

Neubewertung und Therapien für den Großen Stechlin

Was ist machbar?

Heribert Rustige

Said Yasseri

Klaus-Dieter Wolter

Maira Mucci

Karin Finsterle

Gertrud Nürnberg

Friederike Möbius

Martin Krappe

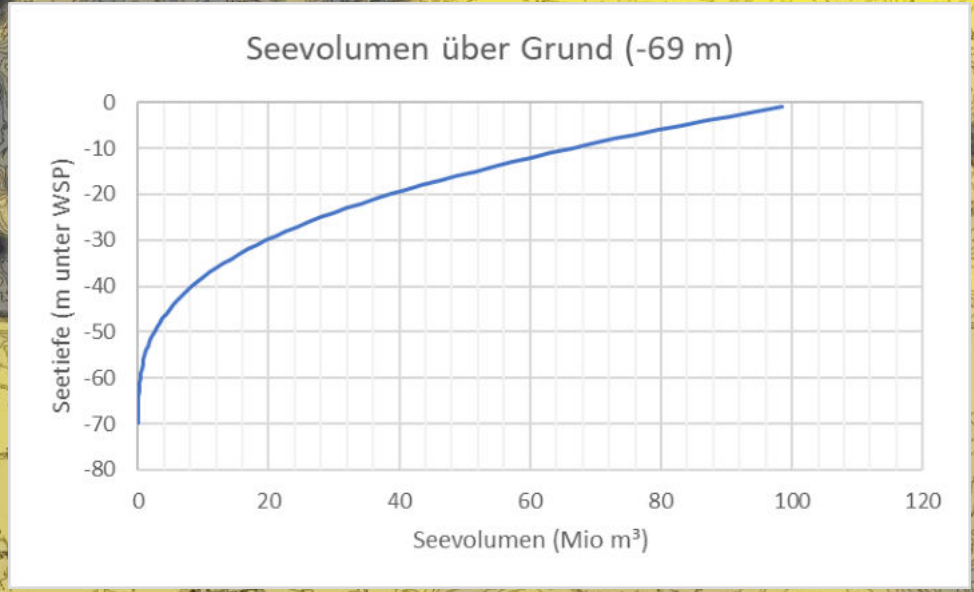
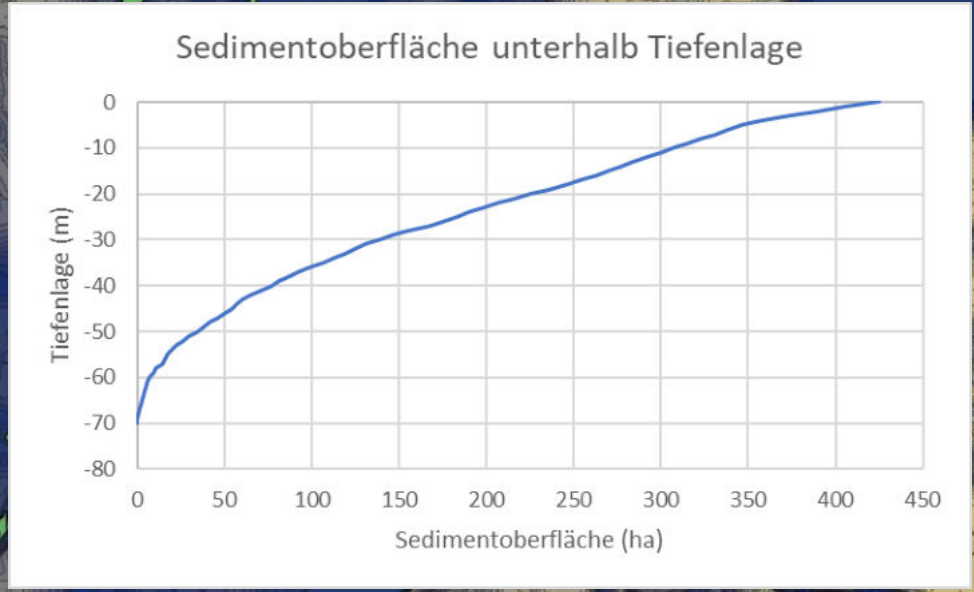
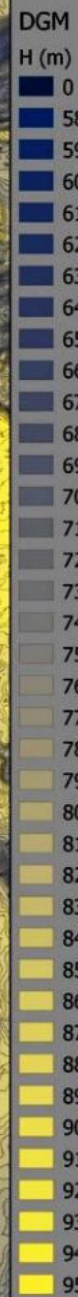
Ariane Nowak

Jens Nowak

Zustandsbewertung - Stand 2023

Morphometrie: Grundwasserbecken mit künstlicher Verbindung zu Dagowsee und Nehmitzsee. Begrenzung des höchsten Wasserspiegels durch Wehr im Polzowkanal unterhalb vom Nehmitzsee.

- Stauhöhe beeinflusst Wasserhaushalt des Sees und des angrenzenden Grundwasserkörpers
- betroffen sind verbundene grundwasserabhängige landseitige Ökosysteme und ggf. Siedlungen
- Fließrichtung zwischen verbundenen Seen kann sich ändern und damit auch der Zustrom von Nährstoffen und ggf. von Bindungspartnern



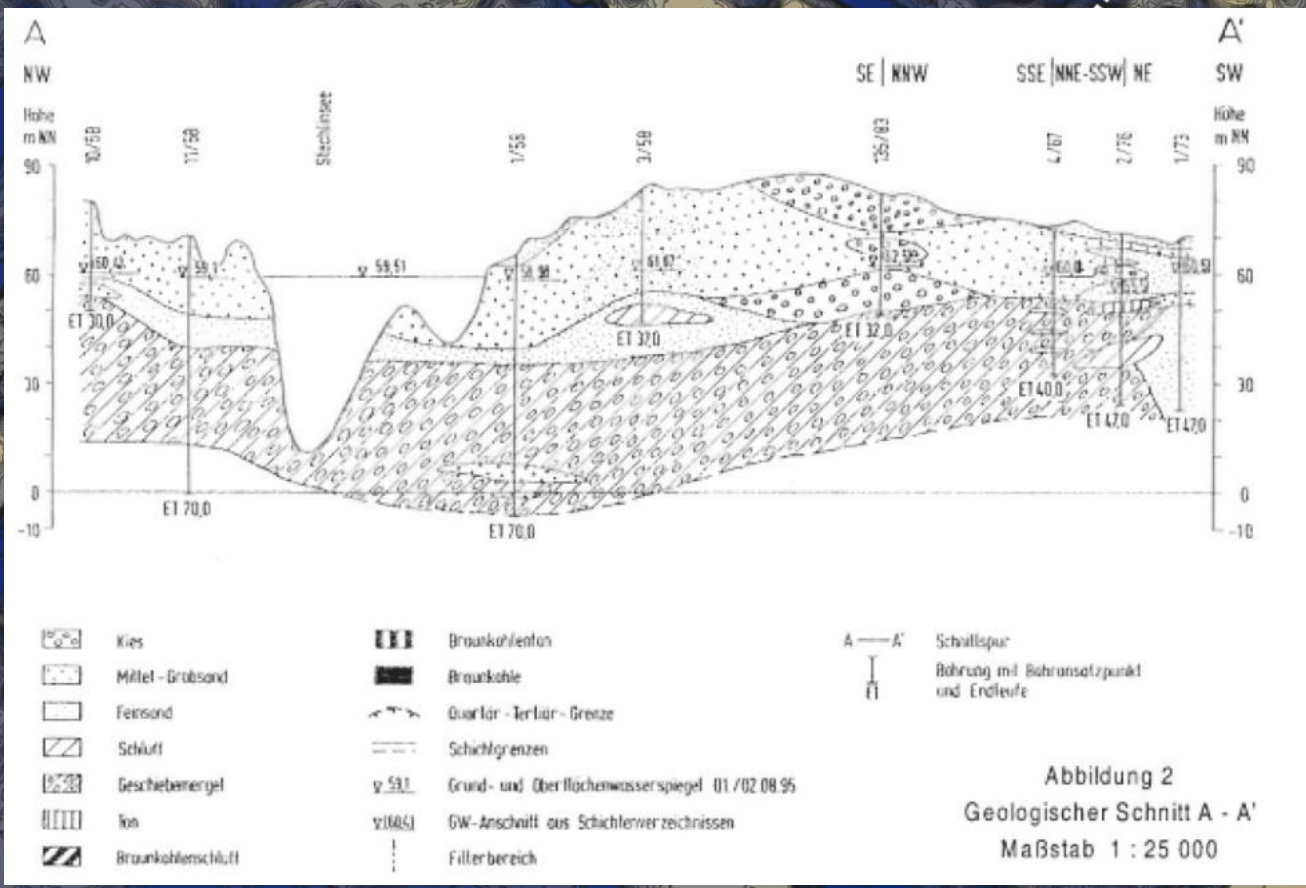


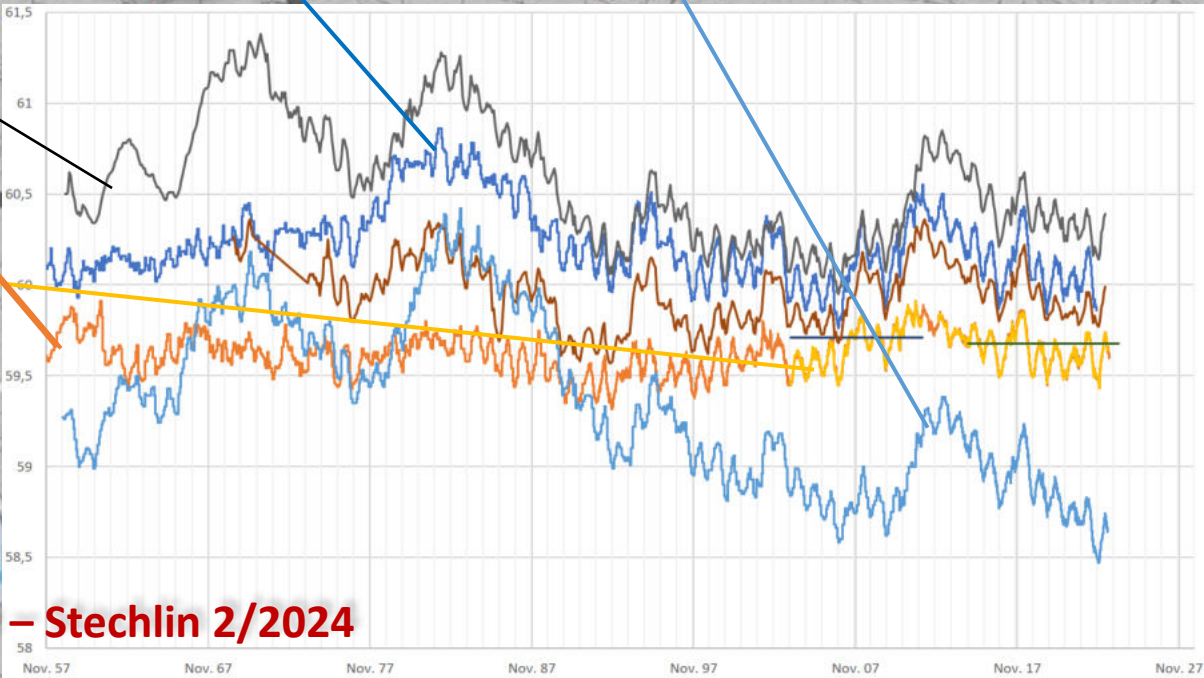
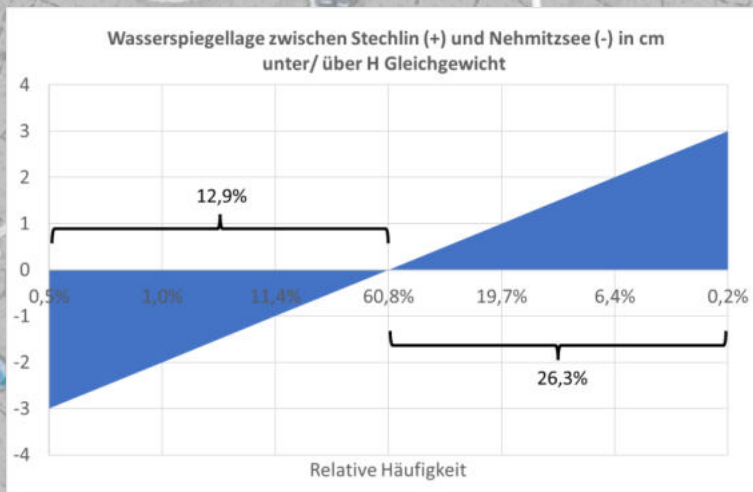
Abbildung 2
 Geologischer Schnitt A - A'
 Maßstab 1 : 25 000

Zustandsbewertung - Stand 2023

Wasserstände: Der Stechlinsee stellt mit einem Volumen von rund 100 Mio m³ ein großes Puffervolumen im Grundwasserleiter dar. Verdunstungsverlust i.M. > 70 cm/a. Wasserspiegel $\Delta H=1$ cm bedeutet $\Delta V= 40.000$ m³.

- Die Einzugsgebiete der Seen sind zusammenhängend zu betrachten (Richter, 1997) insbesondere durch das Stauwehr im Abstrom des Nehmitzsees
- Die Wasserspiegeldifferenzen zwischen benachbarten Seen im Gebiet zeigen potenziellen Wasseraustausch über das Grundwasser oder über direkte Verbindung an (Polzowkanal)
- Nehmitzsee und Stechlin haben bis zur Einstauhöhe (59,68 m HN) korrespondierende Wasserspiegel und gleichen sich gegenseitig aus, 26% (20 Jahre) Fließrichtung zum Nehmitzsee, 13 % Fließrichtung zum Stechlin

Zustandsbewertung - Stand 2023



ARGE Machbarkeitsstudie – Stechlin 2/2024

Zustandsbewertung - Stand 2023

Hydrologie: Eine vollständige Wasserbilanz des Stechlinsees ist derzeit nicht möglich. Dies erschwert die Analyse und die Planung von Maßnahmen.

- Klimawandel bewirkt erhöhte Verdunstung an Land und auf den Seen sowie abnehmende Grundwasserneubildung
- Bei abnehmenden Grundwasserständen vergrößert sich das Fließgefälle und die Austrittsfläche im Abstrom des Sees, wodurch der unterirdische Wasserabfluss des Sees größer wird
- 2018 wurde von Pöschke et al. eine relevante Verbindung zum unteren GW-Leiter postuliert, wodurch sich der Zufluss zum See um 10% bis 60% vermindern könnte
- Verschiedene GW-Modelle postulieren einen Zufluss zum See zwischen 0,1 Mio m³/a und 1,5 Mio m³/a

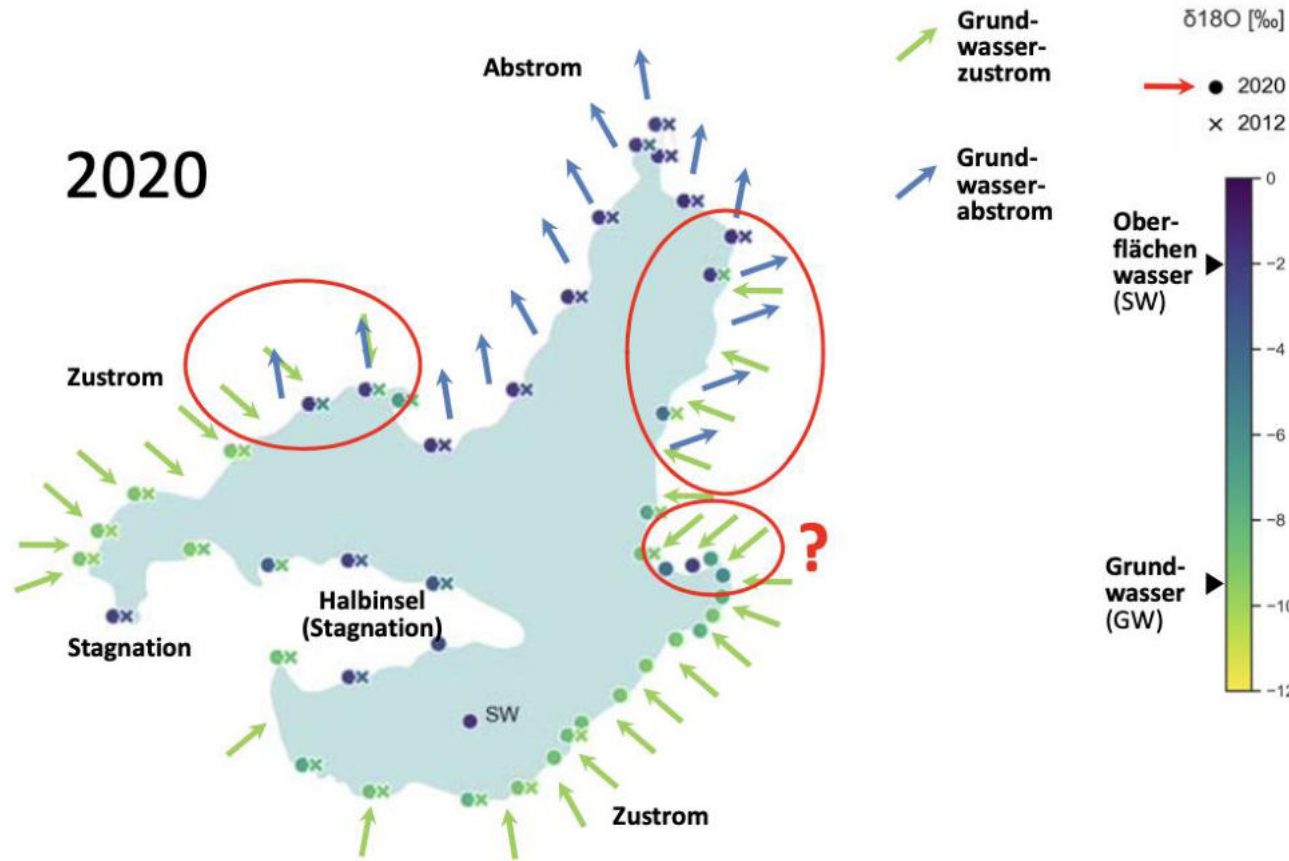
Wassereinzugsgebiet



ARGE Machbarkeitsstudie – Stechlin 2/2024

Wassereinzugsgebiet

Stabile Wasserisotope im Grundwasserzu- und -abstrom des Stechlin



12

Abb.: Anna Jäger

Lewandowski (2023)

Veränderungen des Grundwasser Zu- und Abstroms

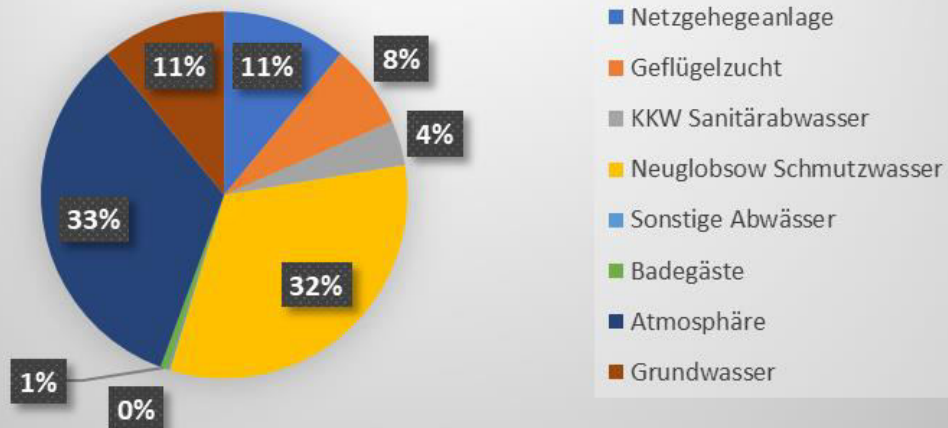
Grundwasserabstrom in Richtung Nord- und Nordost

z.B. Wasserspiegel des Peetschsees (und Gr. Glietzensee) deutlich abgesunken

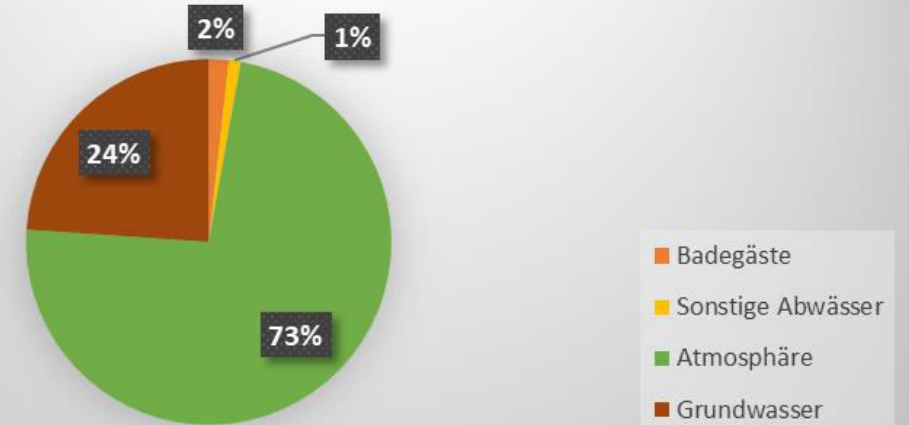
Zustandsbewertung - Stand 2023

Nährstoffquellen: Durchschnittliche atmosphärische Belastung, geringe Grundwassereinträge je nach Modellrechnung, große historische anthropogene Belastung von > 30 t Phosphor

Phosphoreinträge 1950-2022
Summe 33 t



Phosphoreinträge 1998-2022
0,2 t pro Jahr



Zustandsbewertung - Stand 2023

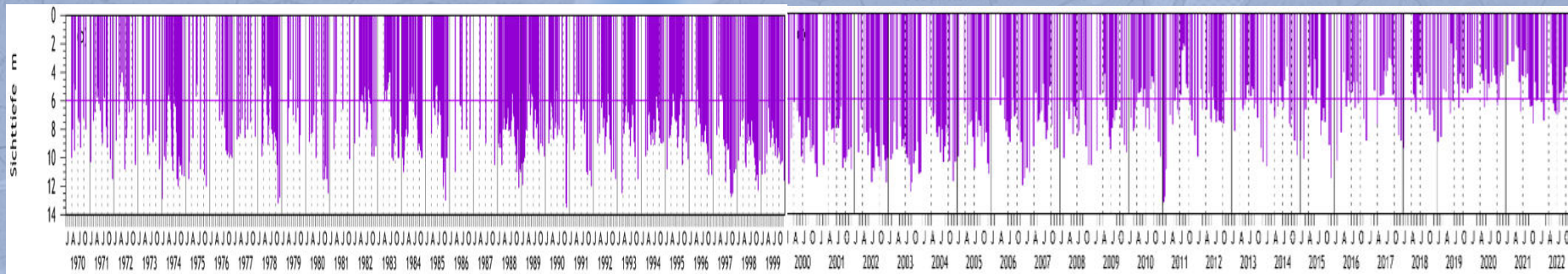
Anthropogene Belastung	Zeitraum	Belastung	Basis	P Emission im Zeitraum [kg]	Rechenwert Immision [kg]
Netzgehegeanlage (Forellen/ Karpfen)	1966-1974	80.000 Fische	50% Fremdfutter FQ 1,5 - 2 Entnahme P 0,2-0,3	1.000 - 6.400	3.700
Geflügelmast (Enten)	1965-1970	38.000 Enten	6,3 kg Futter/Ente FQ 2,1 Entnahme P 0,65	2.100 - 3000	2.500
KKW Sanitärabwasser (Absetzbecken)	1966-1973	680 Beschäftigte	0,5 EW/ Besch. Keine P-Eli, davon 80% in den See	1.100	880
KKW Sanitärabwasser (Tropfkörper + Verrieselung über Eisen)	1973-1978	680 Beschäftigte	0,5 EW/ Besch. 30% P-Eli, davon 80% in den See	550	440
Neuglobsow Abwasser (Einwohner + Touristen)	1950-1984	875 EW	430 E und im Mittel 445 EW Tourismus, 50% in den See	21.718	10.900
Neuglobsow Badegäste	1950-1984	400 BG	100 d/a 74 mg P/BG/d	216	220
Sammelgruben bei mobiler Abfuhr	1985-2023	30 EW	10% Verlust, davon 80% in den See	80	60
Summe	1950-2023				18.700

Zustandsbewertung - Stand 2023

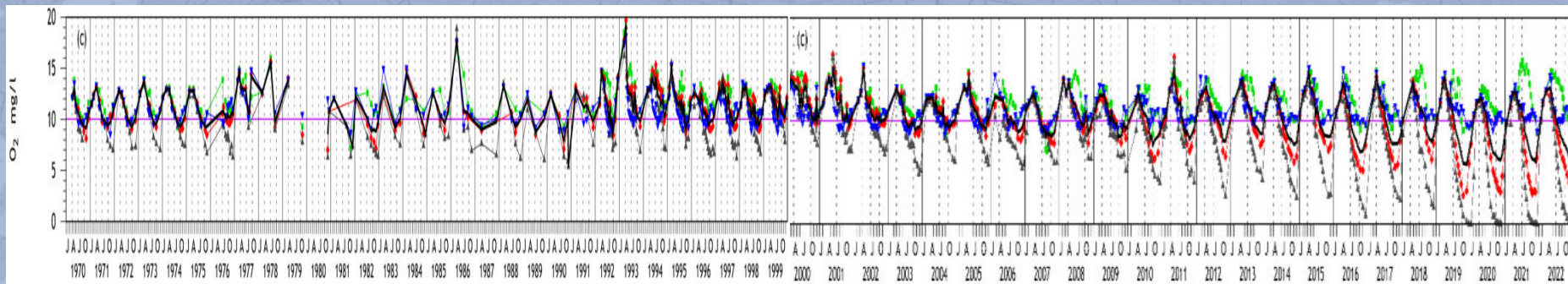
Stechlinsee Hauptbecken Wasserchemie - volumengewichtete Mittelwerte (Daten IGB, eig. Bearbeitung)

Gesamtvolumen — Epilimnion 0-7,5 m — Unterer Hypolimnion 42,5-69 m — Oberes Hypolimnion 12,5-42,5 m — Metalimnion 7,5-12,5 m

Verringerte Sichttiefe



Zunahme von Anoxien über Grund

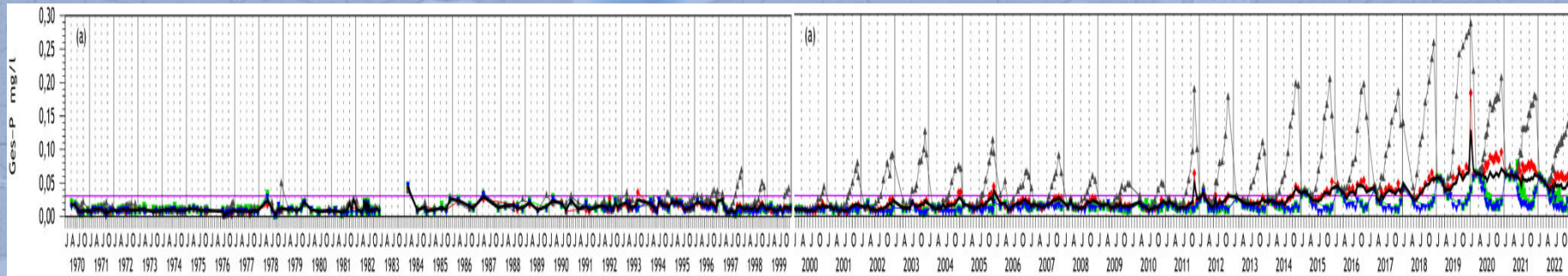


Zustandsbewertung - Stand 2023

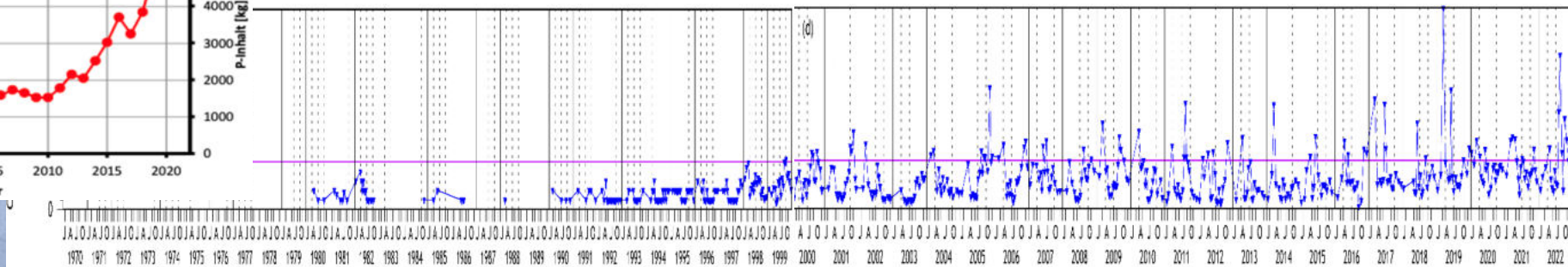
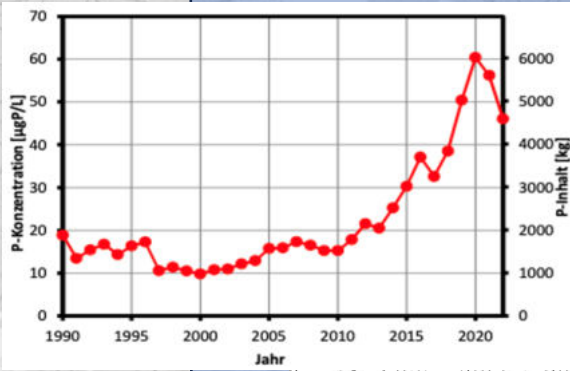
Stechlinsee Hauptbecken Wasserchemie – volumengewichtete Mittelwerte (Daten IGB, eig. Bearbeitung)

Gesamtvolumen — Epilimnion 0–7,5 m — Unterer Hypolimnion 42,5–69 m — Oberes Hypolimnion 12,5–42,5 m — Metalimnion 7,5–12,5 m

Zunahme des Phosphors



Zunahme der Algenbiomasse

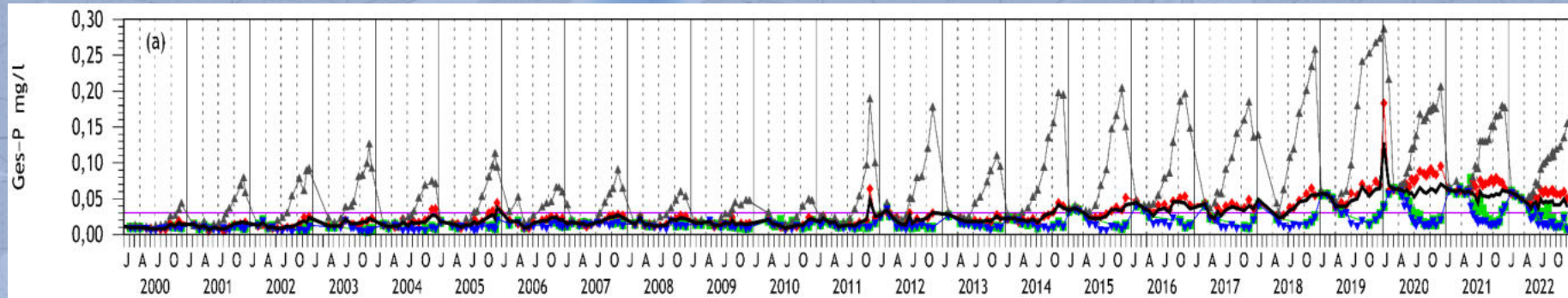


Zustandsbewertung - Stand 2023

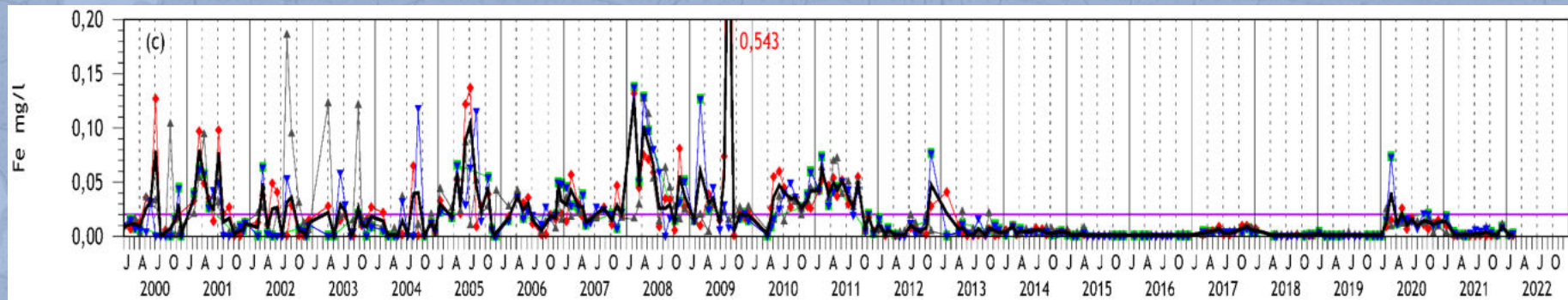
Stechlinsee Hauptbecken Wasserchemie - volumengewichtete Mittelwerte (Daten IGB, eig. Bearbeitung)

Gesamtvolumen — Epilimnion 0-7,5 m — Unterer Hypolimnion 42,5-69 m — Oberes Hypolimnion 12,5-42,5 m — Metalimnion 7,5-12,5 m

Zunahme des Phosphors



Abnahme der Eisenkonzentration



Zustandsbewertung - Stand 2023

Trophie: Phytoplankton verschlechtert sich, MZB immer noch sehr gut

- Phytoplanktonindex „gut bis sehr gut“ bis 2019 jedoch steigender Index weist auf Verschlechterung in Richtung „mäßig“.

Tabelle 3: PSI (Phyto-See-Index)-Bewertung mit Kenngrößen für den Stechlinsee 2007 – 2019, Quelle LfU

Jahr	PSI	Bewertung verbal	Metric Biomasse	Metric Algenklassen	Anzahl Indikatorarten	Gesamt-biovolumen (mm ³ /l)	Chl a (µg/l)	Maximum Chl a (µg/l)	Metric PTSI
2007	1,7	gut	2,34	1,51	5	2,78	6,10	12	0,7
2010	1,3	sehr gut	1,28	1,12	5	0,79	4,67	7	1,4
2014	1,4	sehr gut	1,50	0,50	7	0,89	4,60	9	2,2
2015	1,7	gut	1,69	1,53	11	0,81	5,43	12	1,8
2017	1,4	sehr gut	1,02	0,64	11	0,54	3,54	7	2,7
2019	2,4	gut	2,33	2,77	9	1,61	8,35	12	2,1

Die stechlinseespezifischen Zielgrößen für das Phytoplankton PSI-Index mindestens 0,6 und Artenindex (PTSI) mindestens 0,6 werden gegenwärtig nicht erreicht.

Zustandsbewertung - Stand 2023

Trophie: Phytoplankton verschlechtert sich, MZB immer noch sehr gut

- Zunahme fädiger Cyanobakterienarten seit 1996 zu beobachten

Planktothrix rubescens
Dolichospermum lemmermanni
Dolichospermum circinale
Dolichospermum mendotae
Planktothrix agardhii
Aphanizomenon flos-aquae
Aphanizomenon gracile
Dolichspermum solitarium
Dolichspermum spiroides var. longicellularis
Dolichspermum flos-aquae
Dolichspermum spiroides
Dolichspermum macrospora
Aphanizomenon issatschenkoi

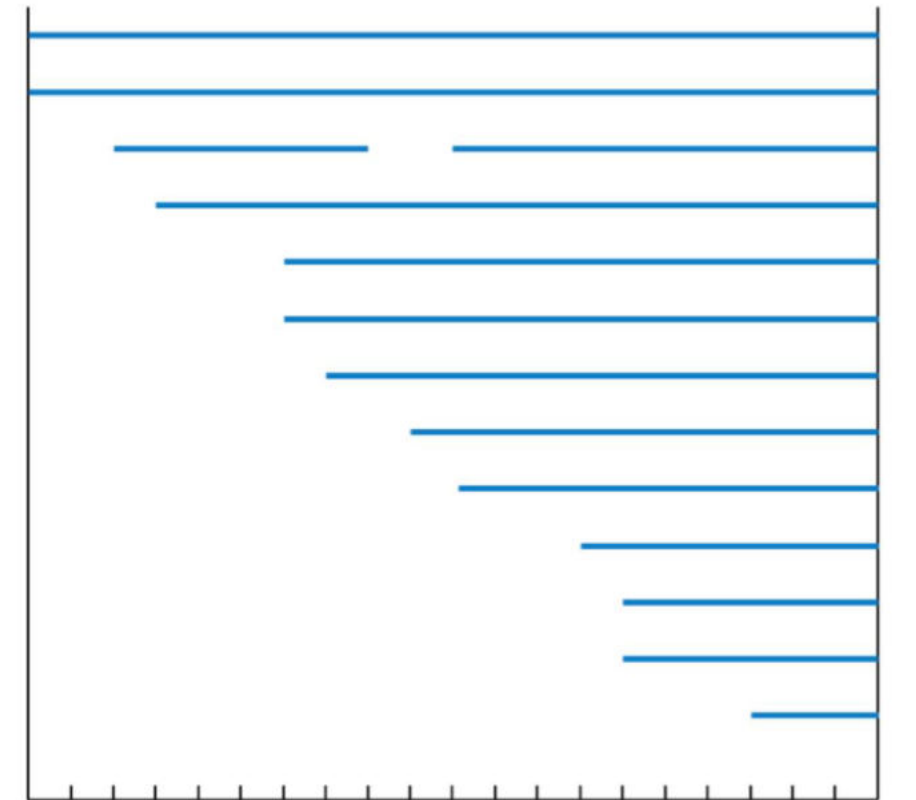


Abb. Selmečzy 2017

Zustandsbewertung - Stand 2023

Fischbestände: Seit den 1990er Jahren Zunahme von Abundanz und Biomasse um den Faktor 1,5 -2.

- Pelagial: Echolot IGB 1995-1997 → 60 kg/ha bzw. 26 t im See
jährliche Echolot IGB 2008-2022 → 108 kg/ha bzw. 45 t im See
- Litoral 0 – 6 m Tiefe: IGB 2001/2002 → 2,4 kg/ 100 m²
Benthische Netze IGB 2021 → 4,4 kg/ 100 m²
- Fischerei: Deutliche Zunahme der Flächenerträge für Kleine Maräne nach 1990, jedoch eher unabhängig von der o.g. Entwicklung der Populationsgrößen
- Aktuelle fischereiliche Entnahme 4 t/a, entspricht 24 kg Phosphor (0,4%)
- Keine belastbaren Zahlen über Vorkommen von Karpfen, jedoch werden sichtbare Wühlschäden im Pflanzenbestand berichtet → *Untersuchungsbedarf*

Zustandsbewertung - Stand 2023

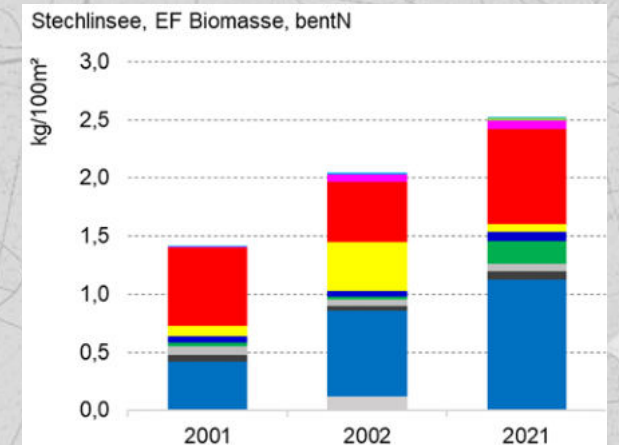
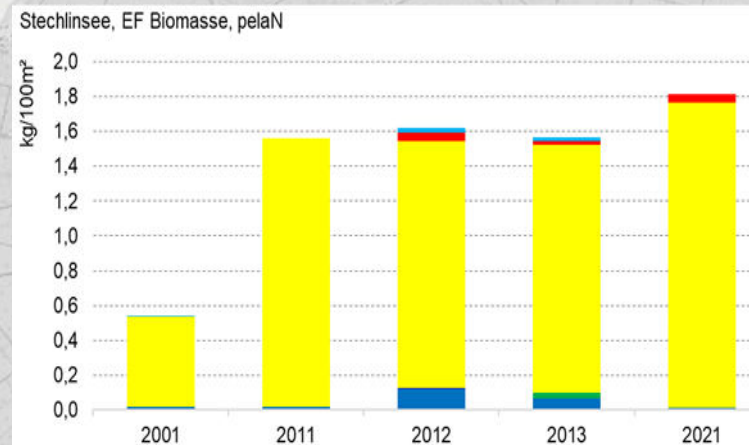
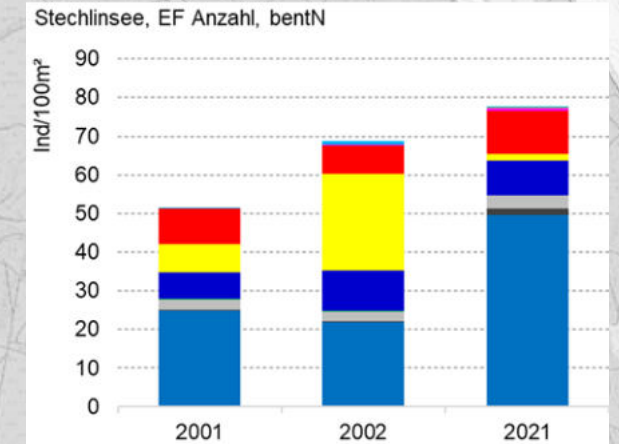
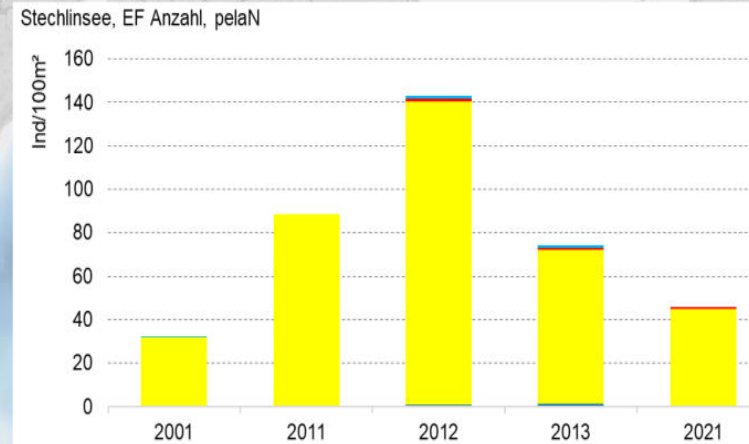
Fischbestandsmonitoring

- Kleine Maräne dominierende Art im Pelagial, deutliche Größenzunahme (Alter)



- Zunahme von Barsch und Plötze im Litoral

■ Aal	■ Aland	■ Barsch	■ Blei	■ Dreist. Stichling
■ Giebel	■ Gründling	■ Güster	■ Hecht	■ Kaulbarsch
■ Kleine Maräne	■ Moderlieschen	■ Plötze	■ Quappe	■ Rapfen
■ Rotfeder	■ Schleie	■ Schm.grundel	■ Steinbeißer	■ Stint
■ Ukelei	■ Zander	■ Andere		



Ritterbusch et. al 2022

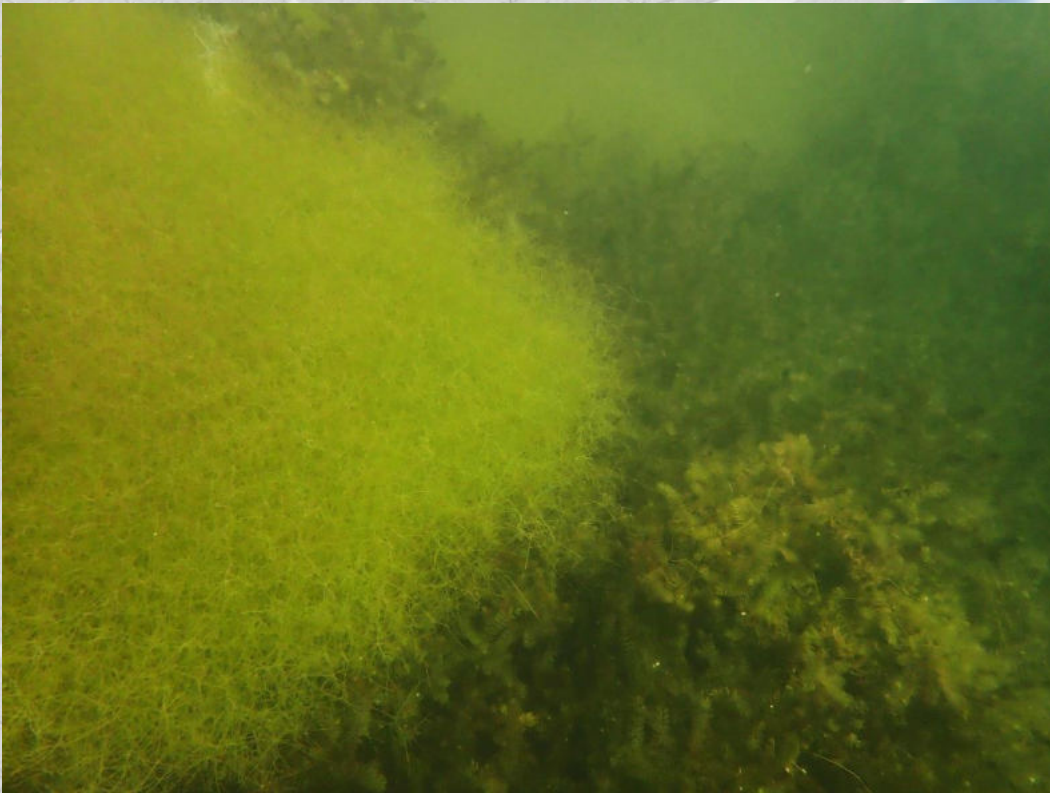
Zustandsbewertung - Stand 2023

Makrophytenbestände: Deutlicher Anstieg der unteren Makrophytengrenze (UMG) und Artenverschiebung zu beobachten.

- Verlust an besiedelter Fläche unterhalb angestiegener UMG ca. 5% -25%
- Auf der verbliebenen Fläche kein Verlust der Gesamtdeckung mit Makrophyten
- Artenverschiebung (2002 – 2023):
 - Zunahme eutraphenter Arten* Deckungsanteil von < 5% auf 20%,
 - Abnahme Characeen** Deckungsanteil von > 25% auf 10%
- * insbes. *Ceratophyllum demersum*, *Myriophyllum spicatum*; ** insbes. *Nitellopsis obtusa*
- Artenanzahl scheinbar konstant

Zustandsbewertung - Stand 2023

Makrophytenbestände: Systematische Untersuchung zum Einfluss von benthivoren, epiphytobenthophagen und phytophagen Fischen fehlt



Bilder: GbS Kratzeburg

Zustandsbewertung - Stand 2023

Untersuchungsbedarf

Wasser- und Phosphorbilanz:

- Einrichten einer Messstelle im Polzowkanal (Durchfluss und Beprobung auf P)
- Fortsetzung Sauerstoffisotopen-Methode zur Wasserbilanzierung
- **Untersuchung Eisendefizit im Stechlinsee/ Grundwasser**

Phosphor Freisetzungspotenzial in Sedimenten:

- Ergänzende Sedimentanalysen

Fisch- und Makrophytenbestände:

- Systematische Makrophytenaufnahme an 13 Transsekten
- Fischpopulation im Bereich der Wuchszone der Wasserpflanzen
- Systematische Erfassung der Wühlaktivitäten benthivorer Fische
- Kumreusen Versuch

Restaurierungsstrategie Stechlin

Maßnahmenarten

- **„No-Regret“:** vorgezogene einfache Maßnahmen mit direktem und indirektem großen oder kleinem Nutzen, die ökonomisch und ökologisch sinnvoll sind. D.h. auch wenn der angestrebte Zweck nicht garantiert werden kann, entsteht in jedem Fall ein Mehrwert.
- **Sofortmaßnahmen:** Maßnahmen, die kurzfristig umgesetzt werden können. Z.B. geringe genehmigungsrechtlichen Anforderungen, kurzer Planungszeitraum, geringe Risiken, Finanzierungsmöglichkeiten vorhanden
- **Mittel- und langfristig wirkende Maßnahmen:** Schwieriger in Umsetzung, Ggf. mit längerer oder wiederholter Anwendung

Restaurierungsstrategie Stechlin

Maßnahmen *Screening*

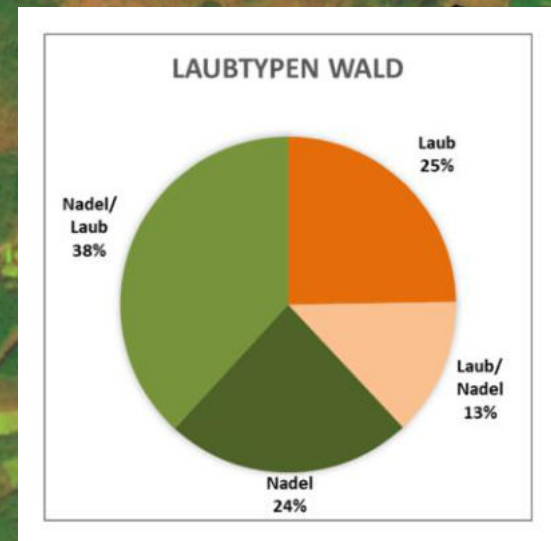
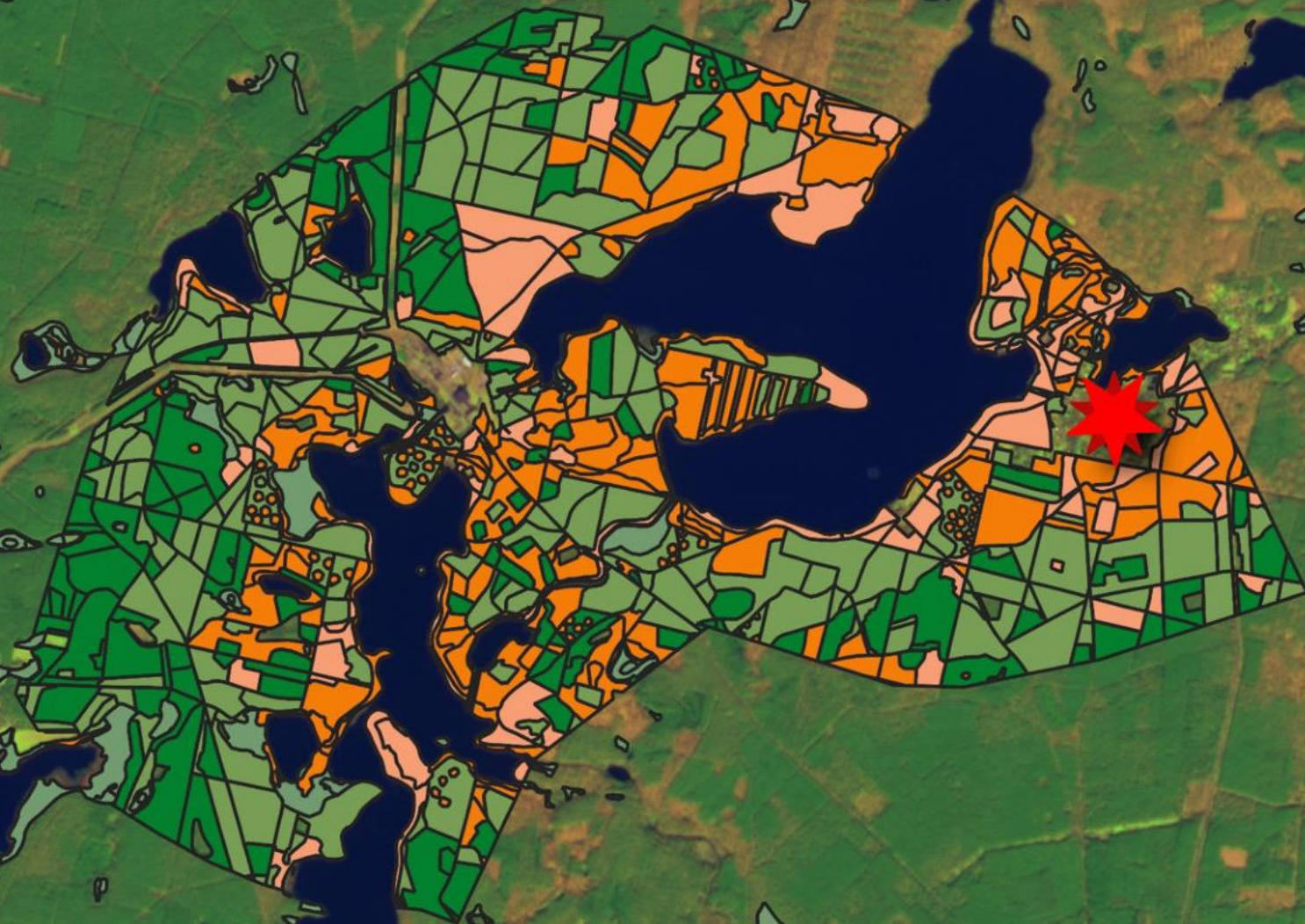
Maßnahme	Charakterisierung
Externe P-Elimination	Mittel- bis langfristig, sehr hoher Aufwand, kontrollierbarer Prozess
Tiefenwasserableitung	Mittelfristig, mittlerer baulicher Aufwand, Vorflut fehlt
P-Fällung im See (konventionell)	Kurz- bis mittelfristig, flächenbedingt hoher Aufwand, Chemikalieneinsatz und Nebenwirkungen,
P-Fällung im See (alternativ)	Kurz- bis mittelfristig, Erprobung alternativer Bindungspartner, Ziel geringere Nebenwirkungen
Belüftung/Sauerstoffzugabe	Mittelfristig, baulicher Aufwand für Sauerstoffverteilung in großer Fläche und großer Tiefe,
Eisenoockerdepots	Kurz- bis mittelfristig, Platzierung und Menge problematisch
Fischereimanagement/ no-regret	Kurz- bis langfristig, Entnahme von Weißfischen, flankierend
Sonstige/ no-regret	Waldumbau: Typischerweise langfristig

Maßnahmenentwicklung

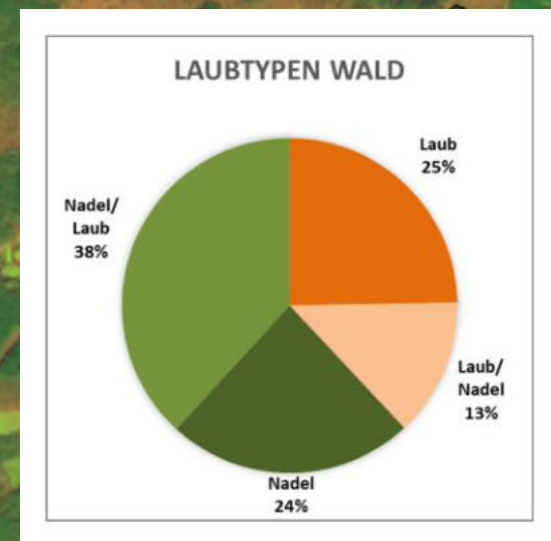
Beispiel Forstwirtschaft: Waldumbau zugunsten einer erhöhten Grundwasserneubildung zur Stützung des Seewasserspiegels

- Waldumbau von Nadel-/ Nadelmischwald -> Laubwald insbes. auf Flächen mit höherem Bodenfeuchte-Index ist zu erwarten, dass die Jahresmenge an Verdunstung gegenüber einem Nadelwald abnimmt
- Es wird eine Verdunstung von > 500 mm/a für Laubwald und > 530 mm/a für Nadelwald angenommen. Die potenzielle Verdunstung des Waldes im EZG Stechlin/ Nehmitzsee mit > 9.8 Mio m³ veranschlagt. Durch Ersatz von Kiefern durch Laubbäume wäre langfristig ein Gewinn von $> 0,3$ Mio m³ Sickerwasser möglich.
- **Bewertung:** Waldumbau wird sowieso angestrebt. Die Grundwasserneubildung könnte um mindestens 3% gesteigert werden. Kein zusätzlicher Aufwand.
- **Charakter** der Maßnahme: *No-regret*

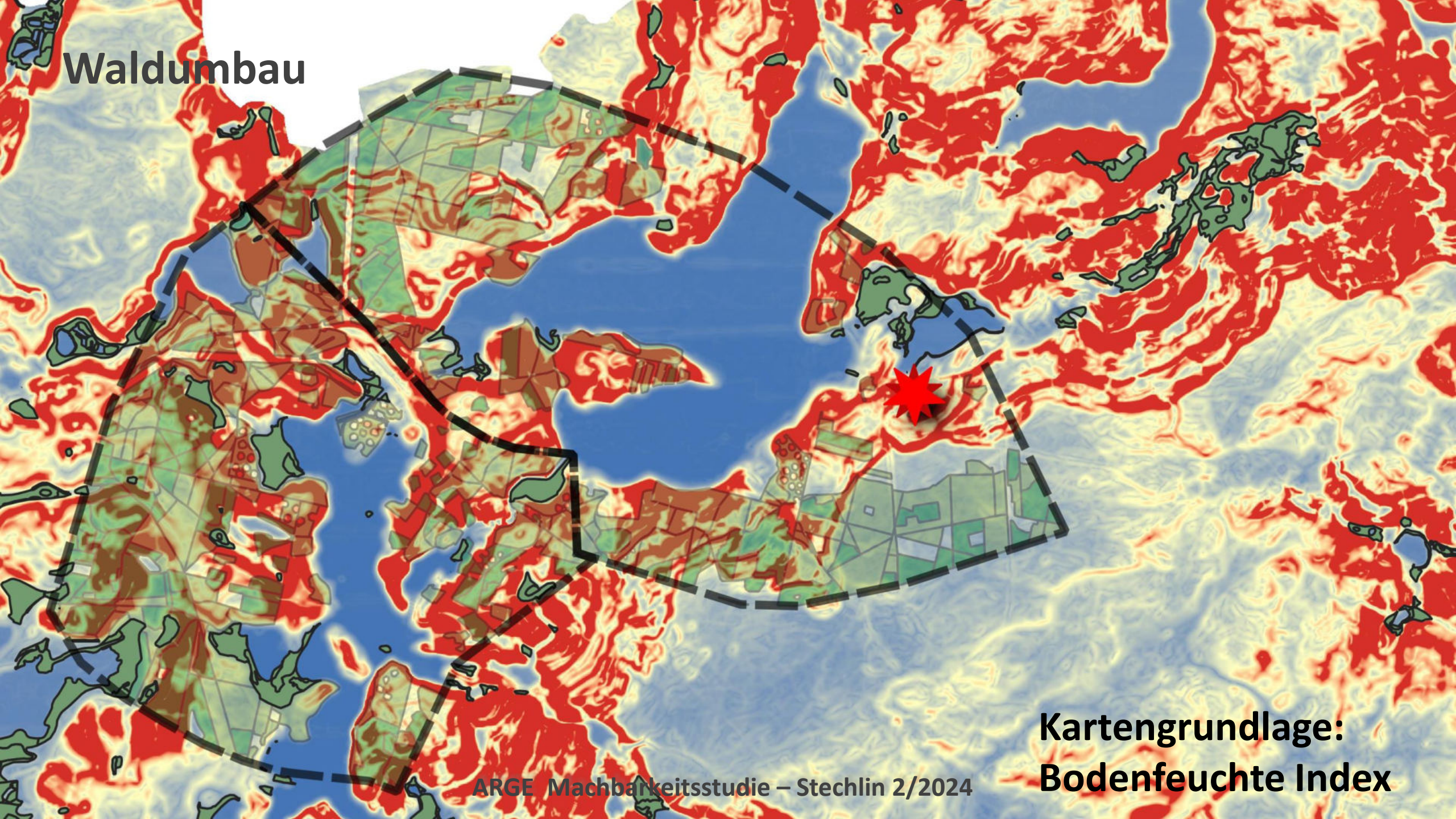
Waldumbau



Waldumbau



Waldumbau



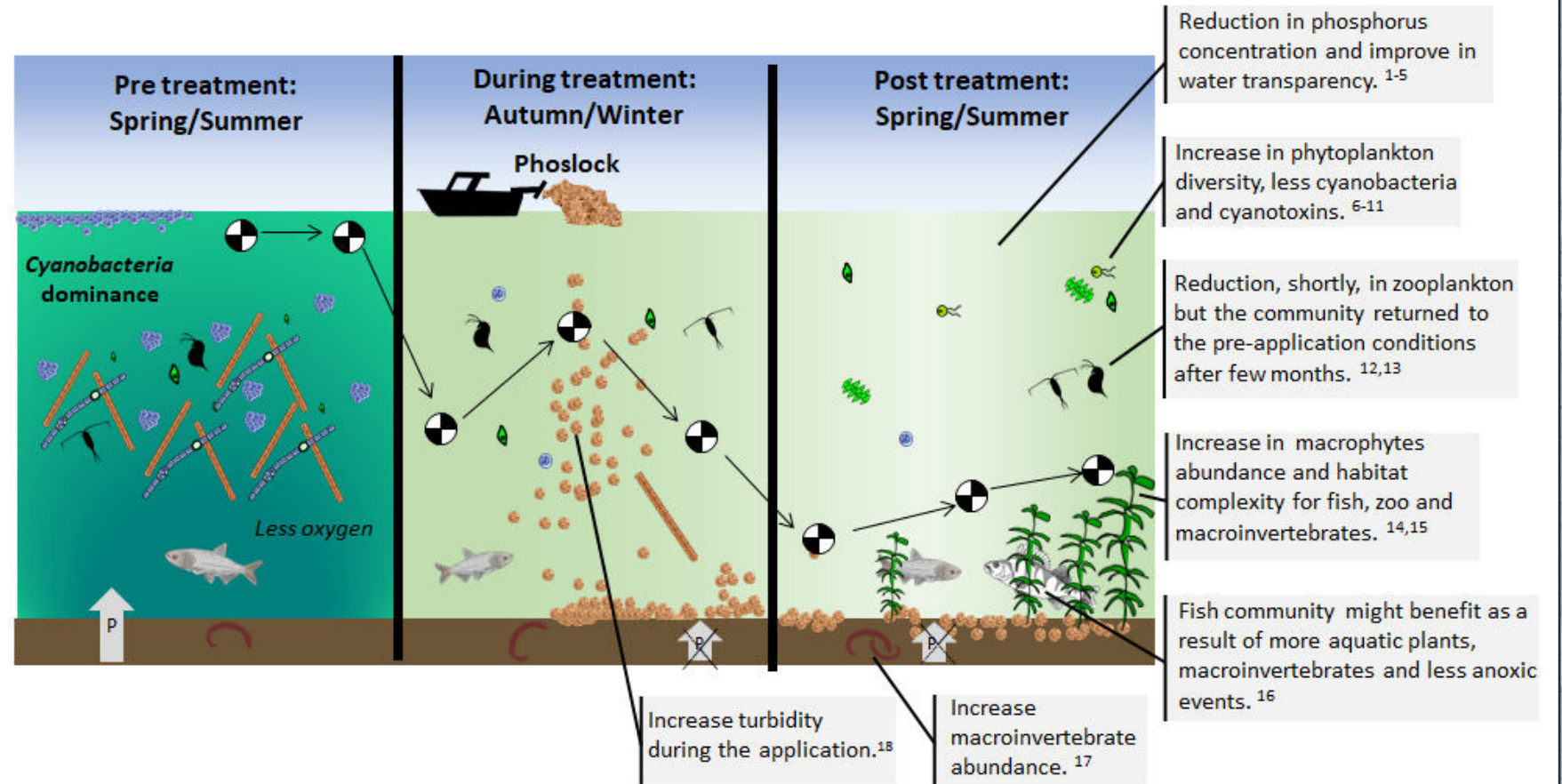
ARGE Machbarkeitsstudie – Stechlin 2/2024

Kartengrundlage:
Bodenfeuchte Index

Maßnahmenentwicklung

Beispiel seeinterne P-Fällung:

- Phosphor aus der Wassersäule entfernen
- Phosphorlimitierung verringert Schwebalgenwachstum
- Erhöht Transparenz, verringert O₂-Zehrung



Maßnahmenentwicklung

Beispiel seeinterne P-Fällung:

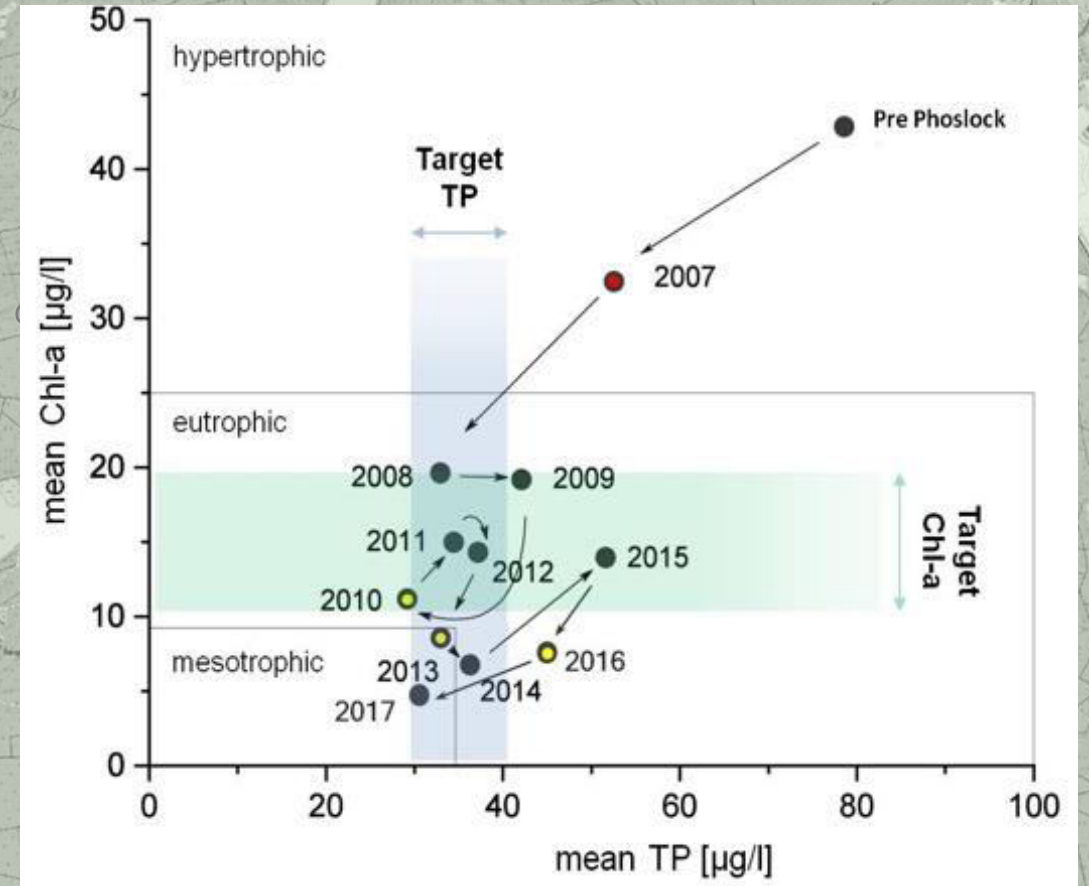


Aluminium/ Eisen:

- Flockung von Partikeln und Anionen
- Überdosierung notwendig (10:1)
- Phosphatbindung ist von der Verfügbarkeit von Sauerstoff oder/und korrektem pH-Wert abhängig

Calcium:

- $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ist die stärkste Verbindung
- Benötigt optimalen pH (8.2)

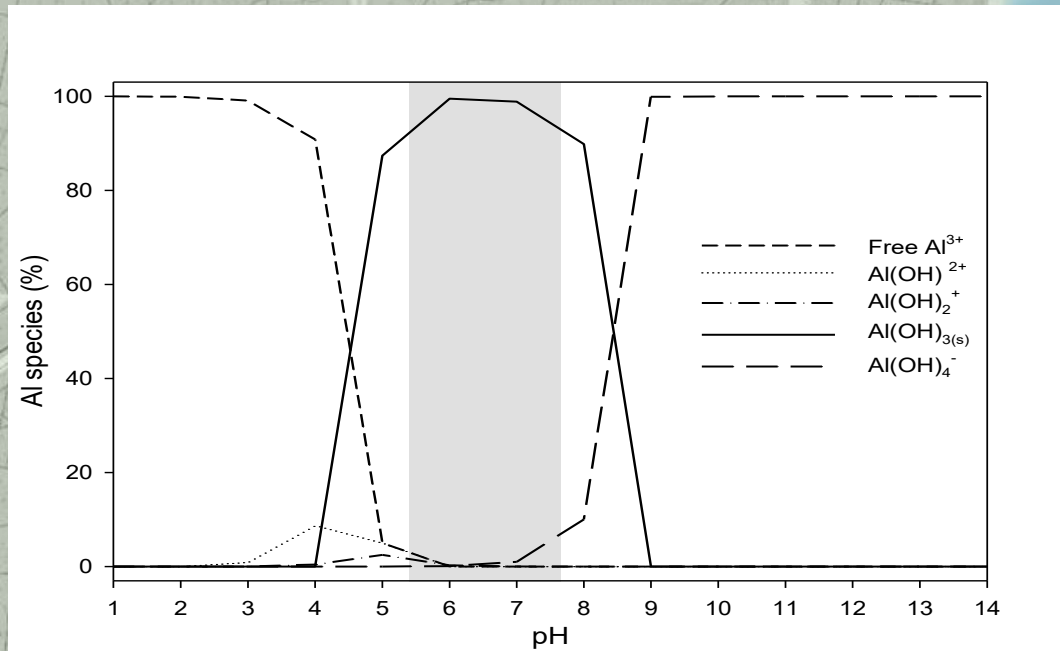


Lanthanmodifizierte Bentonite:

- Keinen Einfluss auf Leitfähigkeit und pH
- Starke und schnelle Bindung in einem weitem pH Bereich
- einige Anionen konkurrieren mit PO_4^{3-}

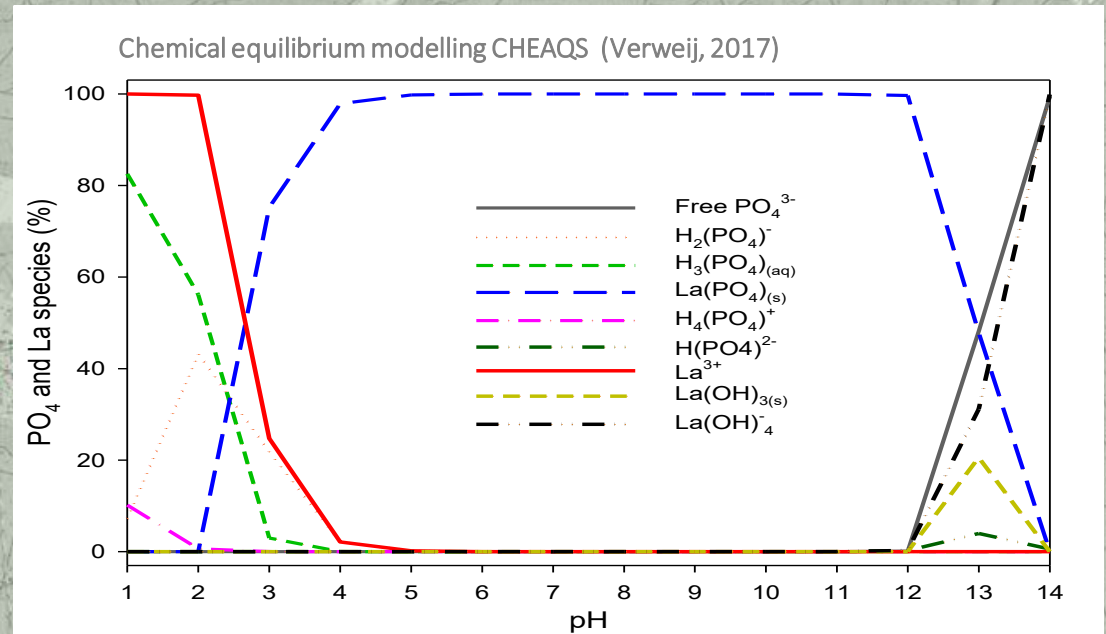
Maßnahmenentwicklung

Beispiel seeinterne P-Fällung:



Aluminium:

- P-Absorption ist pH-abhängig (6-8)
- in schwach gepufferem Wasser besteht ein höheres Risiko, dass der pH nicht zwischen 6-8 bleibt, aber durch Zusatz eines Buffers kann die Säurewirkung abgepuffert werden.

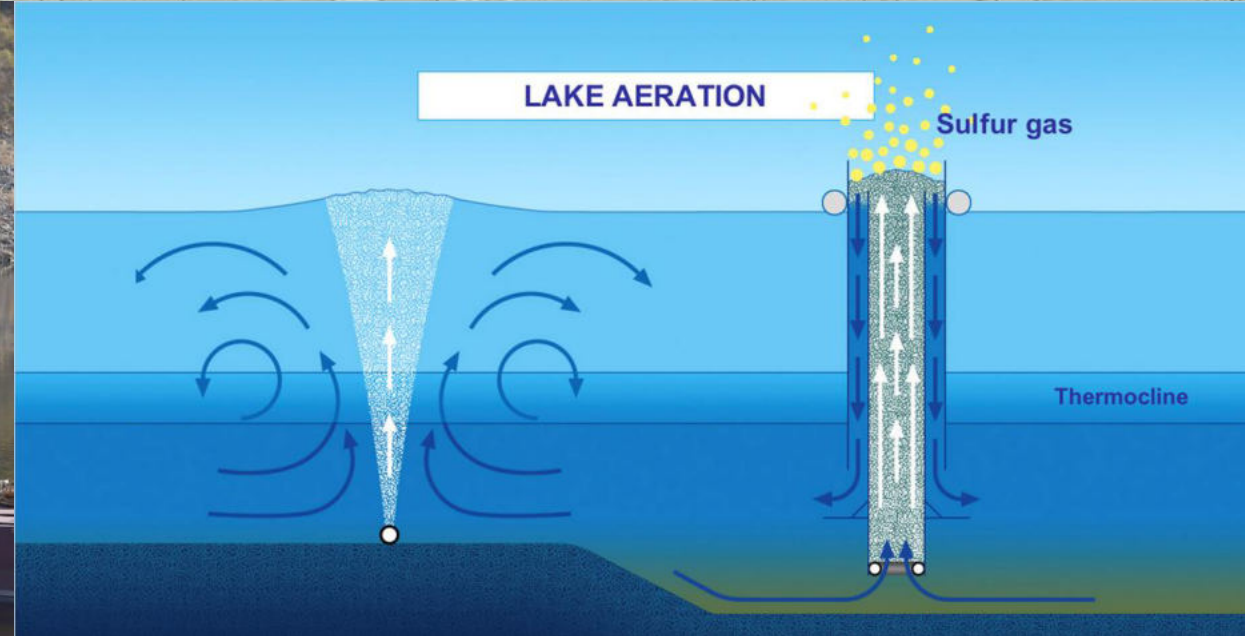


Lanthanmodifizierte Bentonite:

- Fällung ist auch pH-abhängig (3-13)
- Bicarbonate verringern P-Bindungskapazität aber nach einer Zeit wird das PO_4 als LaPO_4 gebunden

Maßnahmenentwicklung

Beispiel Belüftung/ Sauerstoffzugabe:



Speece Cones:

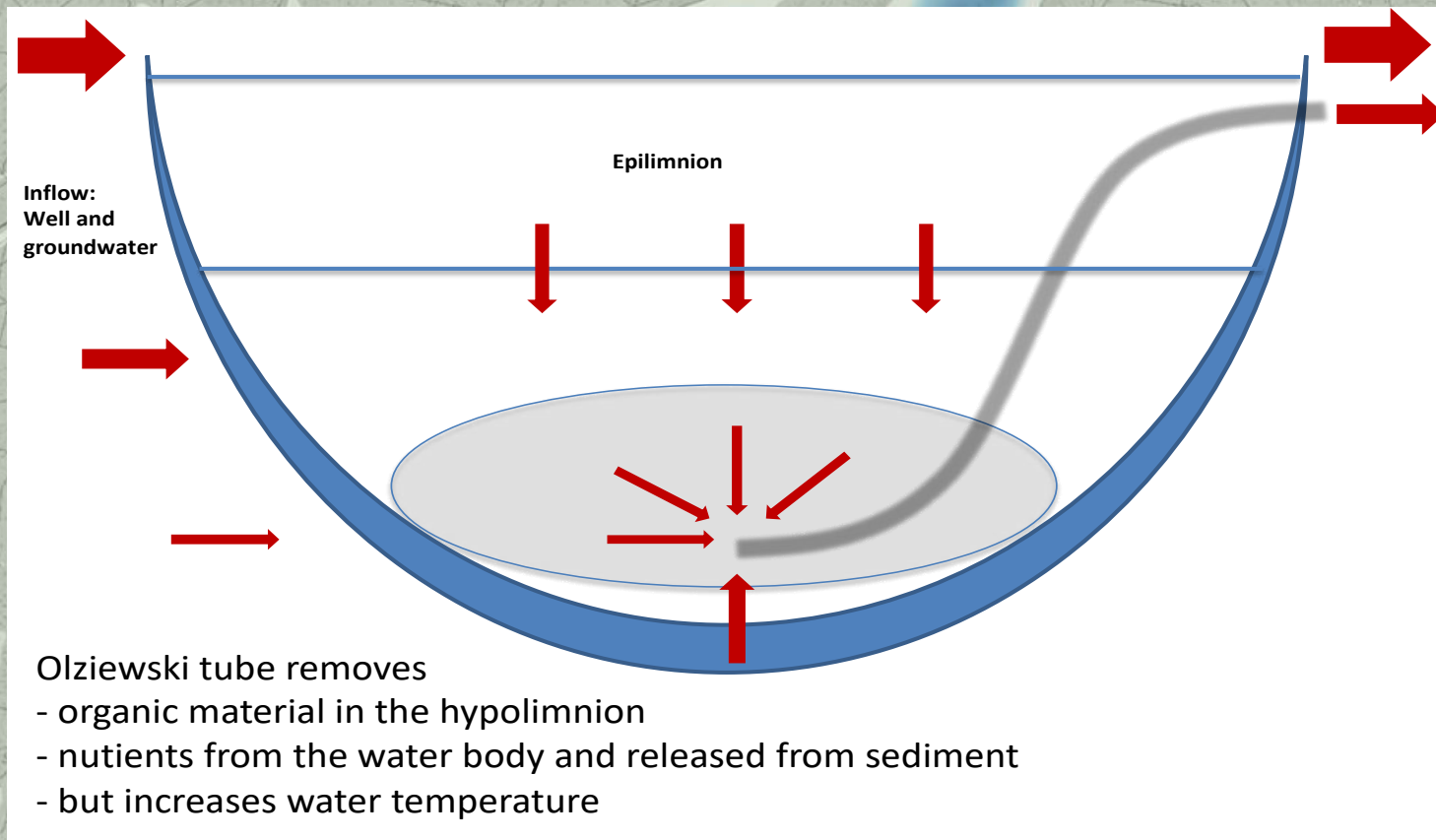
Optimierte Gassättigung des Tiefenwassers, durch hohe Geschwindigkeit bei Injektion. Von dort wird das gesättigte Wasser in das sauerstofffreie Hypolimnion gepumpt.

Tiefenwasserbelüftung:

Luftanreicherung des sauerstofffreien Hypolimnions

Maßnahmenentwicklung

Beispiel Tiefenwasserableitung



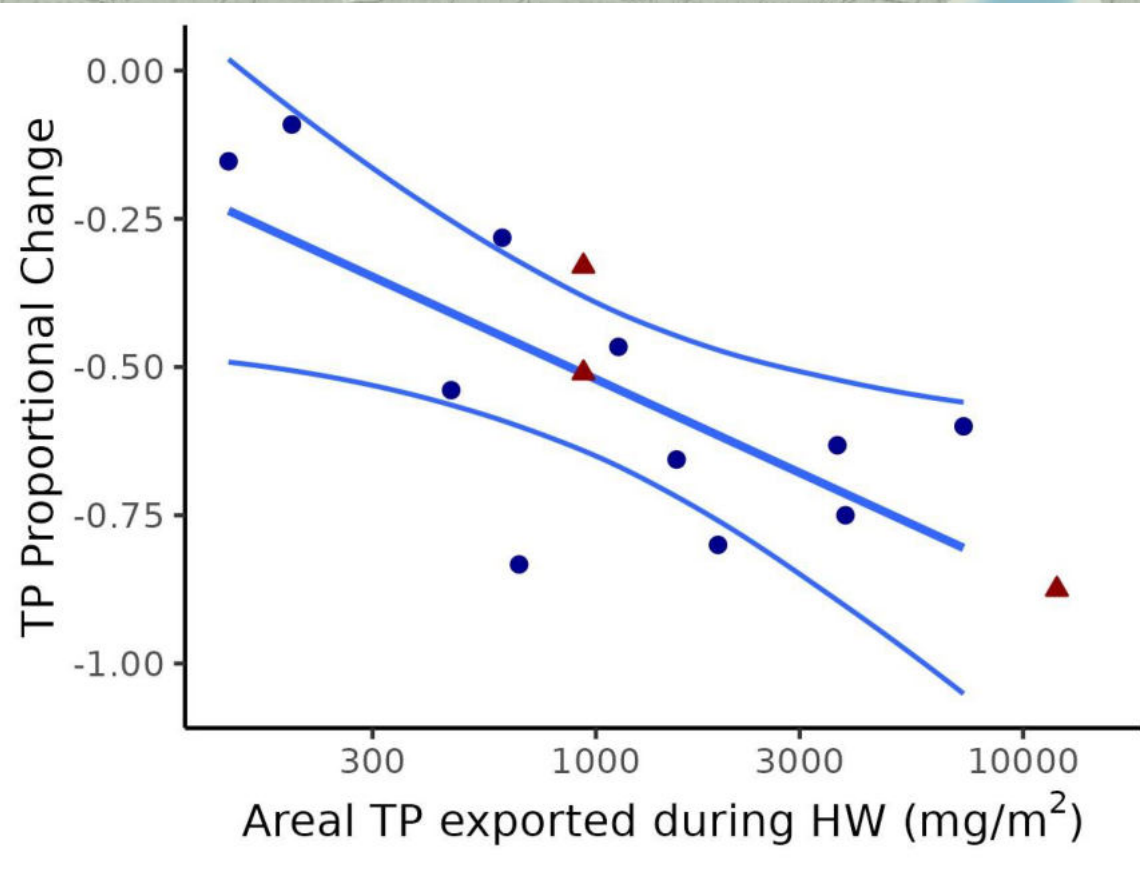
Einfache Methode, um nährstoffreiches Tiefenwasser aus dem See zu leiten. Kann dabei auch Cyanobakterien herausbringen.

Aber: Sehr langsame Wirkung um zu verhindern, dass die

1. Sprungschicht abwärts wandert und sich das Epilimnion vergrößert.
2. Die Absenkung des Seespiegels (Stechlin und Nehmitzsee) erhöht die Aufenthaltszeit und
3. den Zustrom von oberflächennahen Grundwasser z.B. Abstrom Dagowsee mit hoher Last.

Maßnahmenentwicklung

Beispiel Tiefenwasserableitung



Veränderung im epilimnischen Sommer-TP durch die Tiefenwasserableitung während des entsprechenden Zeitraums (3-30 Jahre).

Die Regressionslinie mit den 95% Konfidenzintervallen zeigt 11 Langzeitmaßnahmen (Punkte, $n = 11$, $R^2 = 0.50$, $P < 0.001$), zusammen mit 3 zusätzlichen Fällen (Dreiecke) welche das Verhältnis bestätigen (entnommen aus Nürnberg 2020).

Maßnahmenentwicklung

Beispiel Externe P-Fällung



Hier als Kombination aus Tiefenwasserableitung, chemischer Fällung und Rückführung.

Beispiel Tegeler See in Berlin (Zulauf zum See von $150 \mu\text{g/l}$ P auf $12 \mu\text{g/l}$ reduziert, Kapazität = $3,2 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $100 \text{ Mio m}^3/\text{a}$.)

OWA Tegel (Sen-Bau-Wohnen Berlin, 1985)

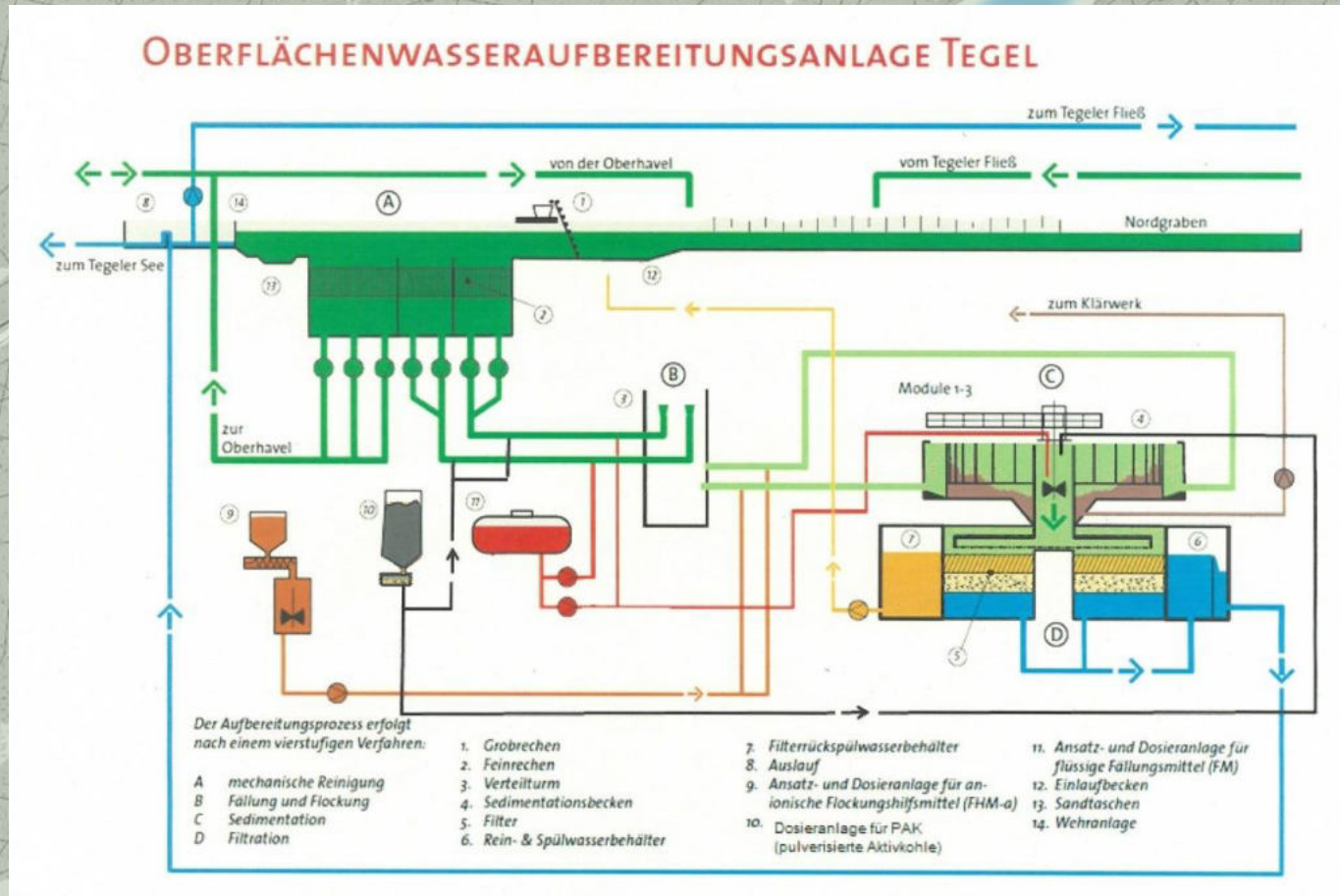
Maßnahmenentwicklung

Beispiel Externe P-Fällung

Verfahrenstechnik komplex.
Kann für Stechlinsee
modifiziert und vereinfacht
werden:

- kein Grobrechen und kein Sandfang erforderlich
- keine Pulveraktivkohle
- nur zweistraßig

Behandlungskonzept:
Belüftung – Dosierung –
Fällungs-/ Flockungsbecken –
Absetzbecken – Schnellfilter –
Spülwasserrückführung.

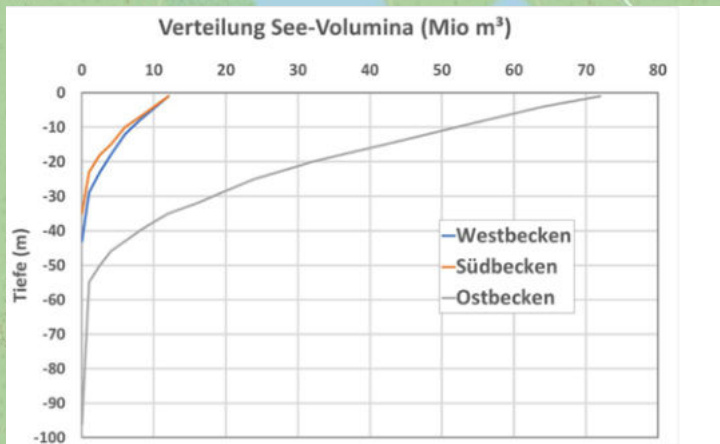


Maßnahmenentwicklung

Beispiel Externe P-Fällung

- Standort der Anlage auf dem KKW prüfen
- Erforderlichen Volumenstrom prüfen, vorerst mit 6 Mio m³/a gerechnet

Förderenergie bei H= 12,5 m und 70% Pumpenwirkungsgrad:
35 kW bzw. 0,05 kWh/m³
Rückgewinnung ./ 0,02 kWh/m³



Entnahmetiefe 40 m bzw. 67 m, Einleittiefe 20 m
Rohrleitung DN 600 GFK, 2 x Entnahme, 1 x Rückführung
Pumpstation Q = 0,2 m³/s, Delta H_{geo} = 10 m, H_v = 2,5 m

ARGE Machbarkeitsstudie – Stechlin 2/2024

Maßnahmenentwicklung

Chancen	Risiken
Optimierte Fällung	Aufsalzung
Auch partikulärer P und Planktothrix gefiltert	Bewuchs in Rohrleitung
Kontrollierbare Qualität	Erwärmung
Integrierte Belüftung	Schichtungsbeeinträchtigung
Standort KKW ist erschlossen	Rohrleitung teilw. durch Makrophytenbestand
Verwendung Auslaufbauwerk	Ansaugen von Maränen
Entwurfsplanung	Maßnahmen
Fällmittelauswahl	Tests
Pumpstation und Einlauf	Fisch-Fernhaltung
Rohrverlegung	Schwimmend/ auf Grund
Verfahrenstechnik	Pilotanlage
Bedarfskühlung	Energieeffizienz optimieren



Rohrgitter-Kaskadenbelüfter

Ausblick

Arbeitsschritte	Ziel
1. Letzte Gewässerprofilaten 2023 einpflegen	15.3.2024
2. Modellüberprüfung Interne Belastung	15.4.2024
3. Variantenvergleich und Priorisierung	15.5.2024
4. Festlegung der zu vertiefenden Maßnahmen	15.5.2024
5. Vertiefende Untersuchung	15.8.2024
6. Empfehlung und Abschlussbericht	15.9.2024

