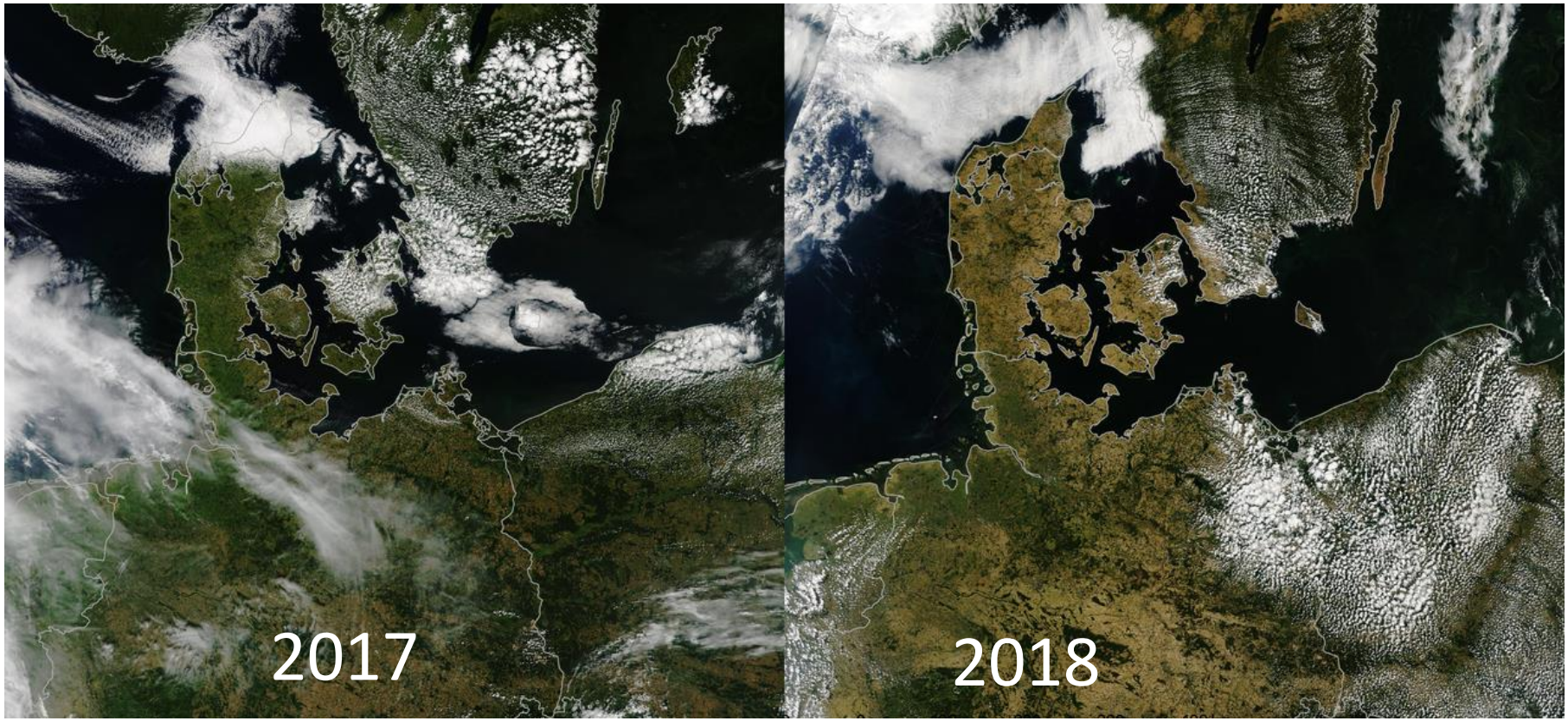
Weltklimarat IPCC, 2014

Hitzesommer 2018



Der Zeitraum April bis August 2018 war sowohl der wärmste als auch der sonnenreichste und einer der niederschlagsärmsten seit Beginn systematischer Messungen.

Hitzesommer 2018



Vergleichende Satellitenaufnahmen von Nord-Zentraleuropa machen die Vertrocknungserscheinungen im Jahr 2018 deutlich
Links: 19. Juli 2017, rechts: 24. Juli 2018

Wikipedia/NASA

Hitzesommer 2018

Müggelsee: polymiktisch, eutroph

A = 7,2 km^2 z_{max}= 7,5 m

T_{max}=29.95°C 04.08.2018, 14:00 Uhr

Titisee: dimiktisch, oligo/meso

A = 1,7 km^2 z_{max}= 39 m

T_{max}=24.77°C 07.08.2018, 16:00 Uhr

Arendsee: monomiktisch, eutroph

A = 5,1 km^2 z_{max}= 49 m

T_{max}=26.71°C 25.07.2018, 18:50 Uhr

Arendsee	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Tage über 20°C	36	61	49	43	65	58	90
Max. Temperatur	23,1	25,6	25,2	24,1	24,3	22,3	26,7
Mittel (April-August)	15,7	15,8	16,8	15,6	16,9	16,3	18,2

Hitzesommer 2018

Ironman Hamburg:
Schwimmen wegen Blaualgen in der Alster abgesagt. Duathlon statt Triathlon.
Spiegel, 27.07.2018

Klimawandel Hitzesommer: Tote Fische, verschwundene Flüsse
[illegible]sche Welle, 08.08.2018

Hitze sorgt für Fischsterben in Stausee - Mehrere Tonnen verendet
Schwäbische, 05.08.2018

Hitzealarm: Großes Fischsterben im Rhein befürchtet
Kölnische Rundschau, 26.07.2018

Rhein-Pegel so niedrig wie seit Jahrzehnten nicht
Wolfsburger Allgemeine, 18.10.2018

***Nach Dürre*: Wasserstände bleiben niedrig**
Stuttgarter Nachrichten, 07.09.2018

Fischsterben im Aasee
Klimawandel wird spürbar
Westfälische Nachrichten, 12.08.2018

Badeverbot: Strandbad am Unterbacher See wegen Algenplage geschlossen
Neue Ruhr Zeitung, 29.07.2018

Gefahr am Ufer: Niedrigwasser legt Weltkriegsmunition frei
Frankfurter Allgemeine, 02.08.2018

Hitzesommer 2018

Foto: Tom Shatwell

Müggelsee (Berlin):
Umkehr von Makrophyten-Dominanz (klar) zu Phytoplankton-Dominanz (trüb)

Hitzesommer 2018

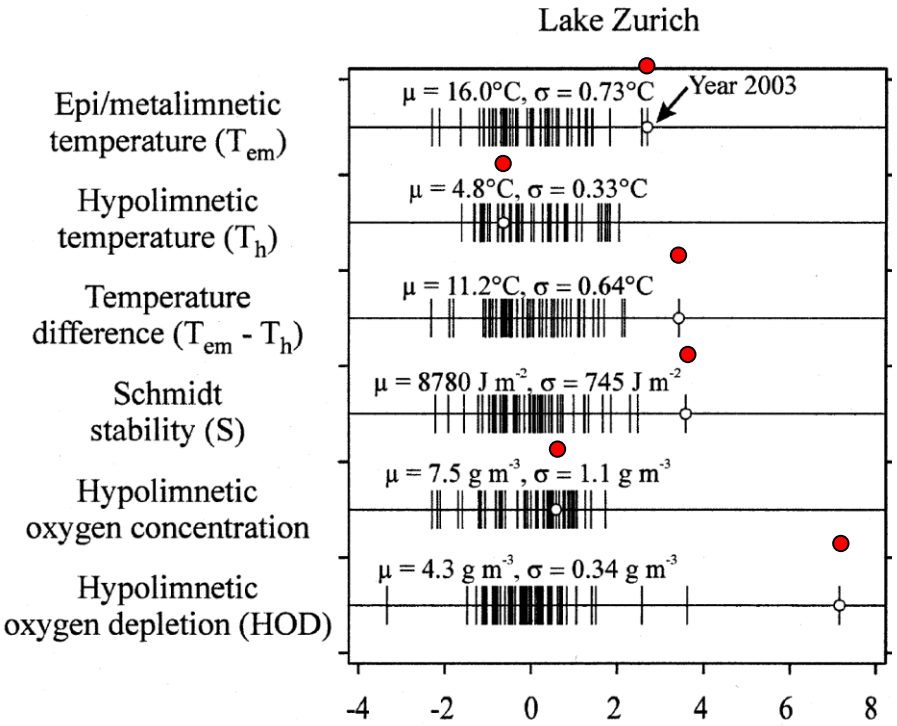
Foto: Matthias Ahlke/Westfälische Nachrichten

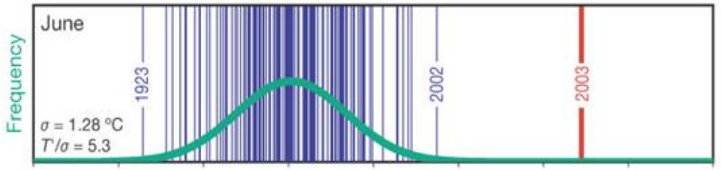
Aasee (Münster):
Massenfischsterben (ca. 20 Tonnen) am 09. und 10.08.2018.
Tod von ca. 60 Wasservögeln

Klimafolgenforschung
Seen

Forschung: Klimaeffekte auf Seen

Interannuelle Variabilität/ Extrema



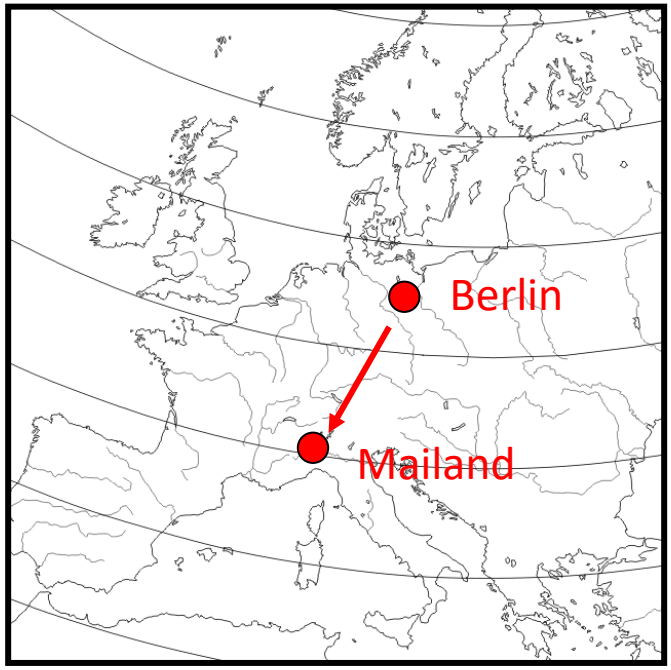


Jankowski et al. (2006)

Forschung: Klimaeffekte auf Seen

Interannuelle Variabilität/ Extrema

Klimatische Gradienten (Breitengrad/Höhenlage)



Forschung: Klimaeffekte auf Seen

Interannuelle Variabilität/ Extrema

Klimatische Gradienten (Breitengrad/Höhenlage)

Prozessstudien auf verschiedenen Skalen

Seelabor am Stechlinsee

Mesokosmen in Lemming (DK)

Forschung: Klimaeffekte auf Seen

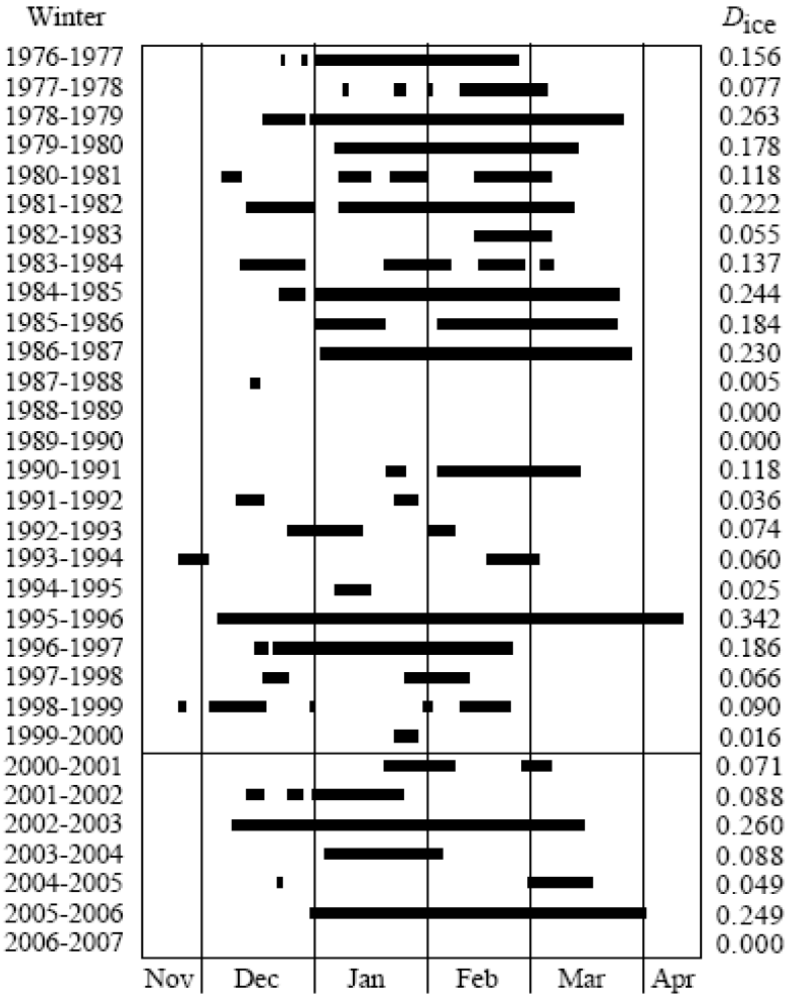
Interannuelle Variabilität/ Extrema

Klimatische Gradienten (Breitengrad/Höhenlage)

Prozessstudien auf verschiedenen Skalen

Langzeitdaten und historische Aufzeichnungen

Eis-Chronologie Müggelsee



Livingstone & Adrian (2009)

Forschung: Klimaeffekte auf Seen

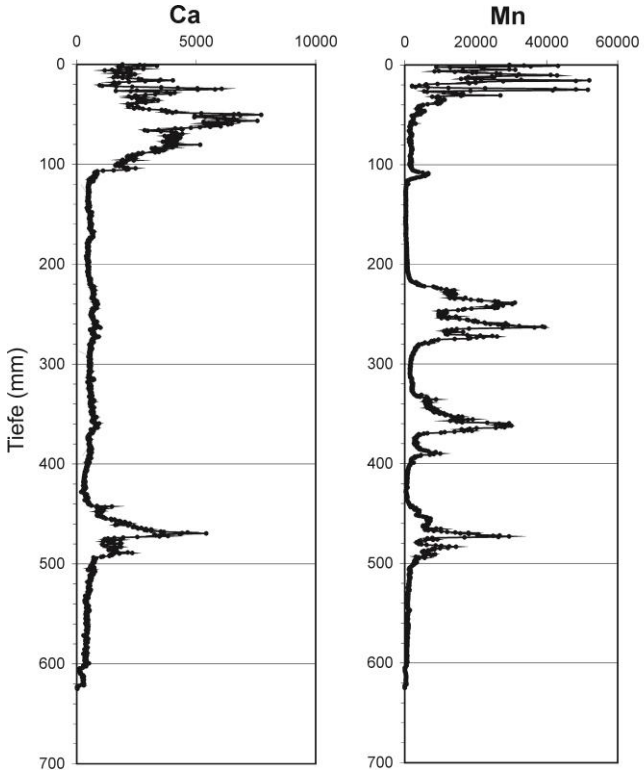
Interannuelle Variabilität/ Extrema

Klimatische Gradienten (Breitengrad/Höhenlage)

Prozessstudien auf verschiedenen Skalen

Langzeitdaten und historische Aufzeichnungen

Paläoansatz



Sedimentkerne Stechlinsee

Forschung: Klimaeffekte auf Seen

Interannuelle Variabilität/ Extrema

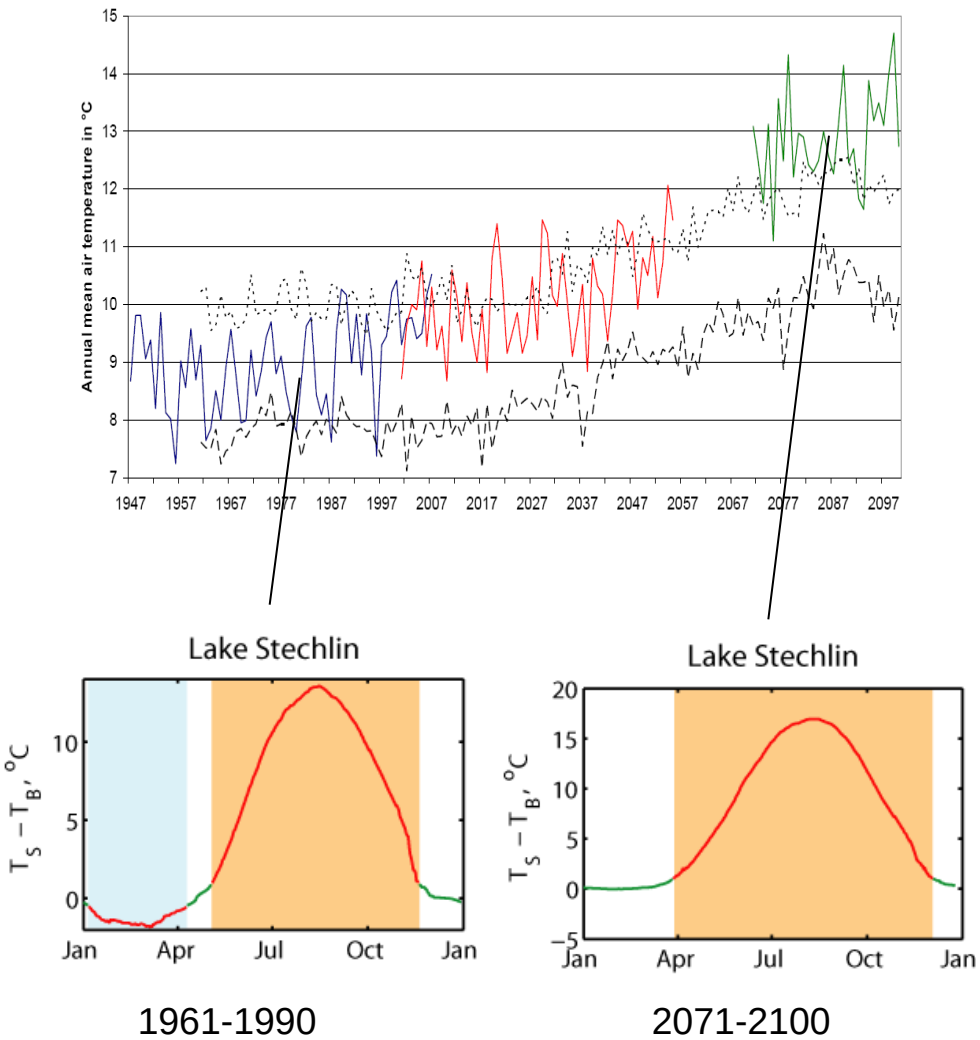
Klimatische Gradienten (Breitengrad/Höhenlage)

Prozessstudien auf verschiedenen Skalen

Langzeitdaten und historische Aufzeichnungen

Paläoansatz

Modelle



1961-1990

2071-2100

Kirillin et al. (2010)

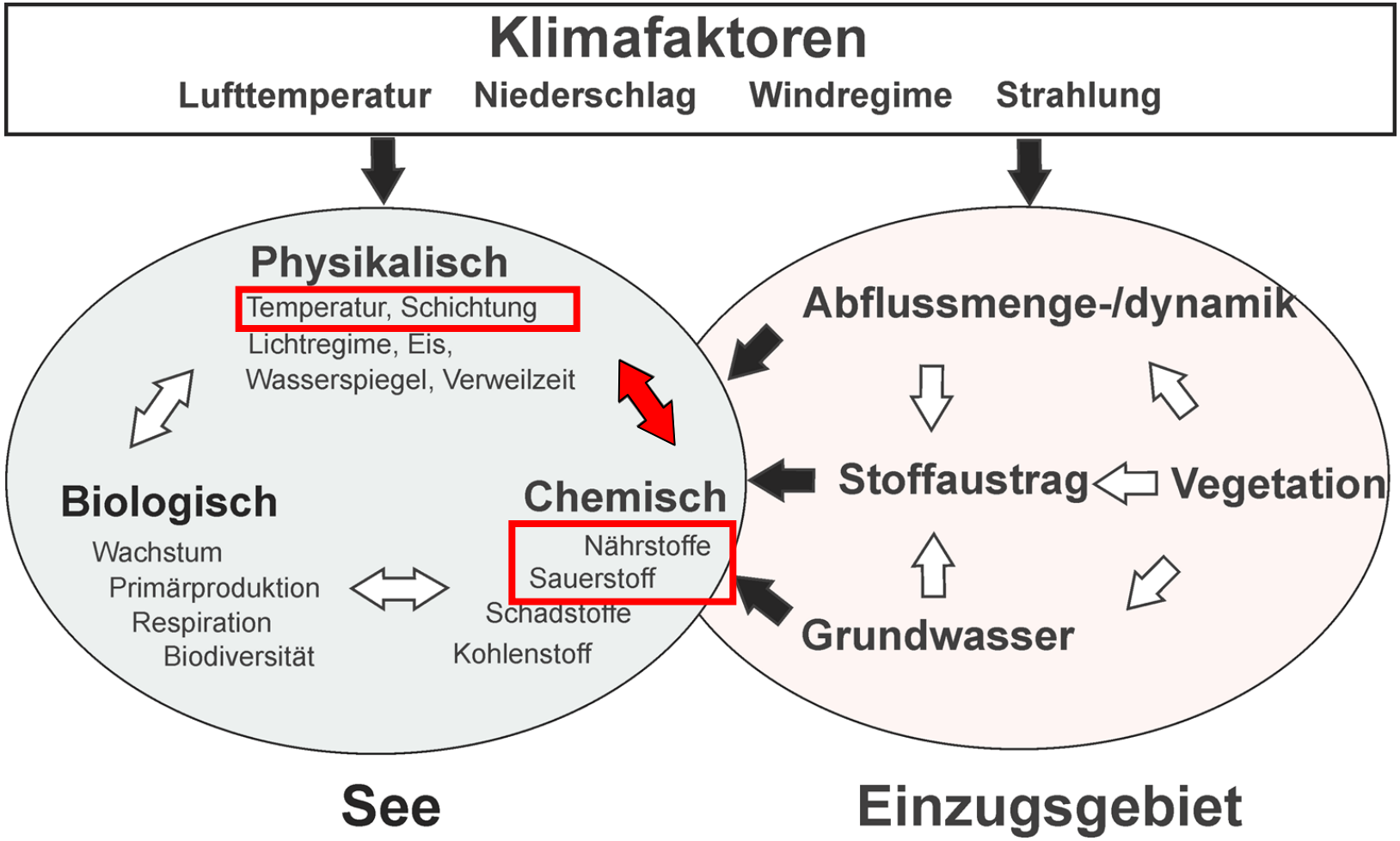
Klimaerwärmung
Seen

Klimawandel: Seen als Teil der Landschaft

Dümmer (Niedersachsen)

Gewässer sind die tiefsten Punkte in der Landschaft

Wirkung von Klimaelementen auf Seen

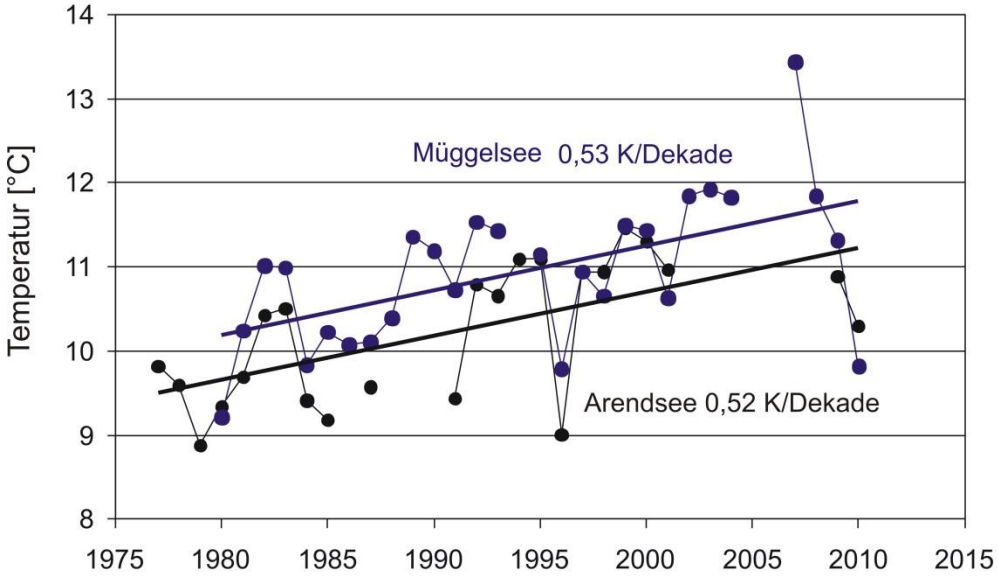


Hupfer & Nixdorf (2011)

Klimaeffekte von anderen Veränderungen schwer zu trennen

Langzeitentwicklung Wassertemperaturen

Wasseroberfläche (0,5 m), Jahresmittelwerte



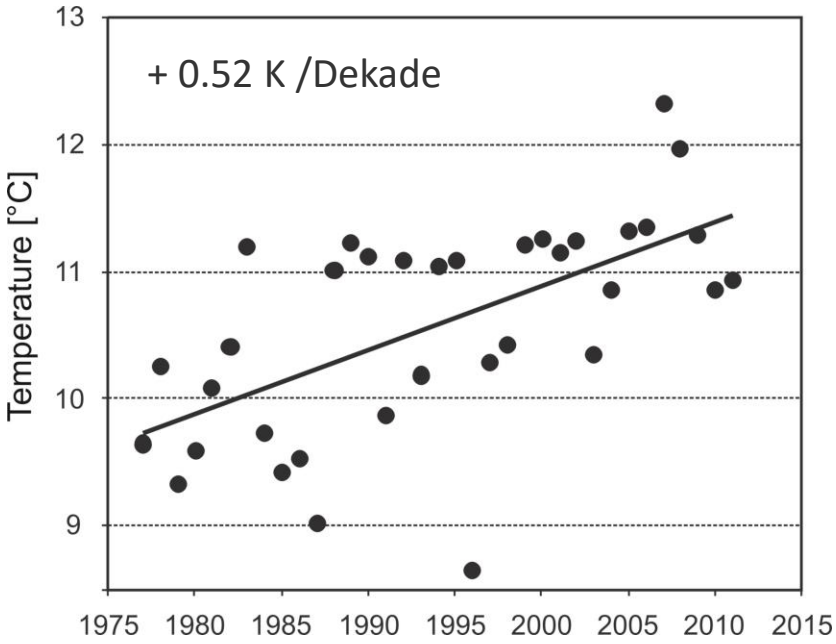
Satellitendaten (1985-2009):
167 Seen (>500 km^2) weltweit:
Anstieg um 0,45°C pro Dekade

Größte Erwärmung trat in mittleren und höheren Breitengraden auf.

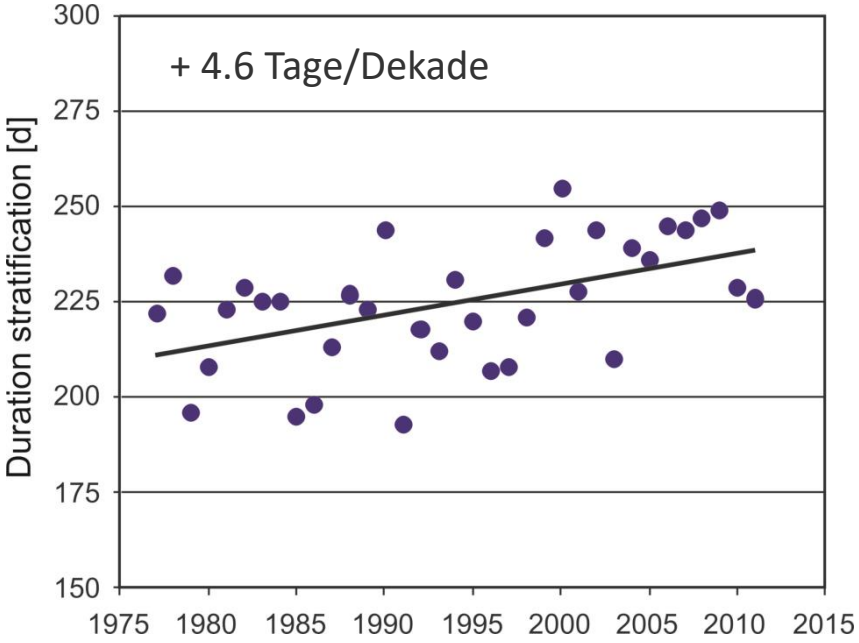
Schneider & Hook (2010): Geophysical Research Letters

Klimaerwärmung: Einfluss auf Schichtung

Oberflächentemperatur (Jahresmittel)



Dauer Sommerschichtung



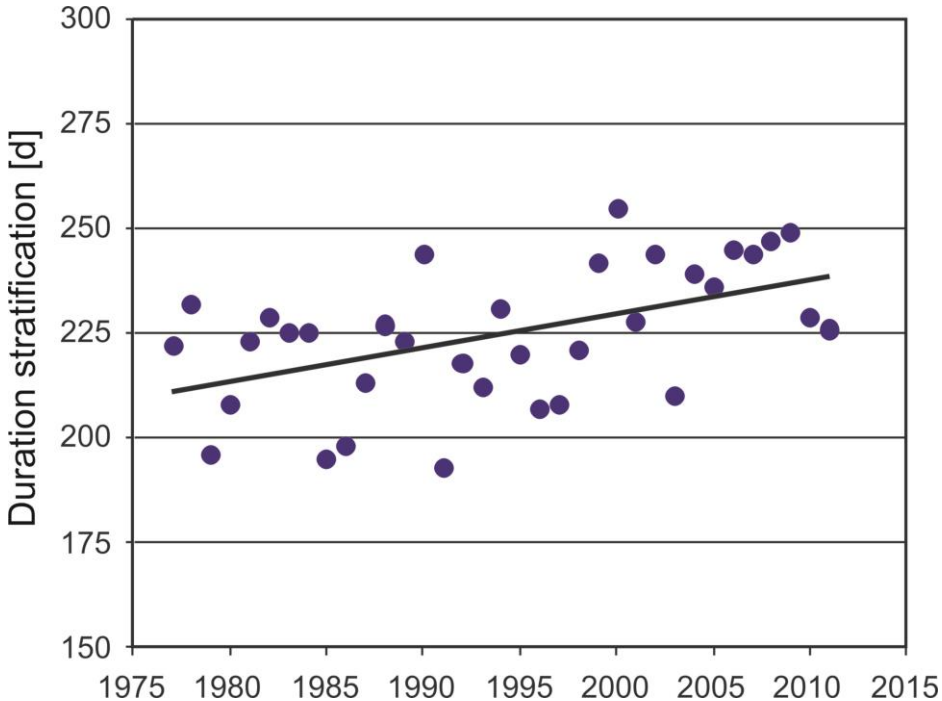
Daten: UFZ/IGB/LHW

Arendsee (Altmark)

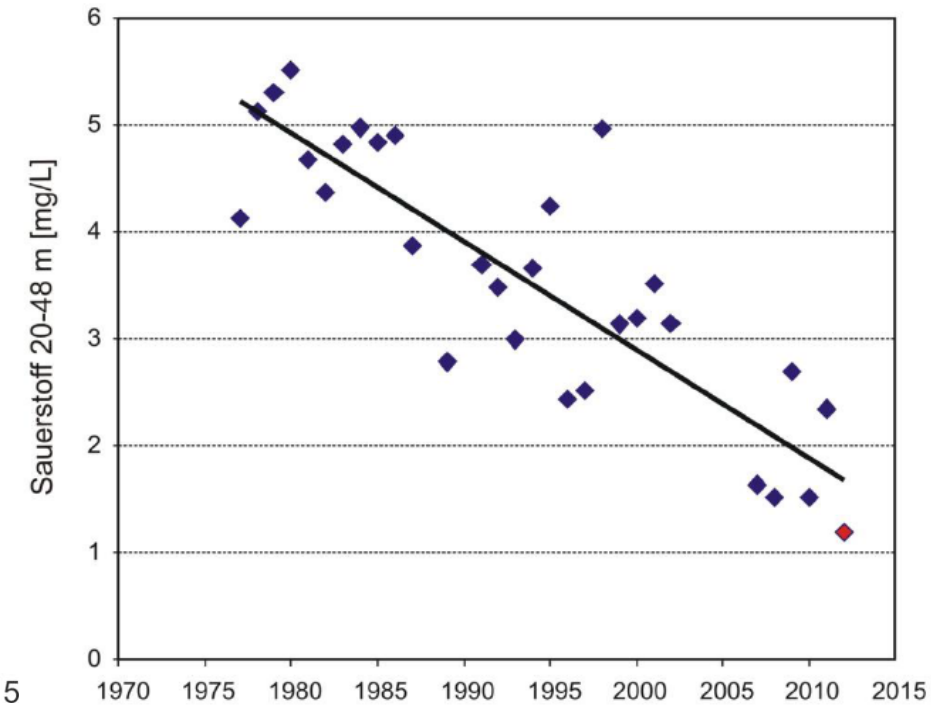
Die Sommerschichtung verlängerte sich zwischen 1976 bis 2012 um fast 30 Tage (Beginn: 17 Tage früher)

Klimaerwärmung: Trend Sauerstoff im Tiefenwasser

Dauer Sommerschichtung



Sauerstoff Tiefenwasser

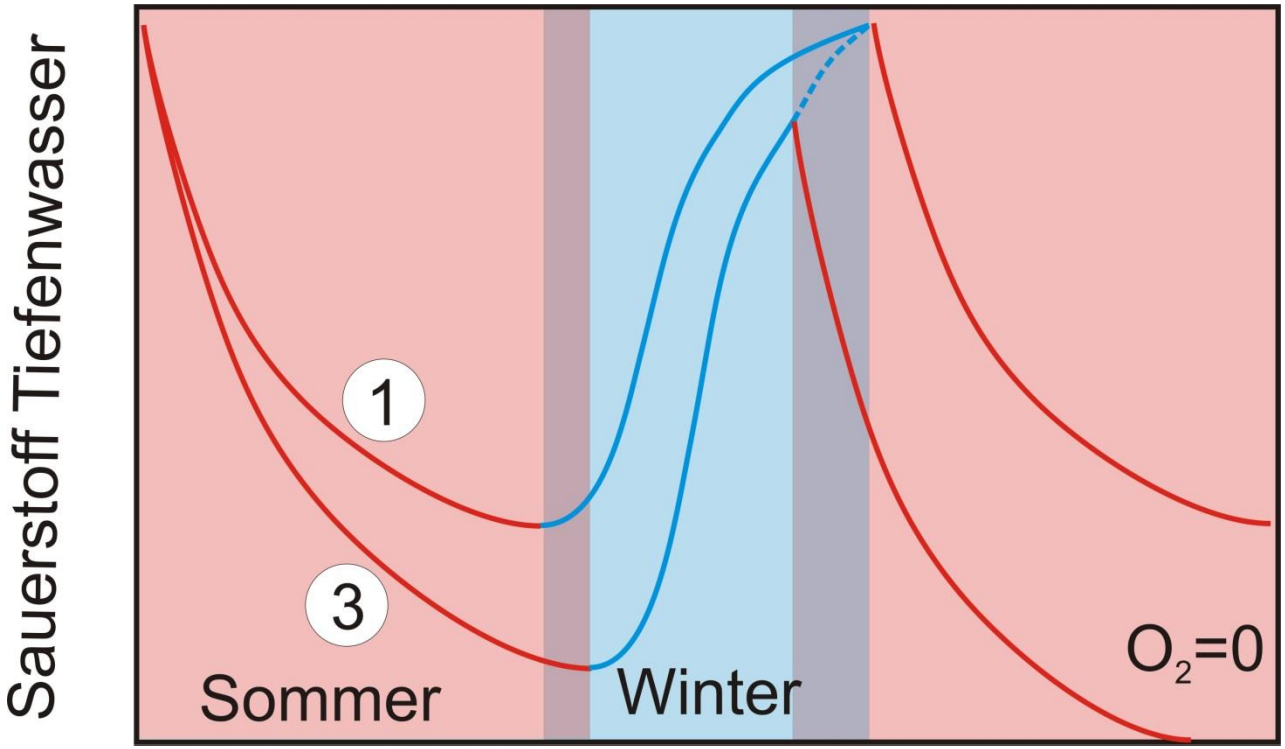


Daten: UFZ/IGB/LHW

Arendsee (Altmark)

Abnahme der Sauerstoffkonzentration im Hypolimnion am Ende der Stagnation

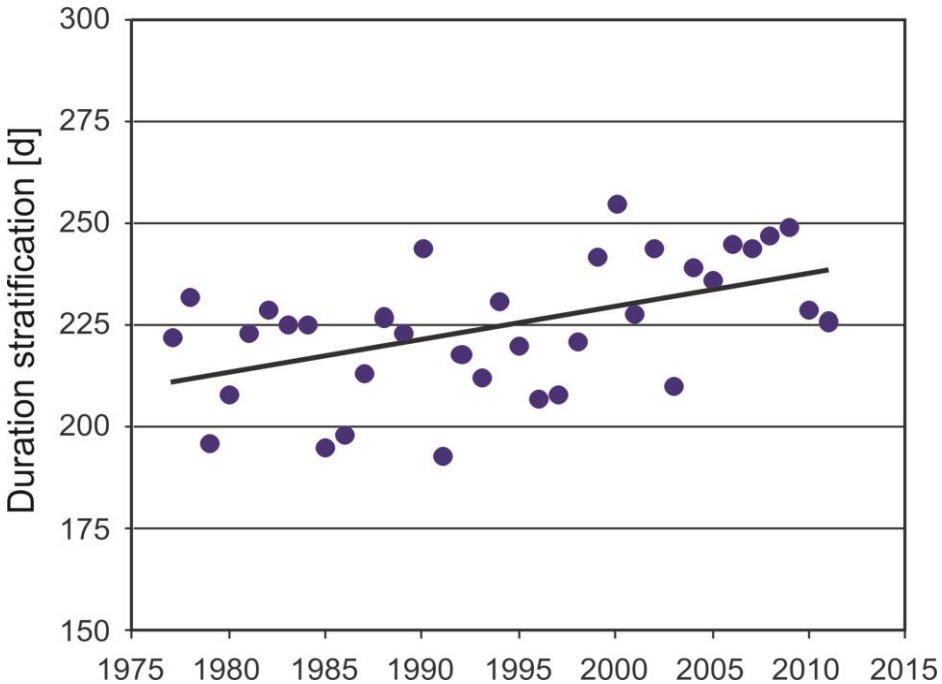
Modellvorstellung: Sauerstoffhaushalt



1. Szenario: Gleichgewichtszustand
2. Szenario: Zehrung im Sommer steigt, Auffüllung im Winter steigt
3. Szenario: Zehrung im Sommer steigt, Auffüllung steigt, **Sommerstagnation** wird länger

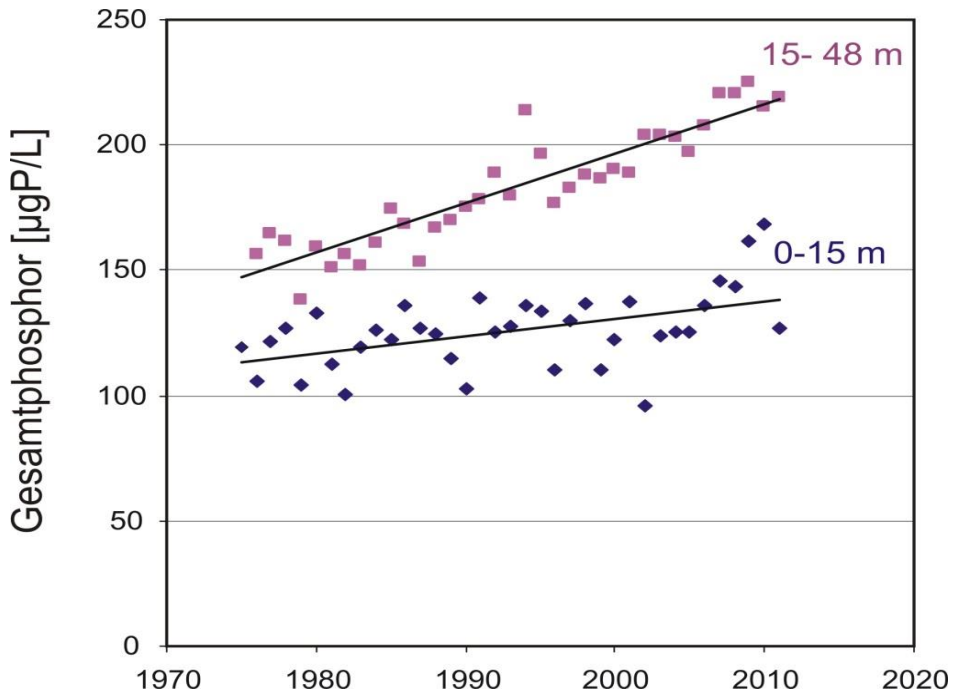
Klimaerwärmung: Trends Schichtung und Phosphor

Dauer
Sommerschichtung



Arendsee (Altmark)

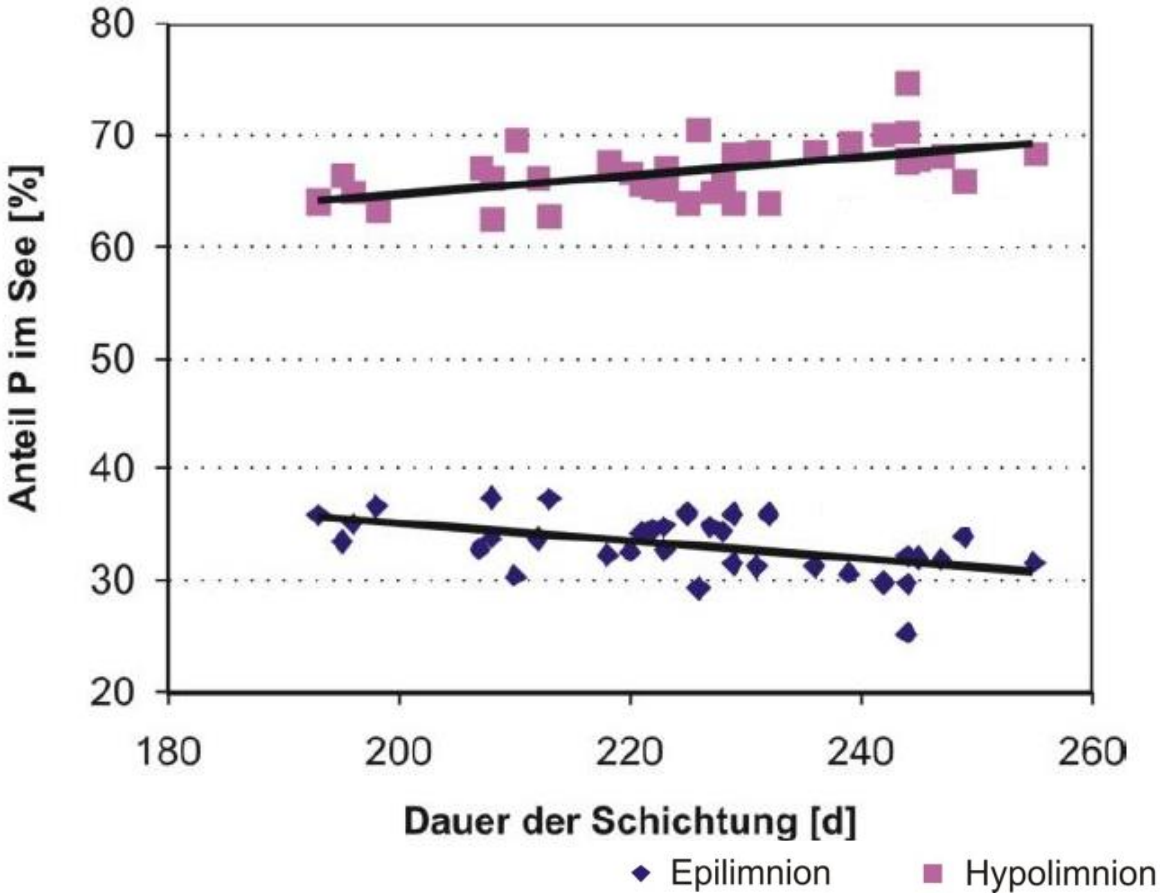
Phosphor
im Epi- und Hypolimnion



Daten: UFZ/IGB/LHW

Phosphorkonzentration steigt im Hypolimnion schneller als im Epilimnion

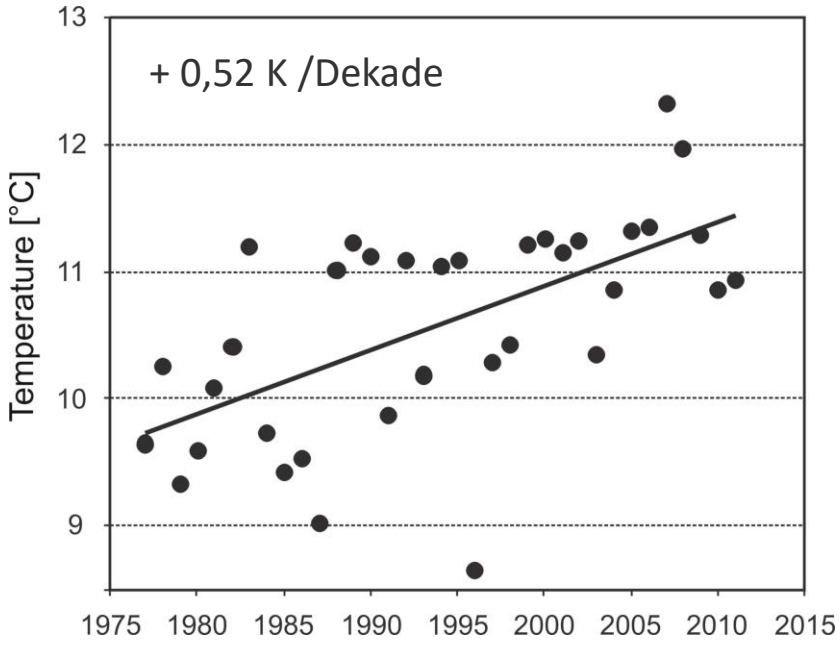
Dauer der Schichtung und Phosphorverteilung



Längere Schichtung: Mehr Zeit für P-Verluste im Epilimnion durch Sedimentation und für nachfolgende Akkumulation im Hypolimnion durch Rücklösung

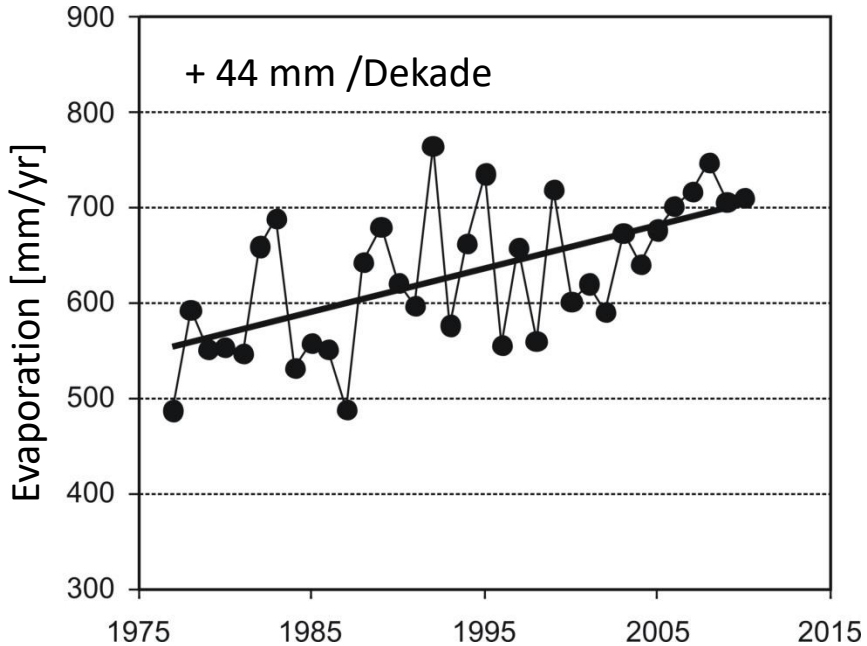
Klimaerwärmung: Verdunstung und Phosphor

Oberflächentemperatur (Jahresmittel)



Arendsee (Altmark)

Verdunstung Seeoberfläche

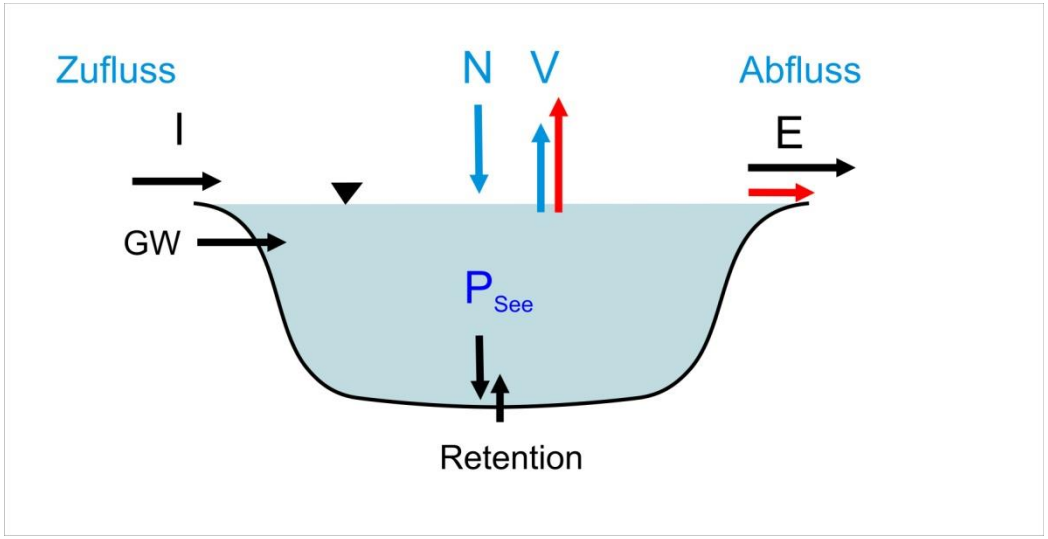


Daten: UFZ/IGB/LHW

Dalton-Gleichung/Kombinationsverfahren Richter (1984)

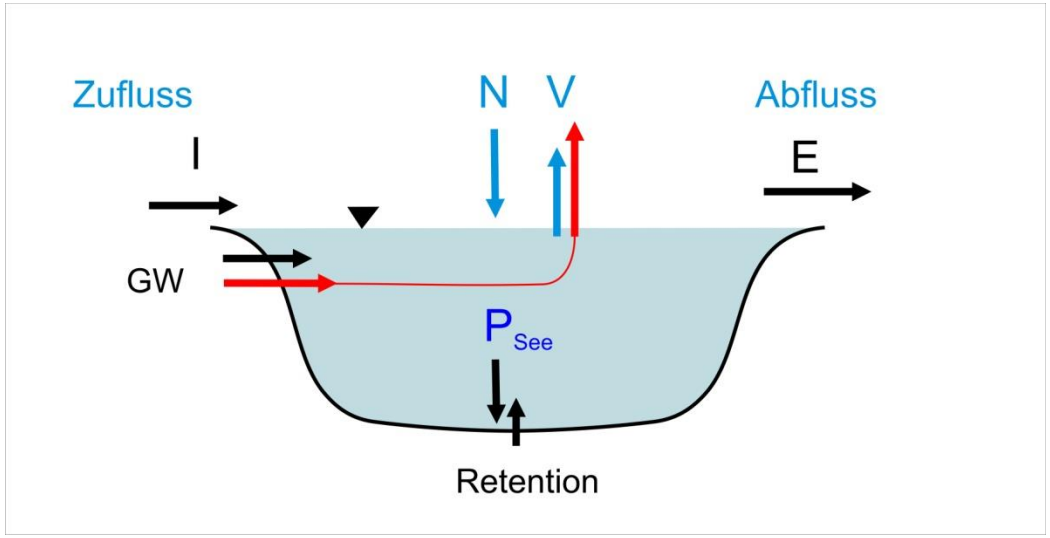
Die Verdunstung stieg zwischen 1977 bis 2010 um ca. 150 mm.

Klimaerwärmung: Verdunstung und Phosphor



Steigende Verdunstung

Geringerer Abfluss

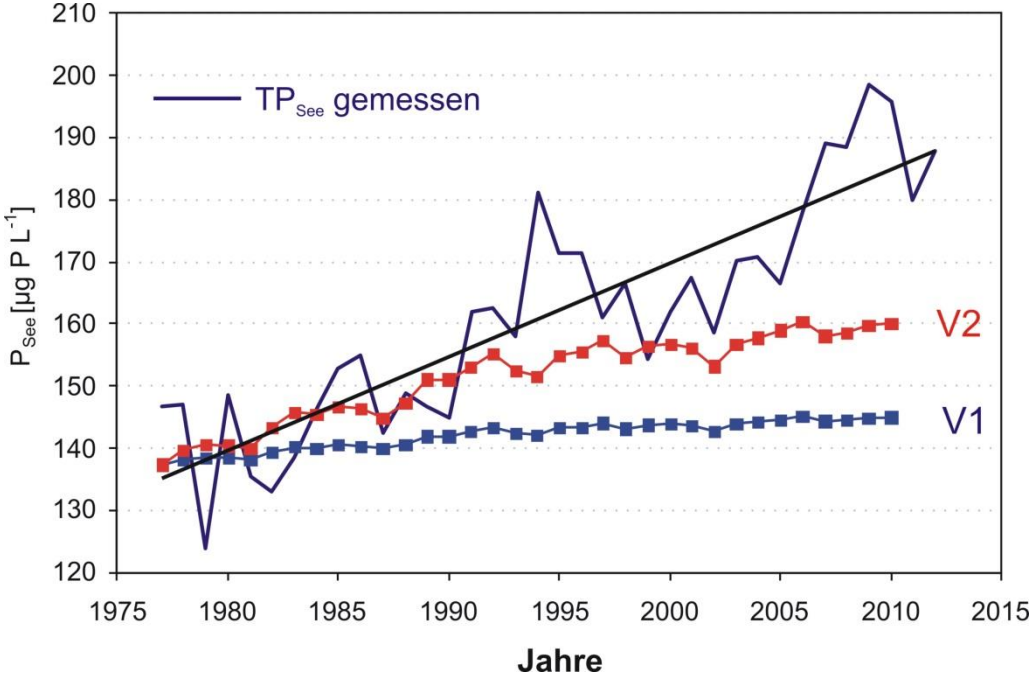


Abfluss bleibt konstant
Import über GW steigt
Verweilzeit wird geringer

Berechnung von Szenarien

Einbox-Modell (Imboden & Gächter 1988)

Klimaerwärmung: Verdunstung und P-Haushalt



Kompensation steigender Verdunstung durch

V1 geringeren Abfluss

V2 50 % geringeren Abfluss und 50 % gesteigerten GW-Zufluss

Knapp 50% des P-Anstiegs können mit durch Klimaänderung bedingtem Anstieg der Verdunstung erklärt werden (Szenario V2)

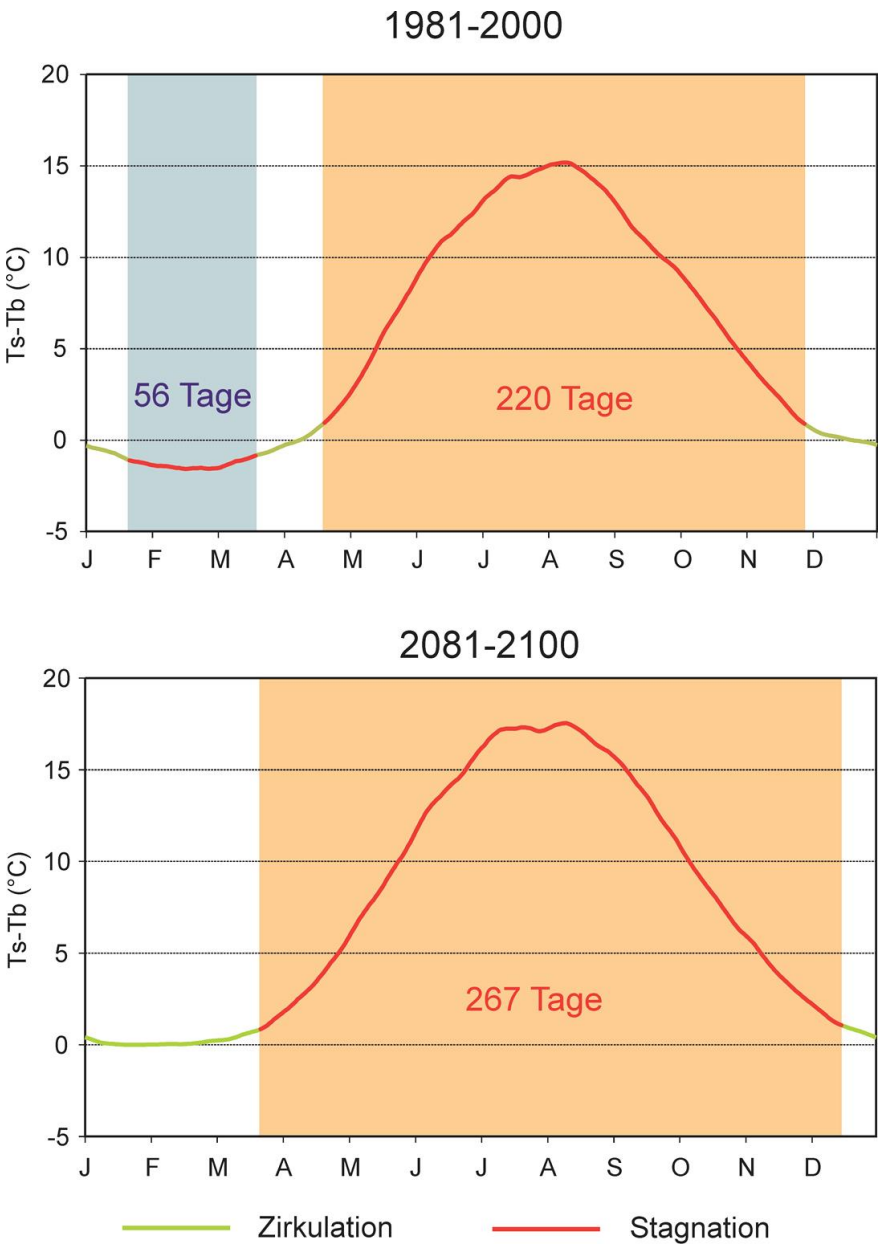
Blick in Zukunft: Schichtung Arendsee

Schichtungstyp

dimiktisch

↓

monomiktisch



Blick in die Zukunft: Schichtung Müggelsee

Schichtungstyp

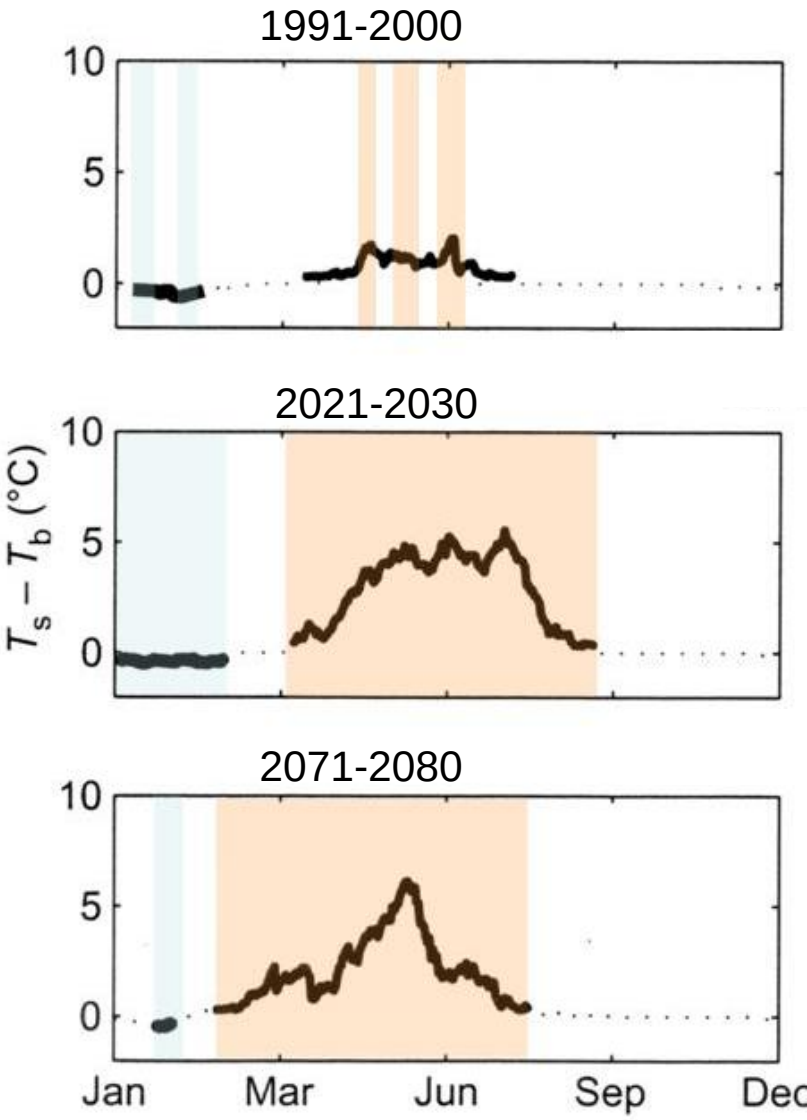
polymiktisch

↓

dimiktisch

↓

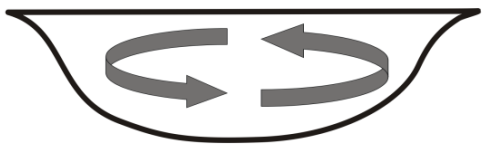
dimiktisch



Kirillin et al. (2011), Boreal Env. Res.

Auswirkungen der Klimaerwärmung

ungeschichtet



Flachsee

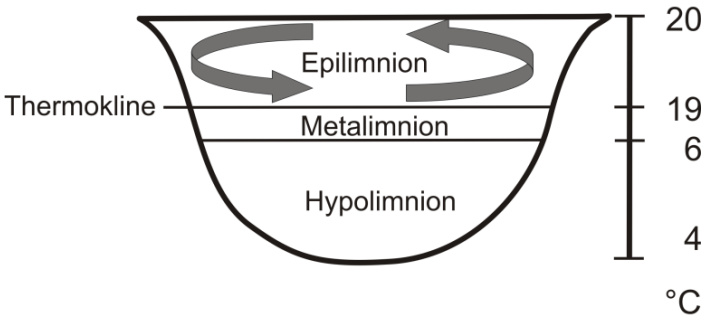
Temporäre Schichtung

Kurzfristige P-Akkumulation

Kritische Sauerstoffkonzentrationen wegen hoher Temperatur und starkem Sedimenteinfluss

Hohe Produktivität und Fischsterben

geschichtet



Tiefer See

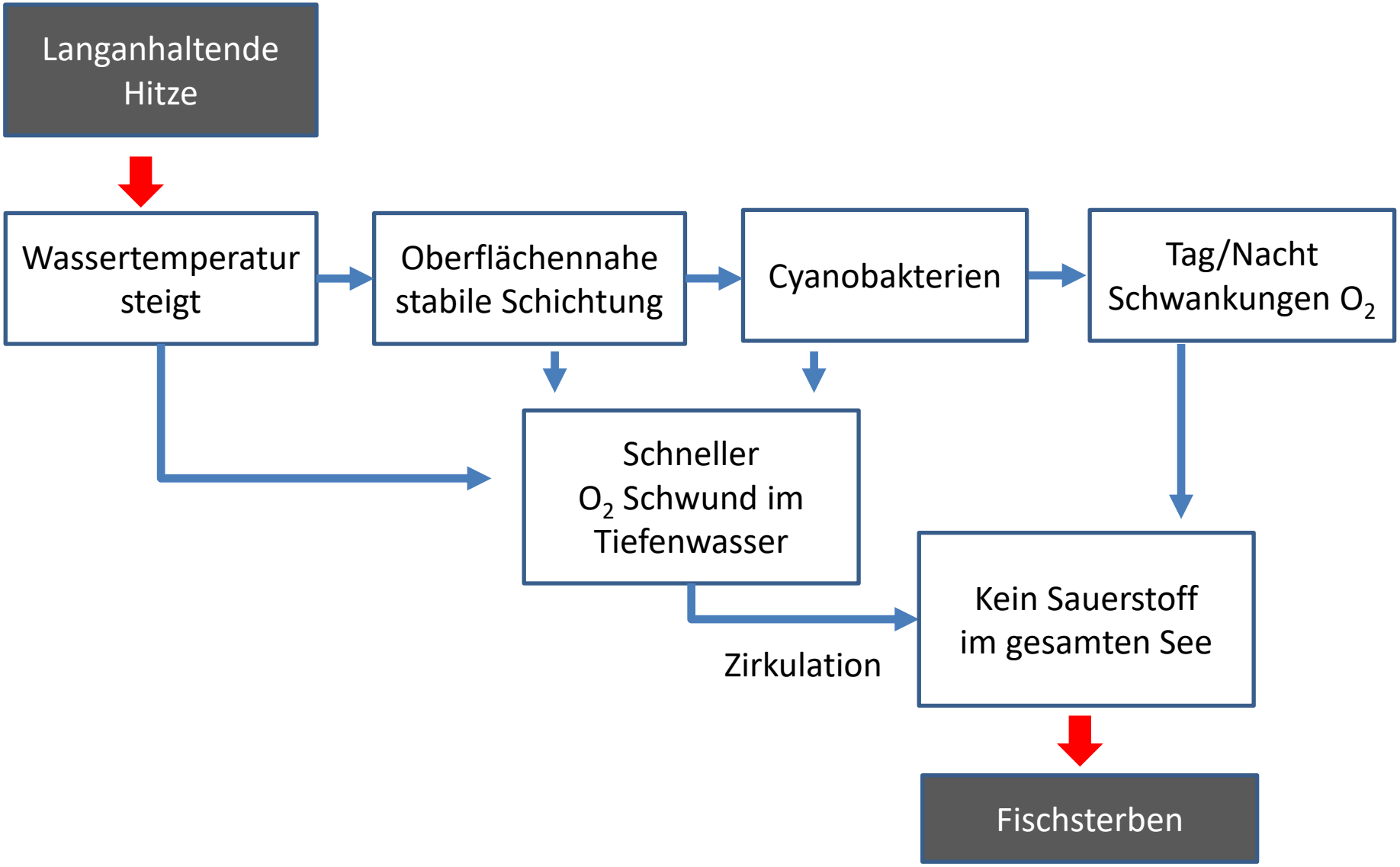
Stabilere und verlängerte Schichtung

Tiefenwasser wirkt als Falle für Phosphor

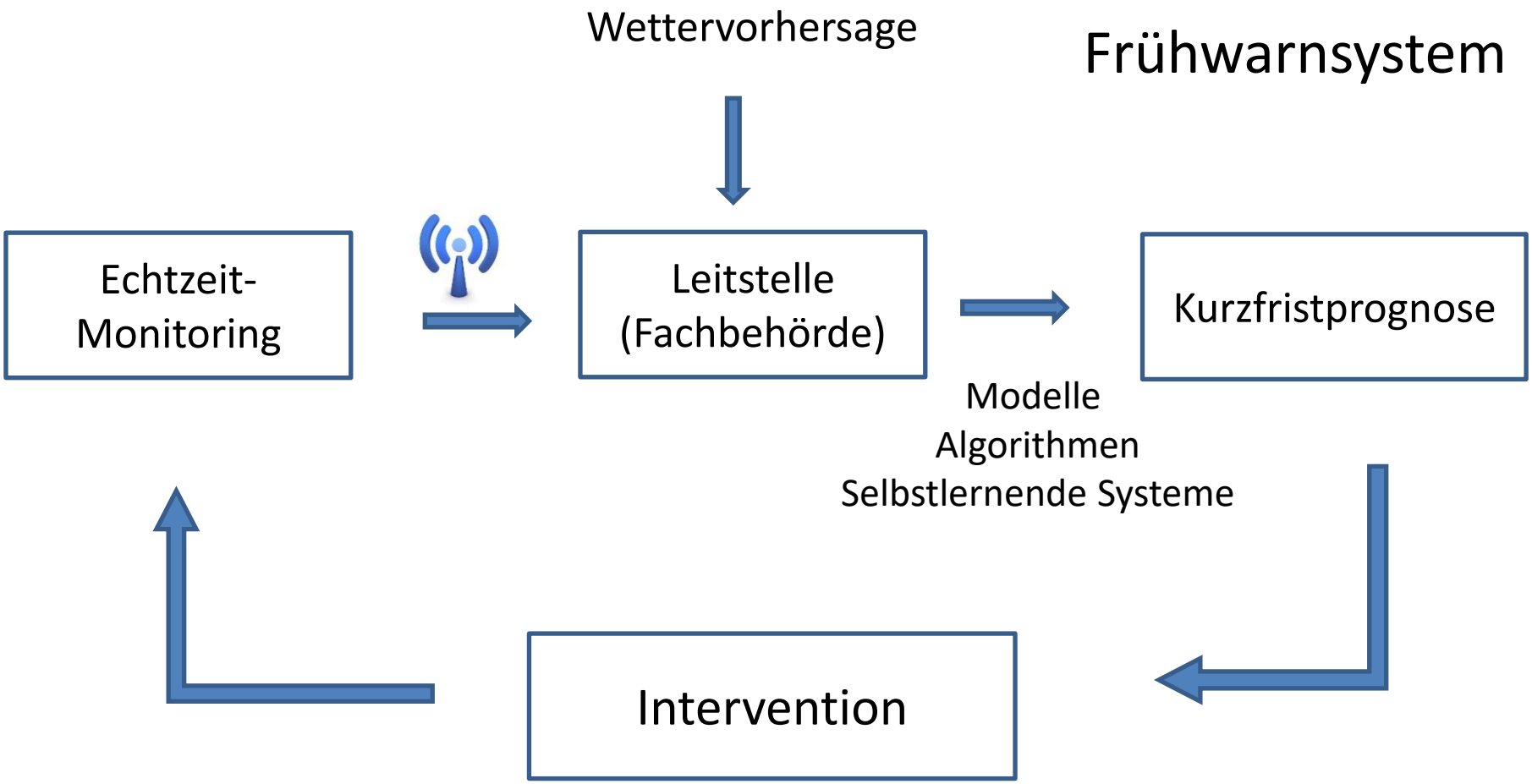
Risiko für Anoxie im Tiefenwasser steigt

Produktivität kann abnehmen

Wirkkette: Fischsterben in Flachseen

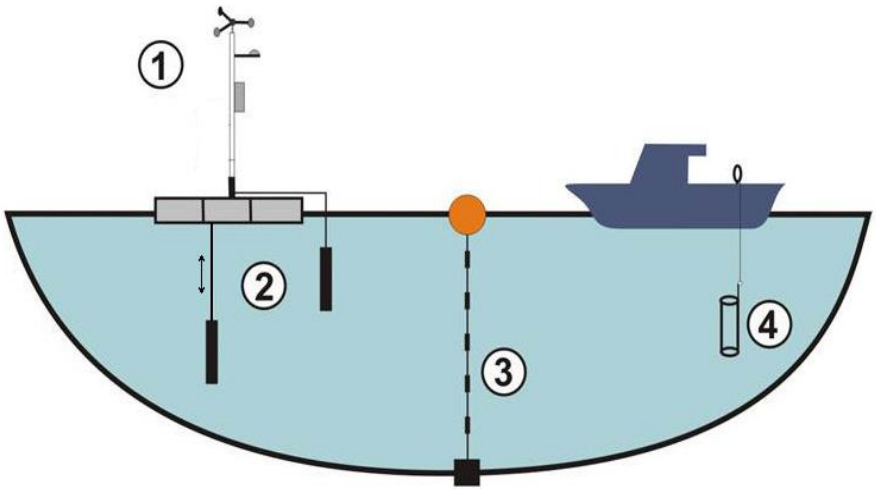


Was könnte man tun?



Interaktives Management: Beispiel Tegeler See, PEA und Belüftung

Klima-Monitoring



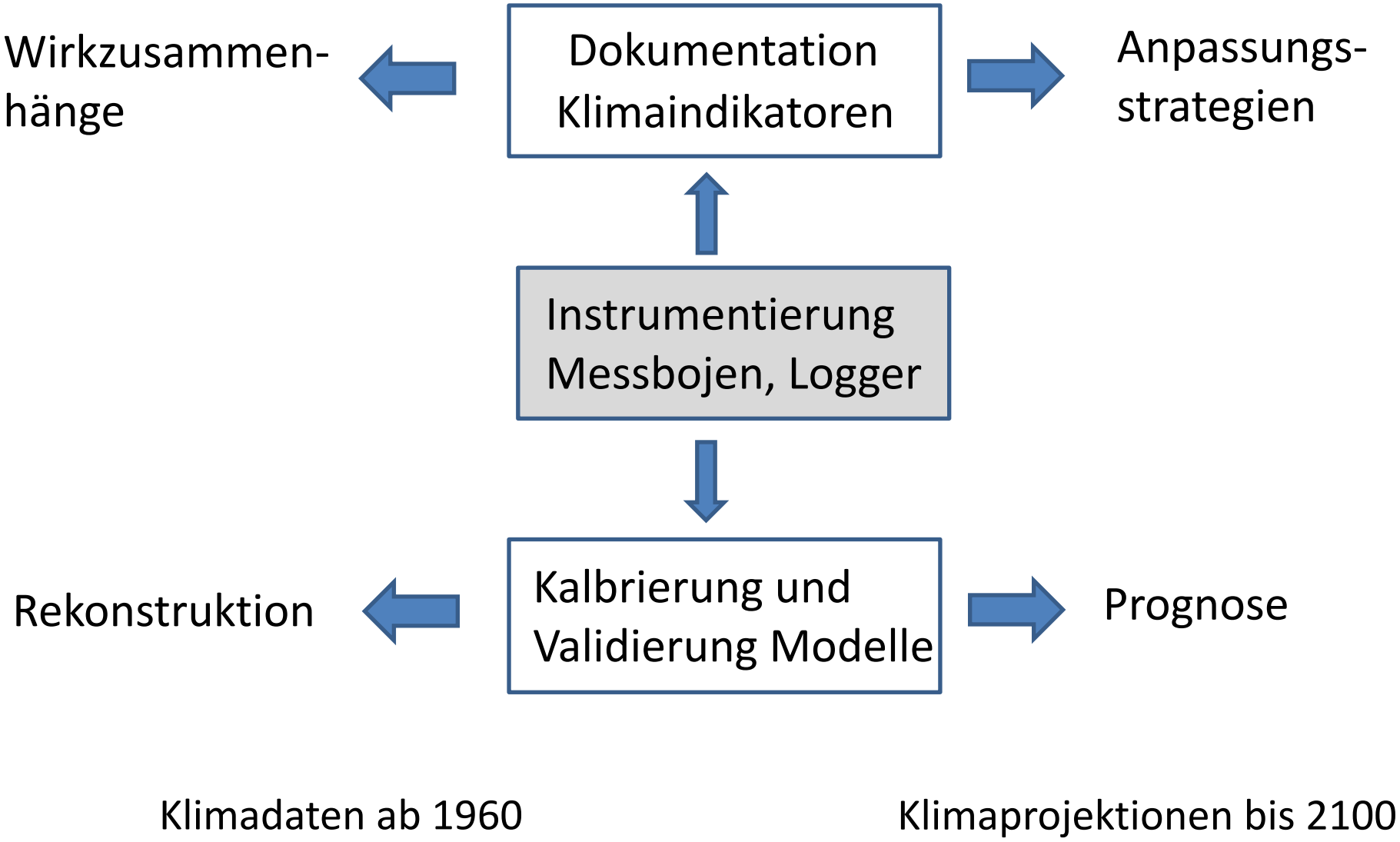
① **Wetterstation**
T_L, NN, LF%, Wind, Globalstrahlung
10 min

② **Multiparametersonde**
T_W, pH, Lf, O_2, Trübung, Chl. a, Phycocyanin
10 min

③ **Thermistorkette**
Optodenkette
T_W, O_2
10 s

④ **Routine-Probenahmen**
ST, TP, SRP, Chl a, Phytoplankton u.a.
2-4 Wo

Klima-Monitoring



Fazit: Klimaeffekte auf Seen

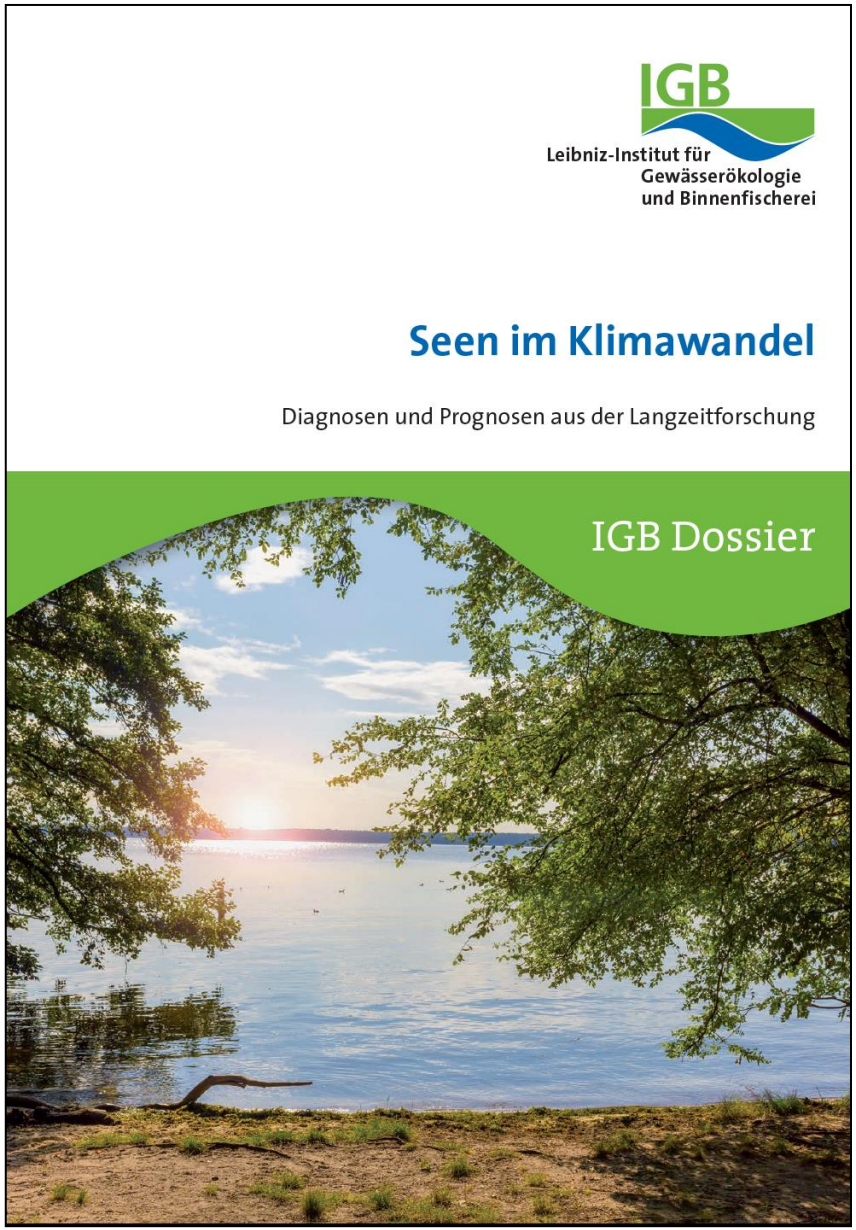
Die Folgen des Klimawandels sind an Seen gut zu erkennen. Je nach Typ, Einzugsgebiet und Region reagieren sie unterschiedlich. Nicht alle Folgen sind negativ.

Klimabedingte Extremereignisse können zu einem Regimewechsel (Meromixis, Phytoplanktondominanz) oder zu ökologischen Katastrophen (Fischsterben) führen.

Bei vielen Gewässern verstärkt der Klimaeffekt die Eutrophierung bzw. dessen Symptome. Die Erreichung des guten ökologischen Zustandes macht noch mehr Anstrengungen zur Reduzierung der Nährstoffeinträge erfordern und macht **Anpassungsstrategien** (z.B. Fischbesatz) notwendig.

Eine Begrenzung des weltweiten Temperaturanstiegs sichert auch die Existenz sowie vielfältige Nutzformen unserer Gewässer.

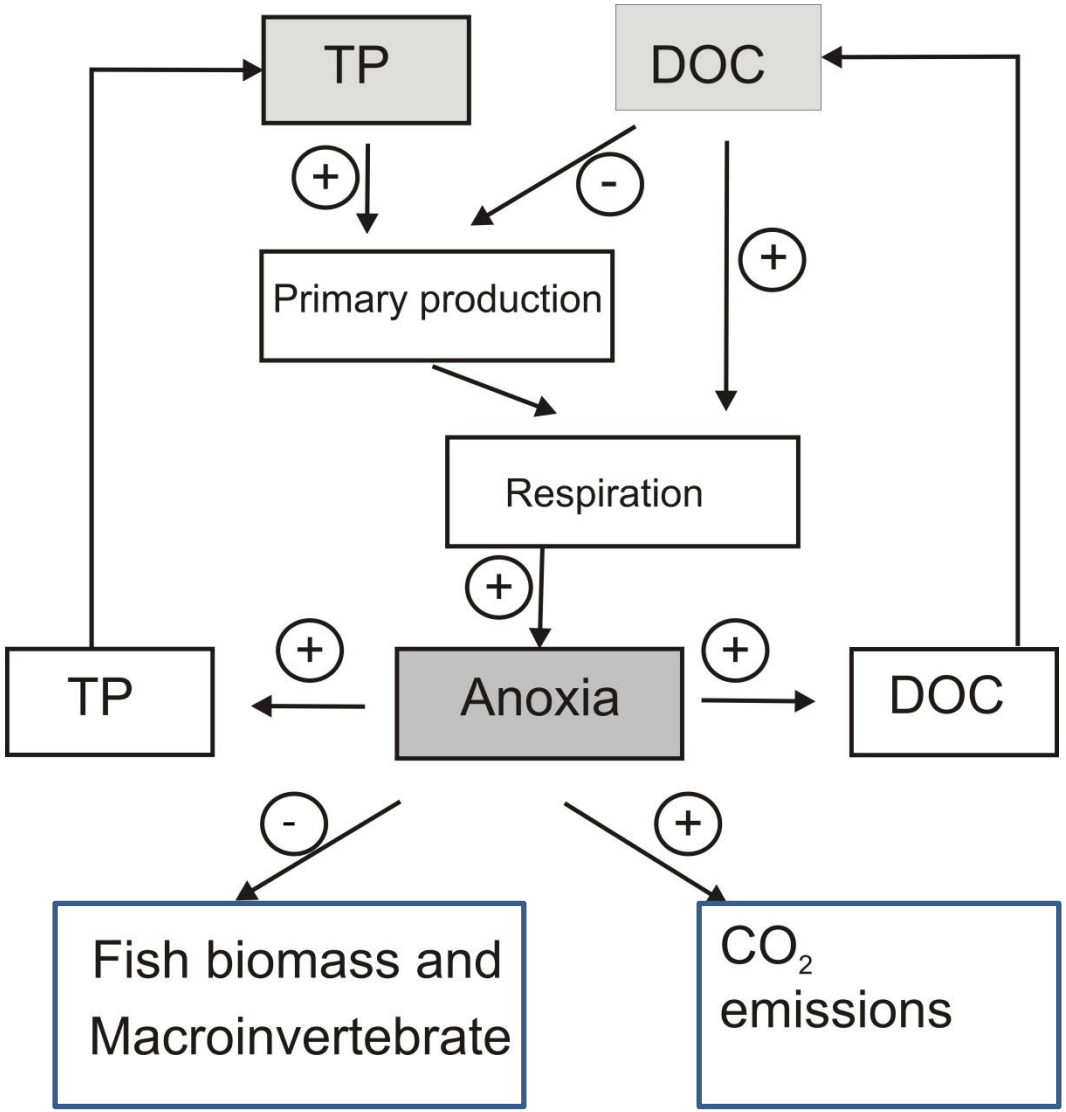
Vielen Dank für´s Zuhören!



Kontakt: hupfer@igb-berlin.de

2018

Wate level fluctuation and organic carbon



simplified according Brothers et al (2014)