

Machbarkeitsstudie Stadtwaldsee

-

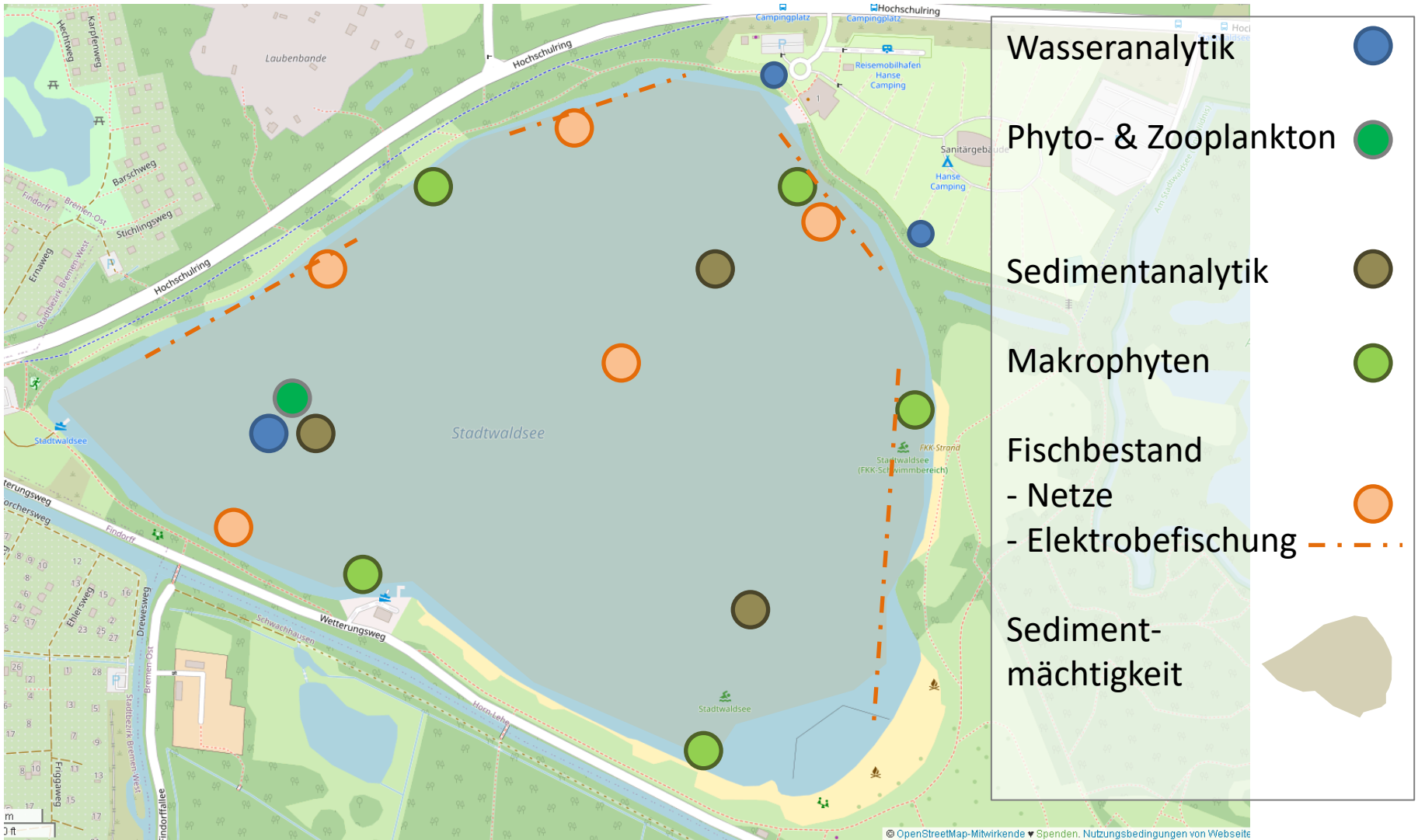
Kurzzusammenfassung 2022/2023 und Ausblick auf mögliche Maßnahmen

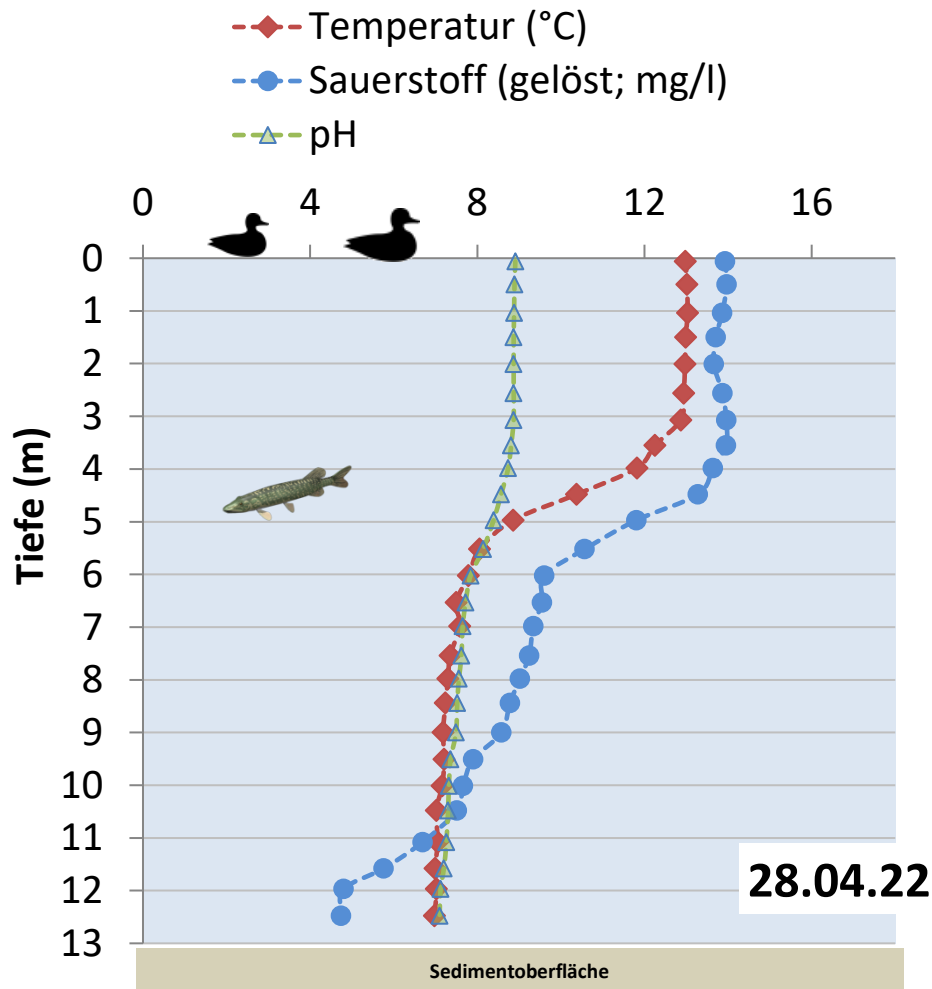


Bremen

26.11.2024

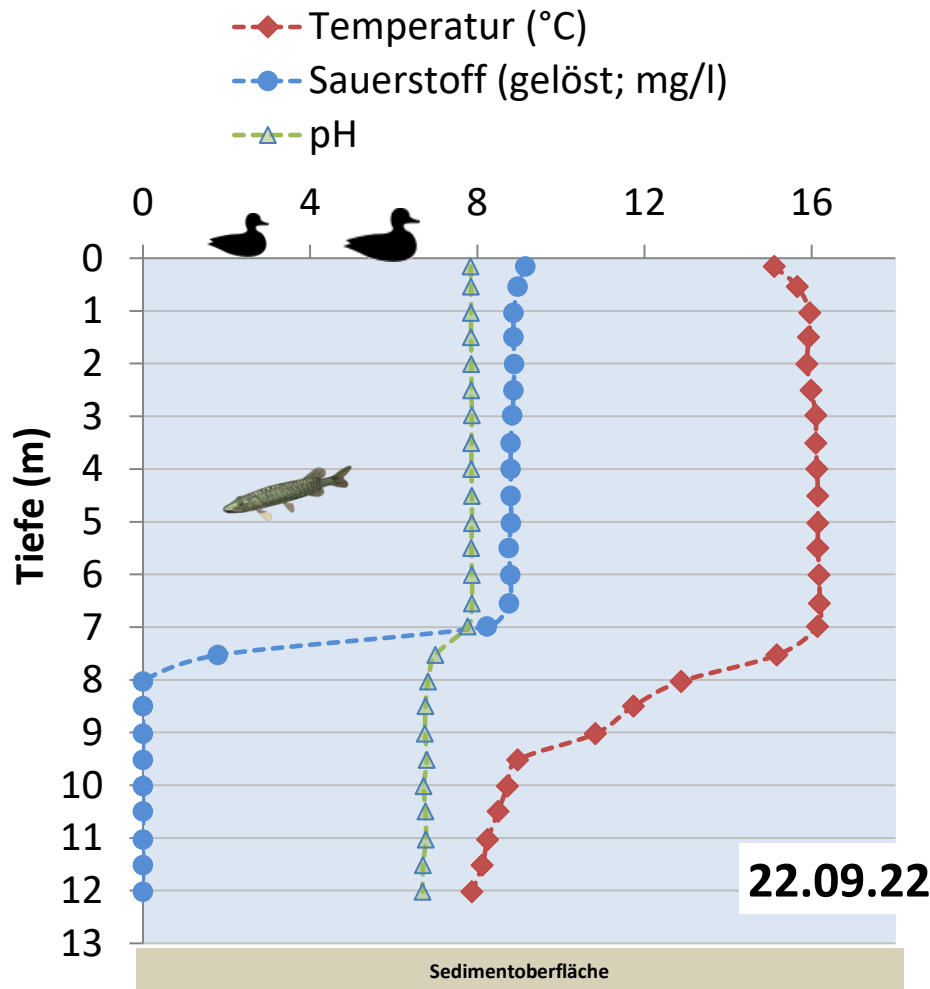
Tim Epe





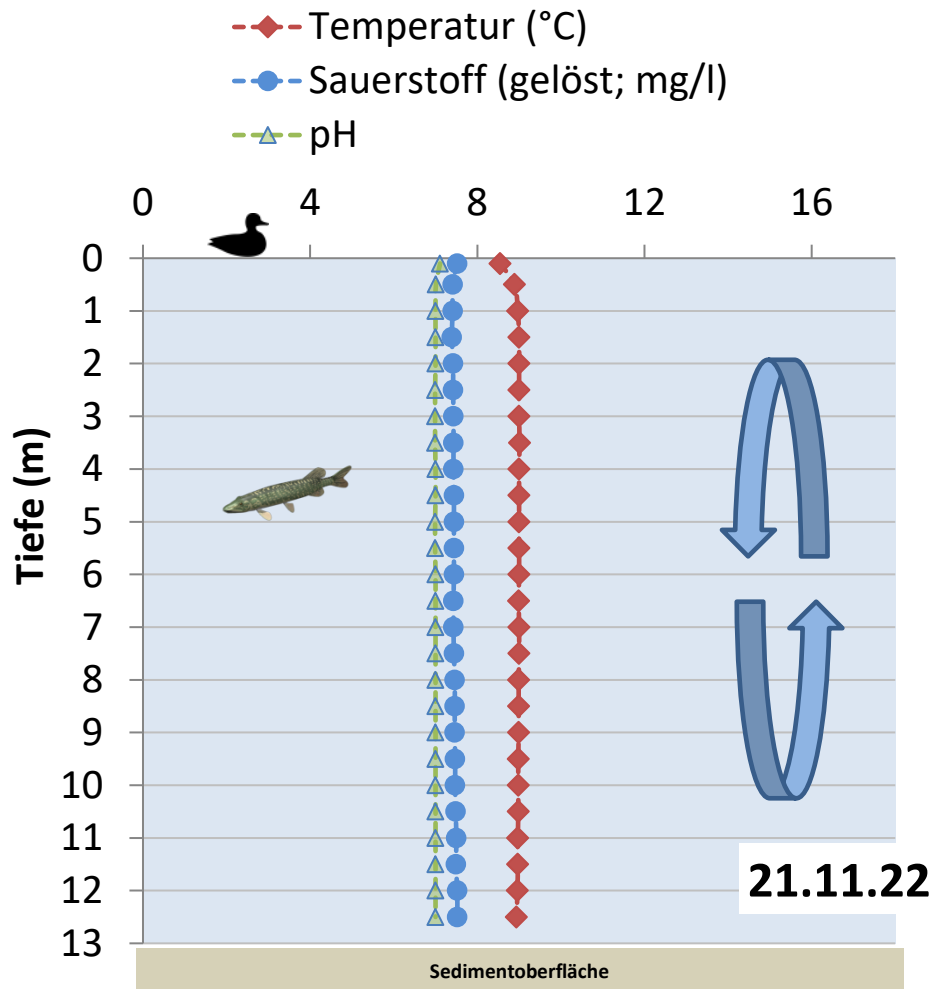
Ende April

- Beginnende Temperatur-Schichtung
- O₂-Übersättigung im Epilimnion (ca. 140 %)
- > 4 mg/l im Hypolimnion
- Hoher pH im Epilimnion (≈ 8,9)
- pH im Hypolimnion (≈ 7,1)



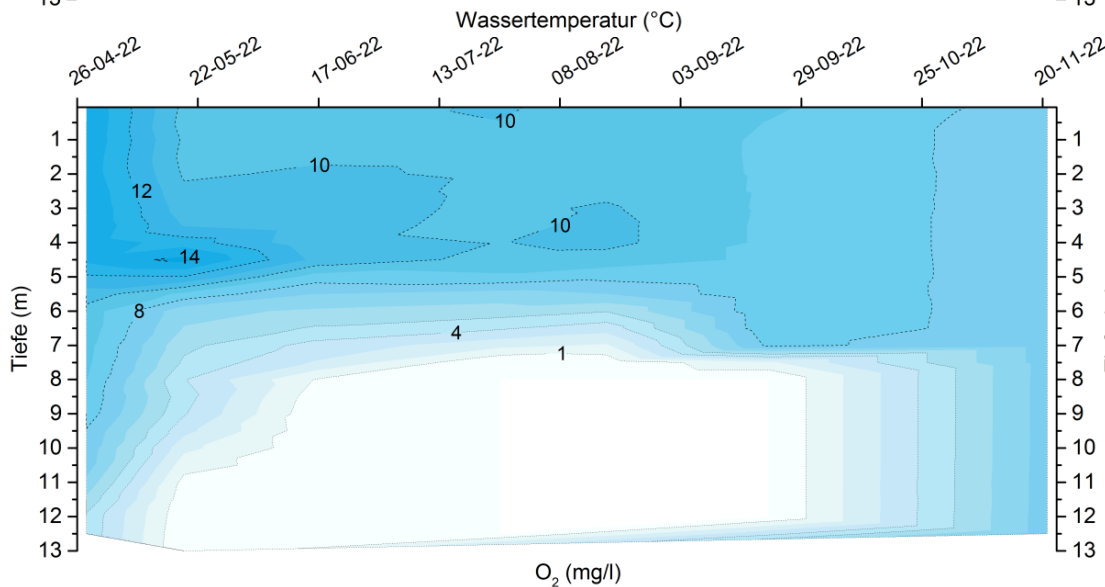
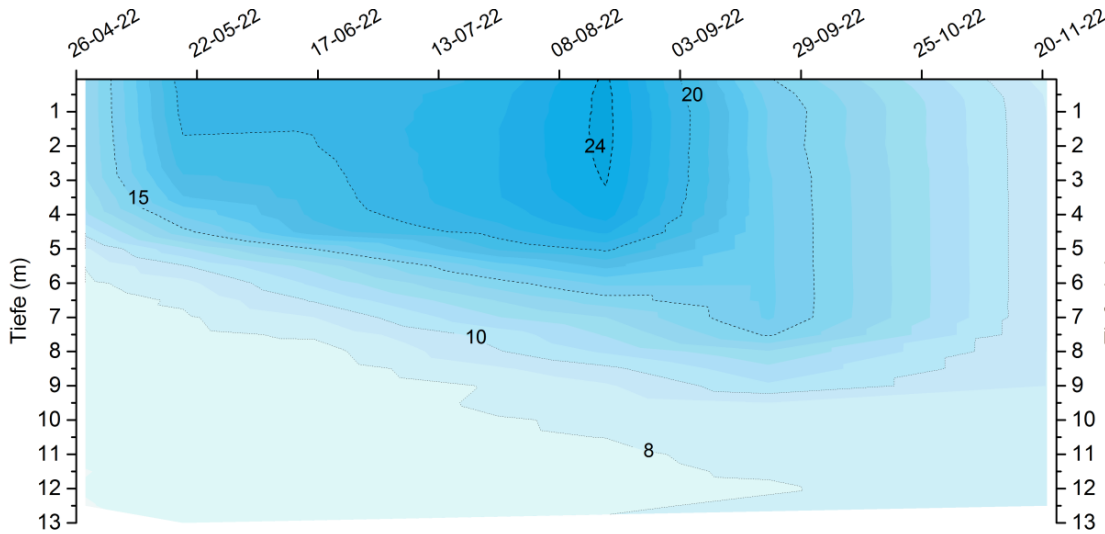
September

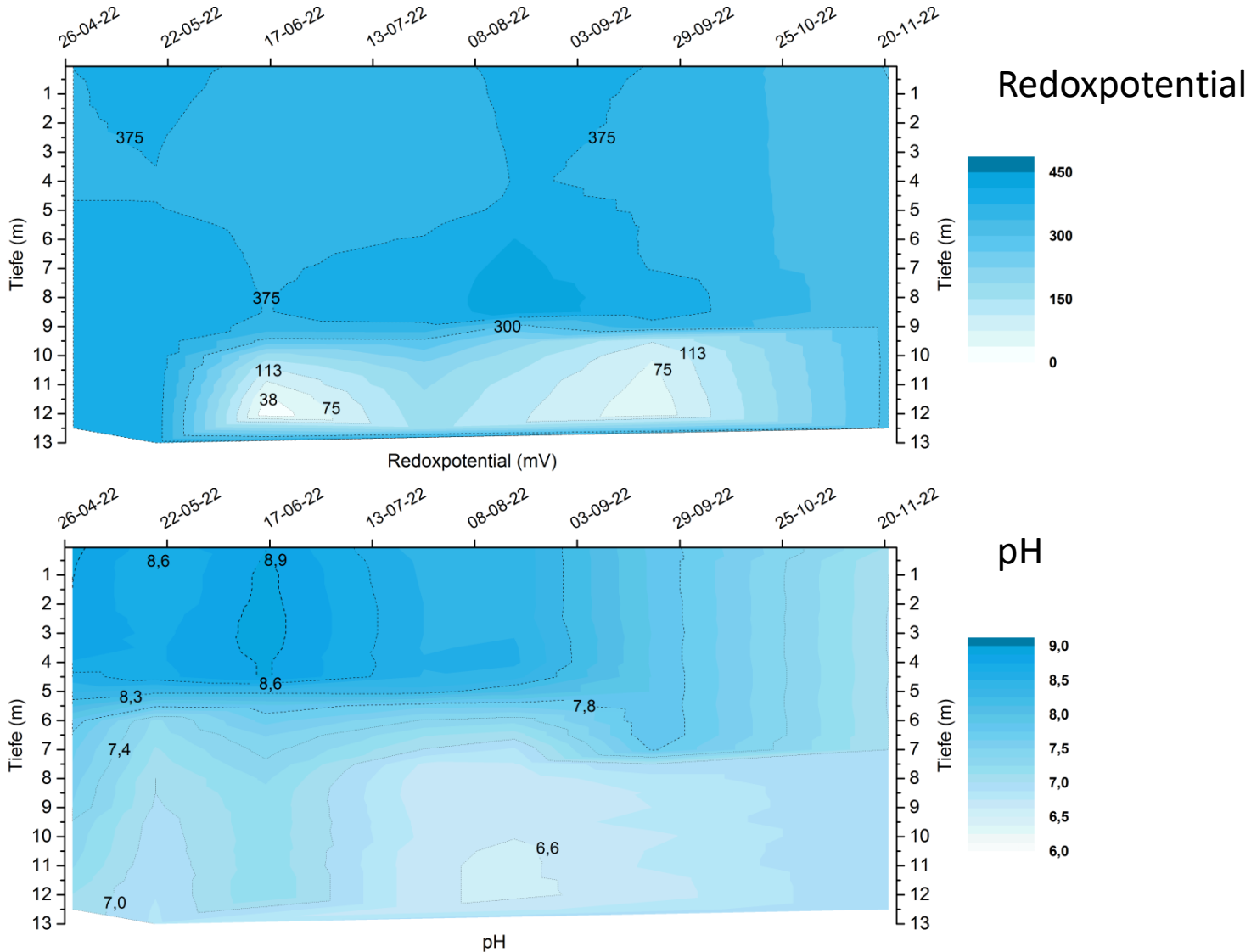
- Deutliche Temperatur-Schichtung
- deutliches O₂-Profil
- sauerstofffrei ab 8 m Wassertiefe
- Metalimnion um 8 m Wassertiefe

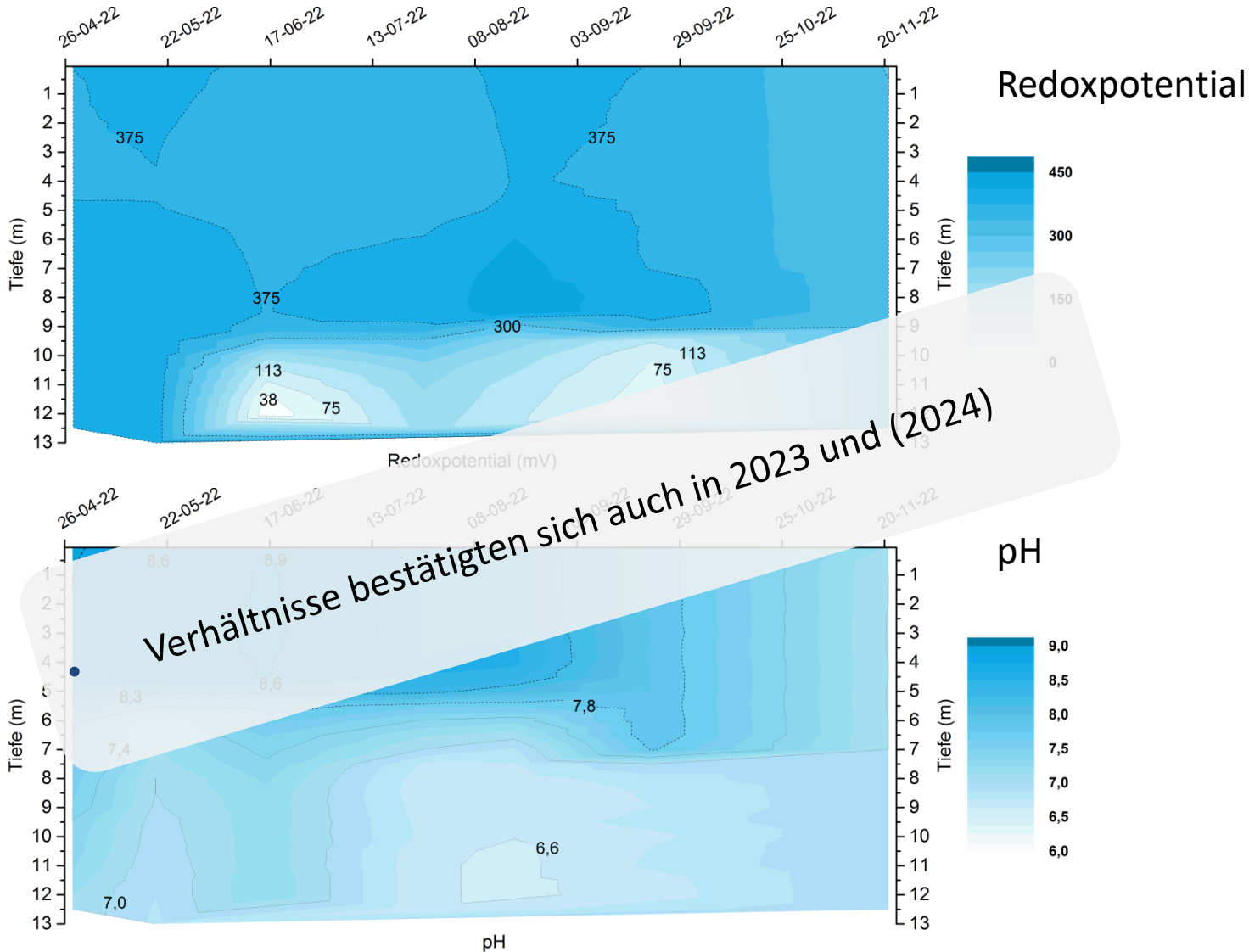


November

- Vollzirkulation
- Werte in allen Tiefen identisch

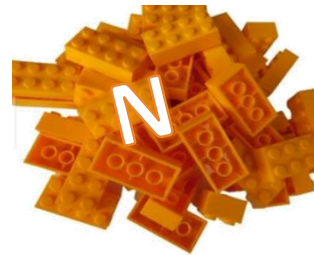




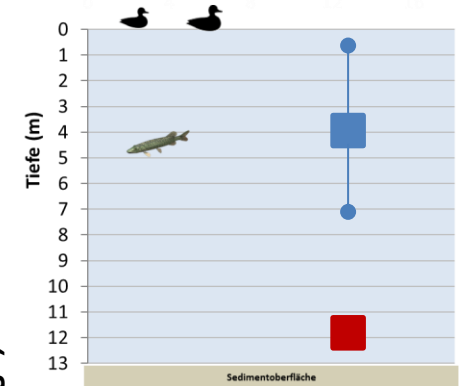
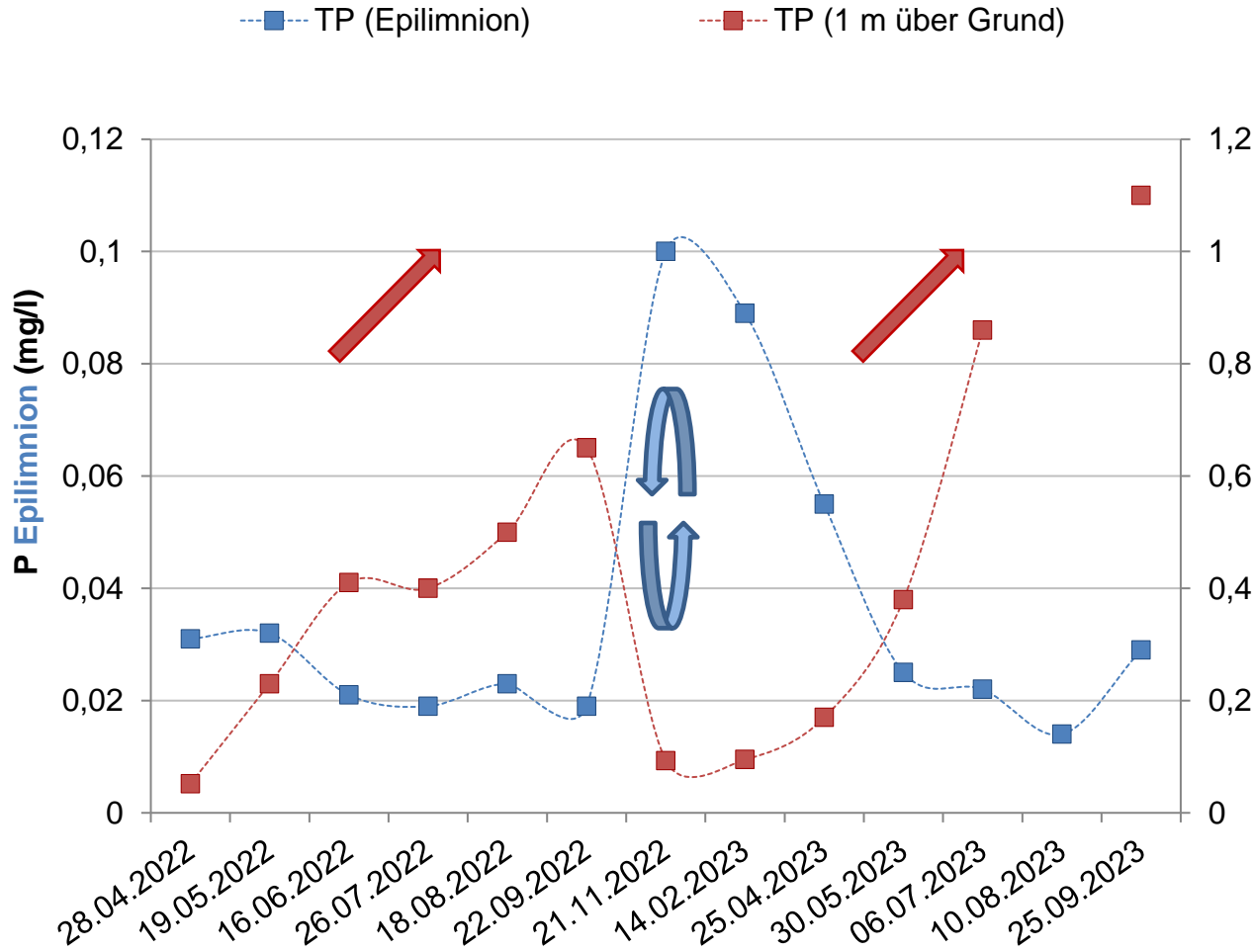



- Schlüsselstellung in Stoffkreisläufen → wichtigster Nährstoff für Algen
- geringe Konzentrationen genügen für starkes Algenwachstum

→ 106 mol **C** (Kohlenstoff) : 16 mol **N** (Stickstoff) : 1 mol **P** (Phosphor)

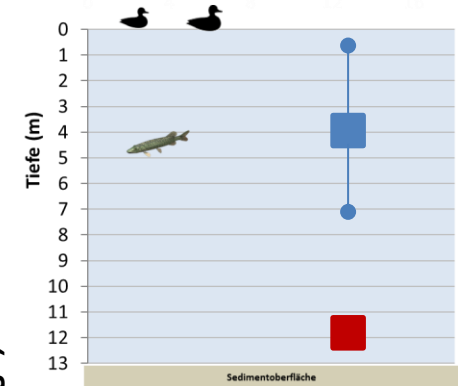
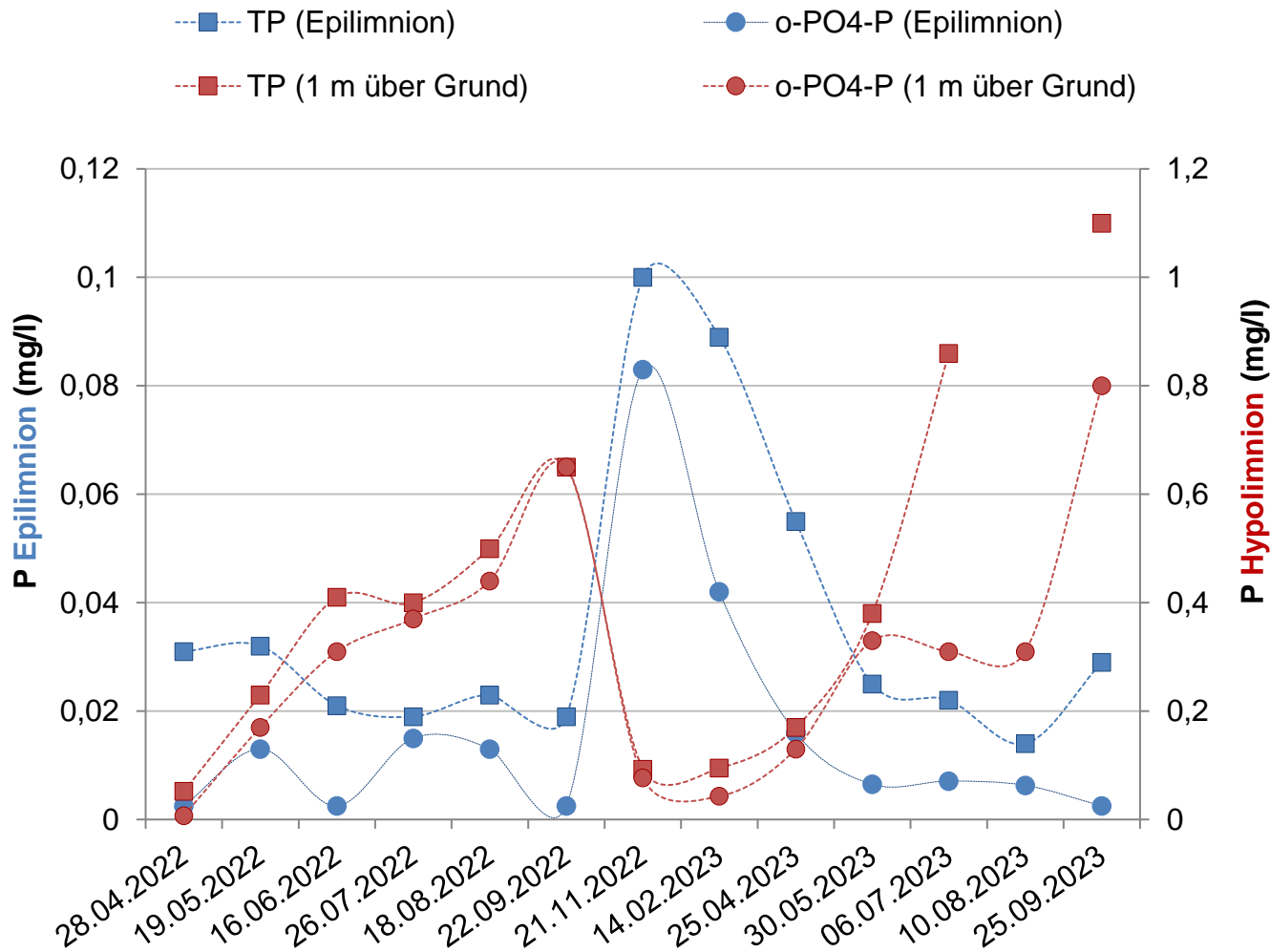


„Bausteine“ für das Algenwachstum (Aufbau organischer Substanz)

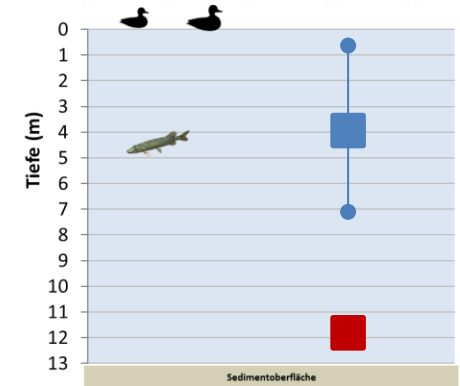
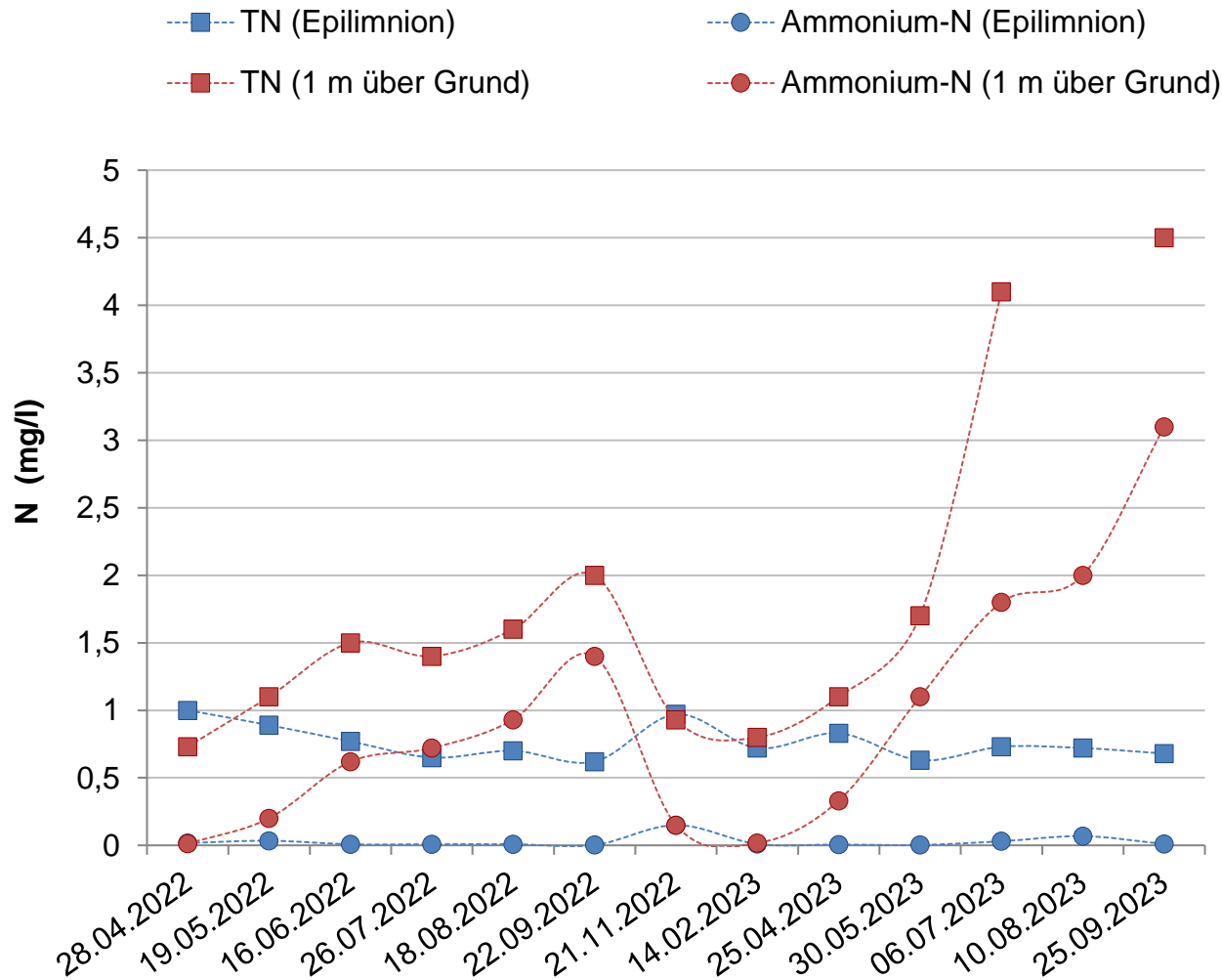


Anstieg TP
Hypolimnion im
Jahresverlauf 

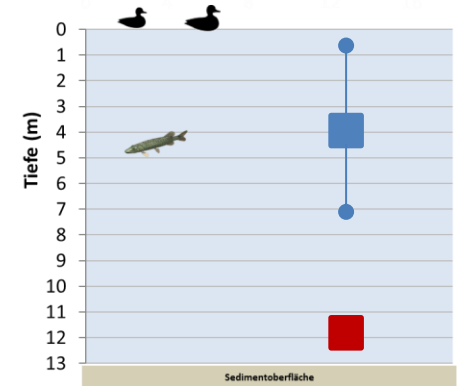
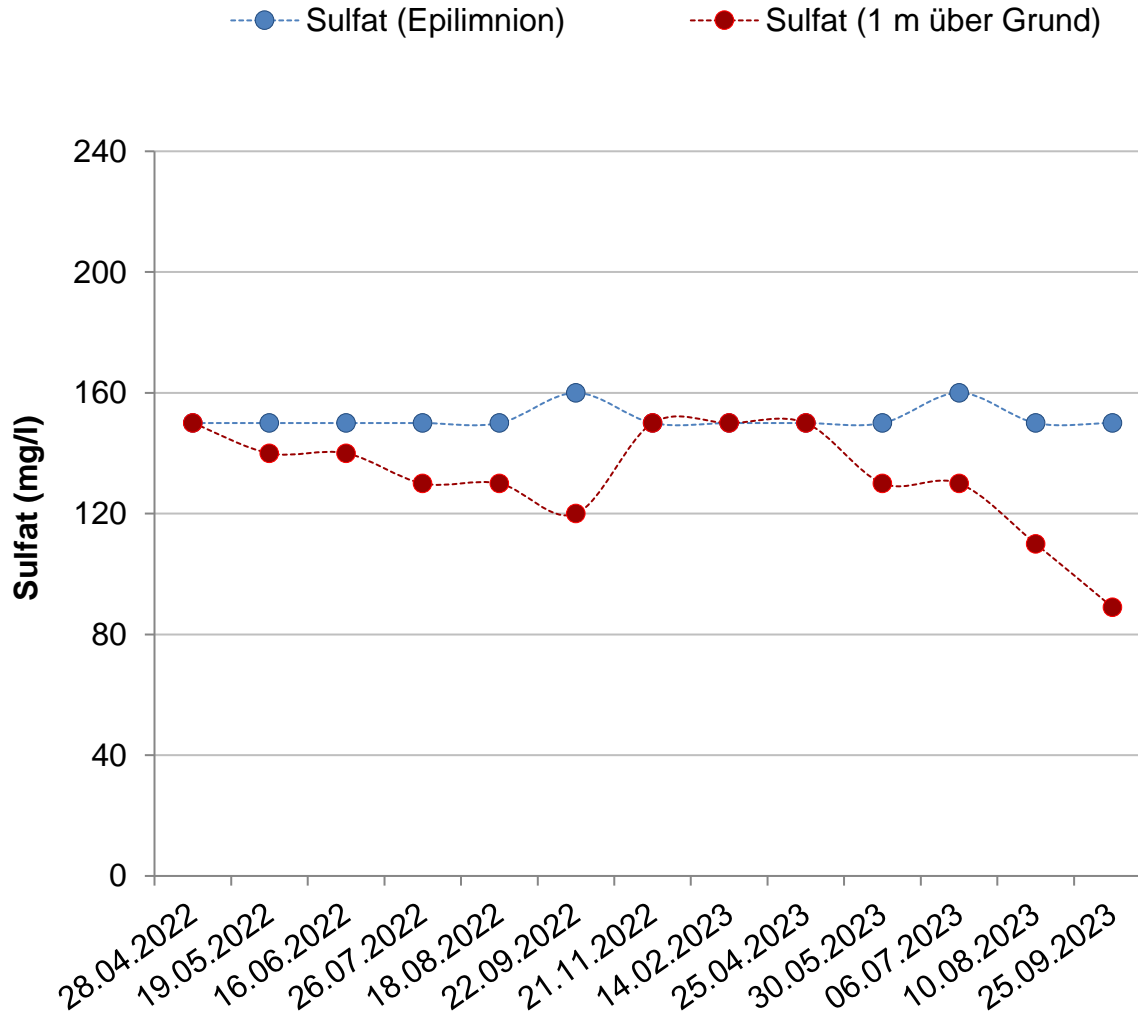
Vollzirkulation im
Winter
→ hohes P-Angebot
im ganzen
Wasserkörper



Anstieg $\text{PO}_4\text{-P}$
(Phosphat-P)
Hypolimnion im
Jahresverlauf
Vollzirkulation im
Winter
→ Risiko hohen
Algenwachstums im
Winter/Frühjahr



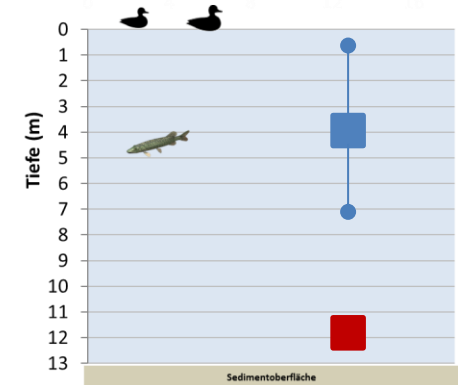
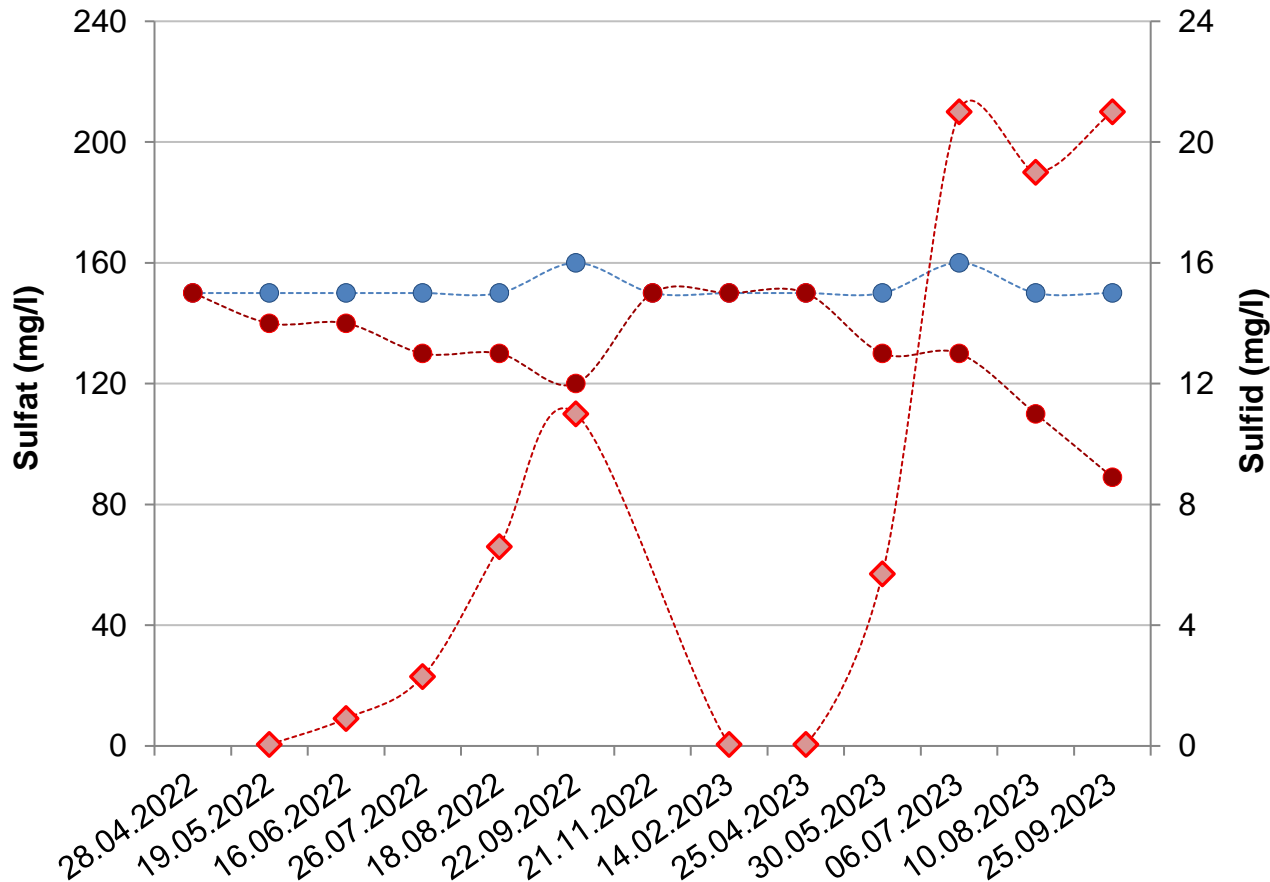
- Anstieg $\text{NH}_4\text{-N}$ (Ammonium-N) im Hypolimnion im Jahresverlauf
- Vollzirkulation im Winter
→ hohes $\text{NH}_4\text{-N}$ -Angebot im ganzen Wasserkörper



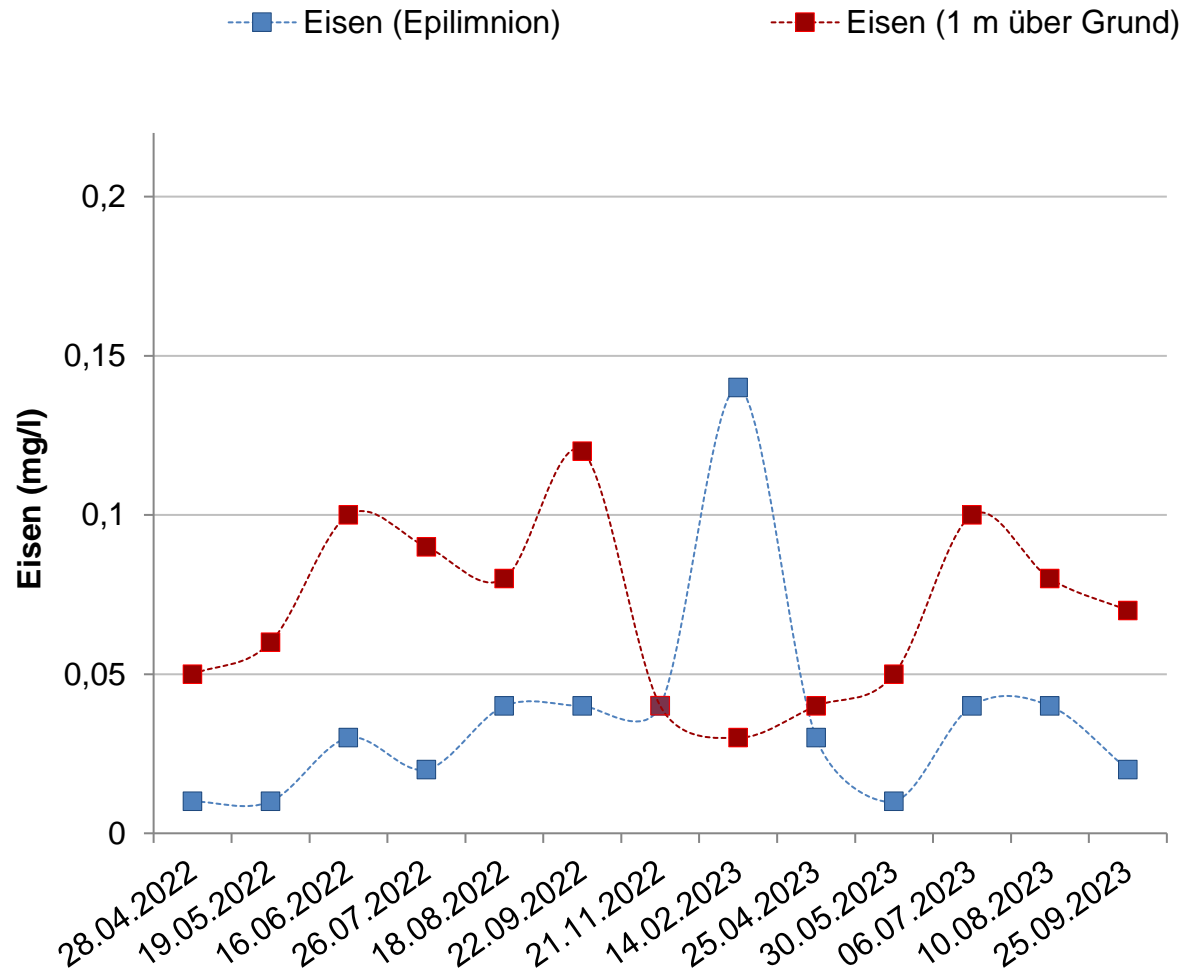
- Abbau von Sulfat (SO_4) im Hypolimnion im Jahresverlauf

● Sulfat (Epilimnion) ● Sulfat (1 m über Grund)

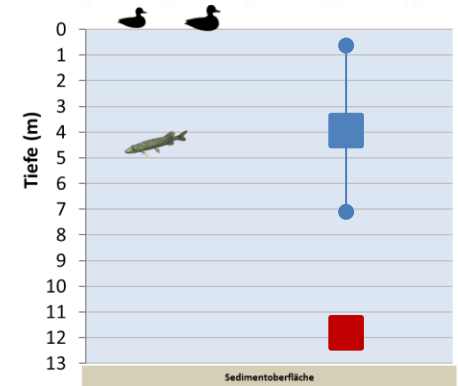
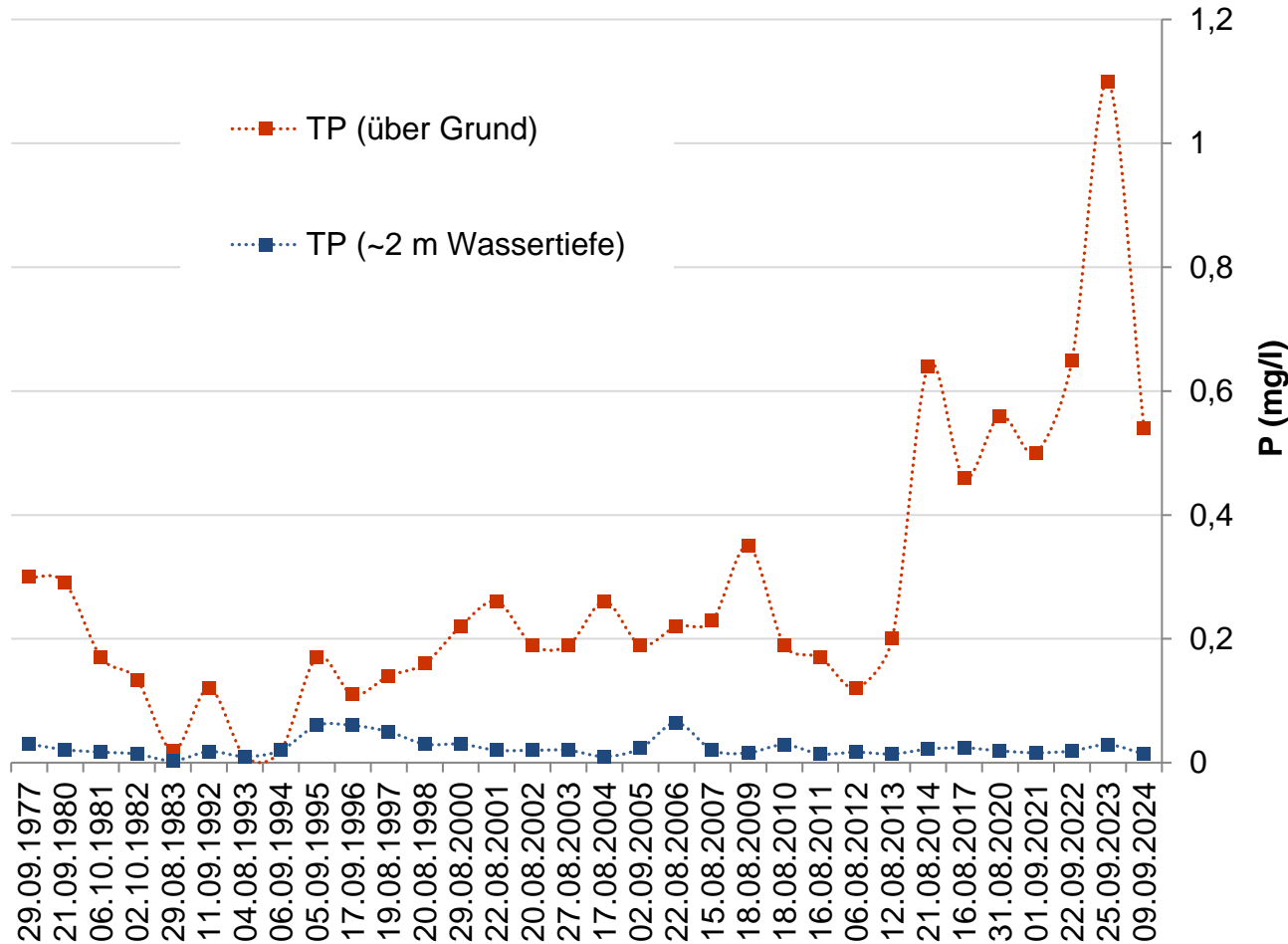
◆ Sulfid (1 m über Grund)



- Abbau von Sulfat (SO_4) im Hypolimnion im Jahresverlauf
- Parallel Zunahme von H_2S (Schwefelwasserstoff) und Sulfiden
- Sulfide binden Eisen, welches auch P binden könnte



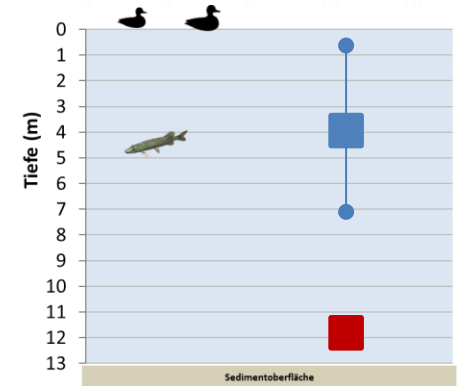
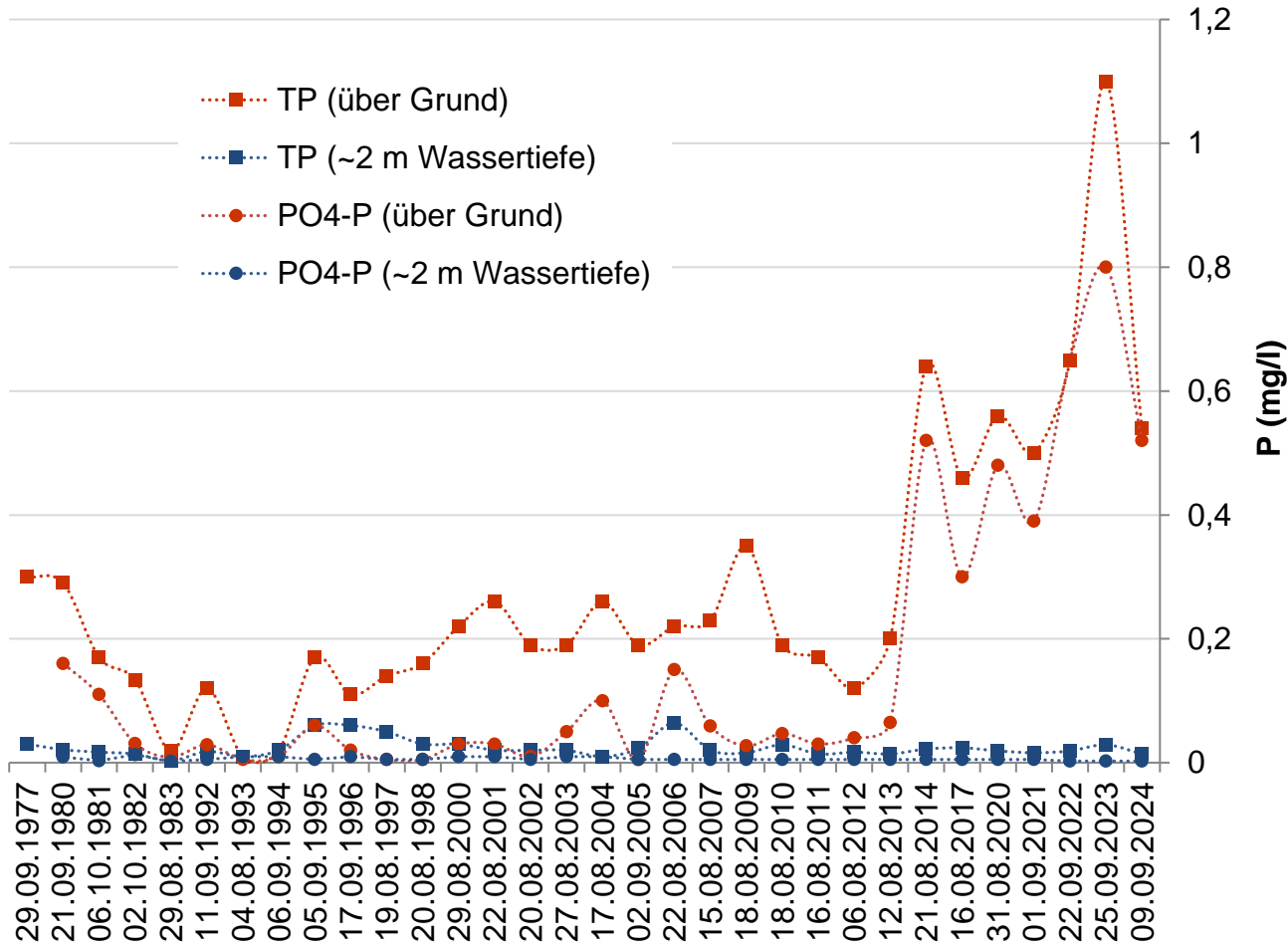
- Geringer Anstieg Eisen im Hypolimnion = Reduktion von Fe (III) zu Fe (II)
- Vollzirkulation = Oxidation im Winter
- → Fe könnte nach Vollzirk. dann erneut P binden, sofern P im Sommer nicht dauerhaft an S „verloren ging“ (FeS₂; Pyrit)



Rückgang nach
Auffüllung

Zunahme 95-09

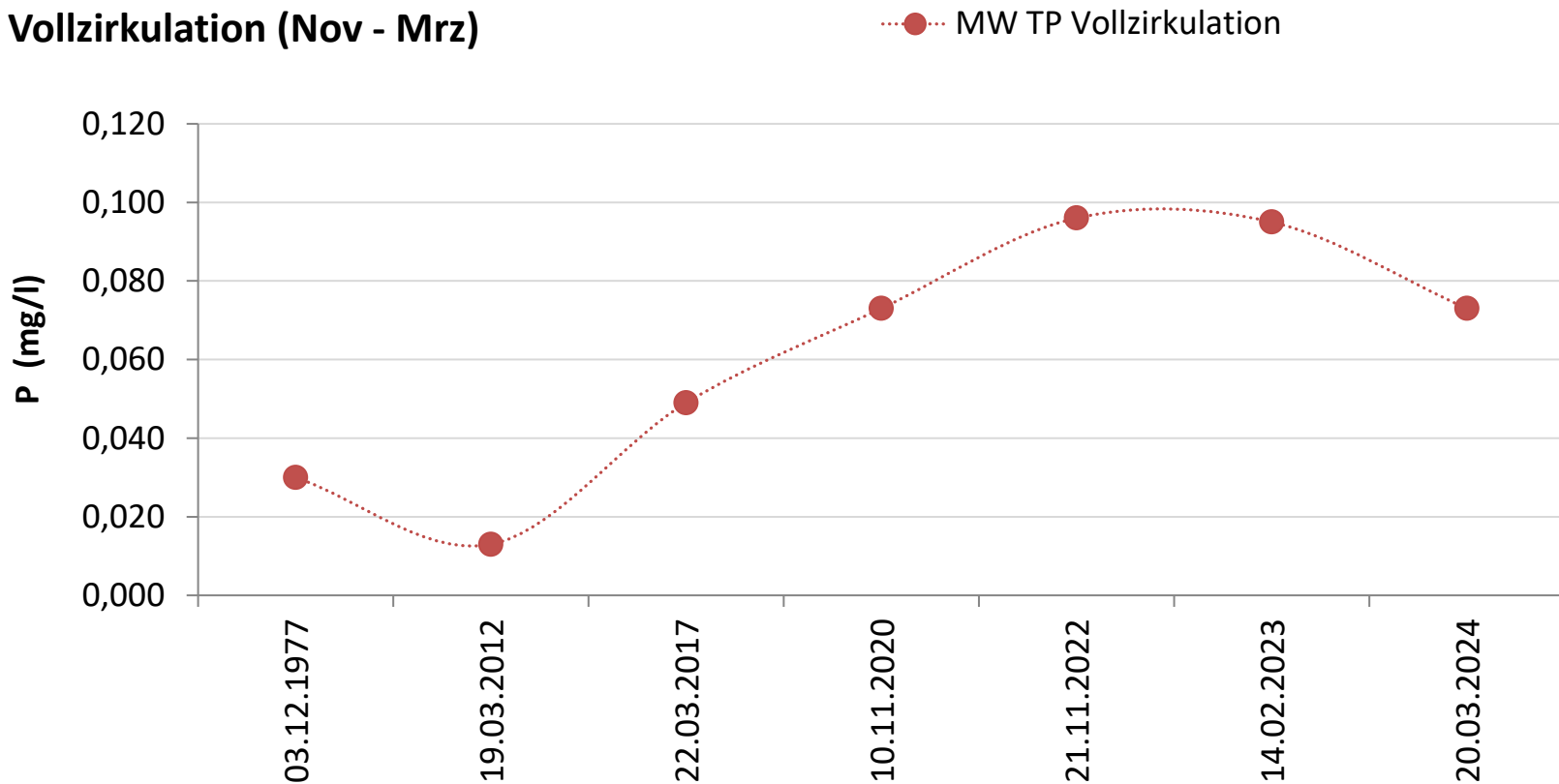
Sprunghafter Anstieg
TP im Hypolimnion seit
2014



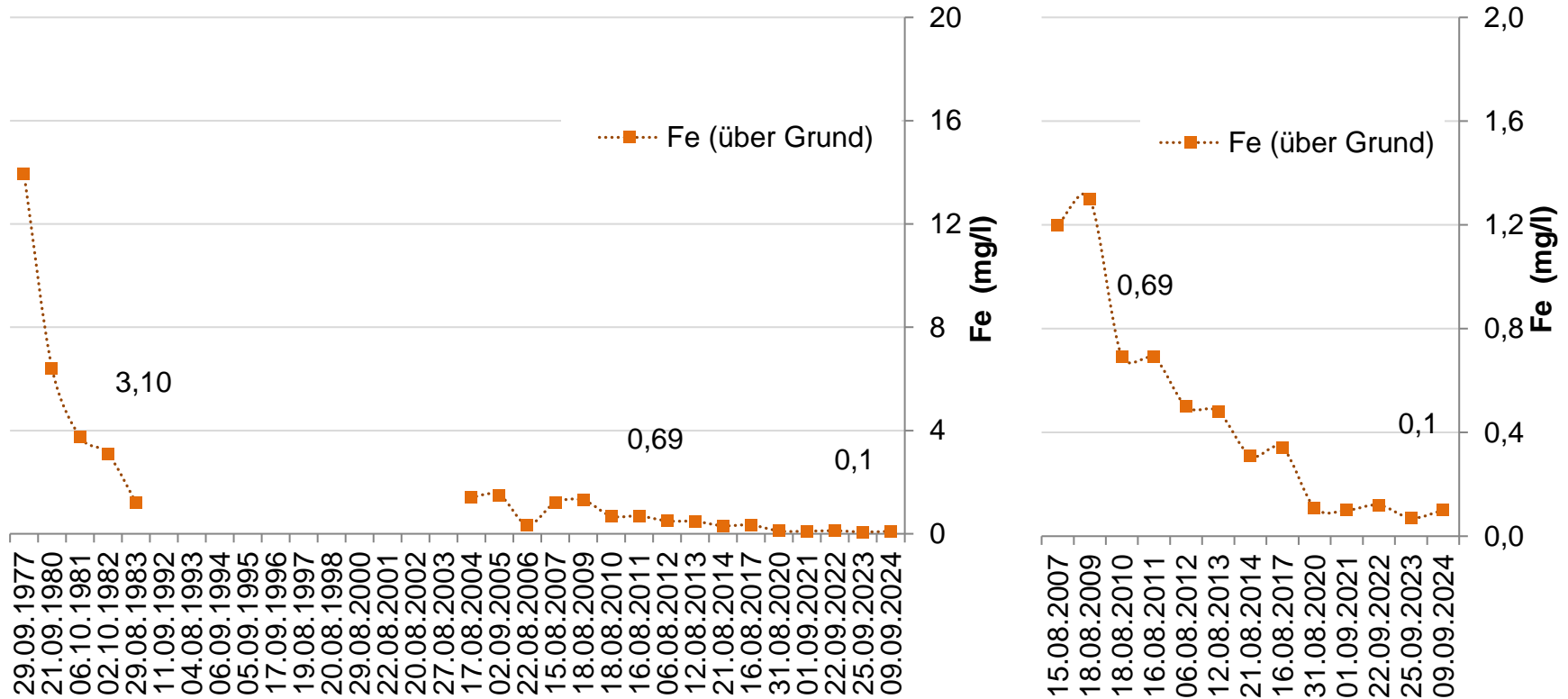
Hoher PO₄-P nach Auffüllung

Sprunghafter Anstieg PO₄-P Konz seit 2014

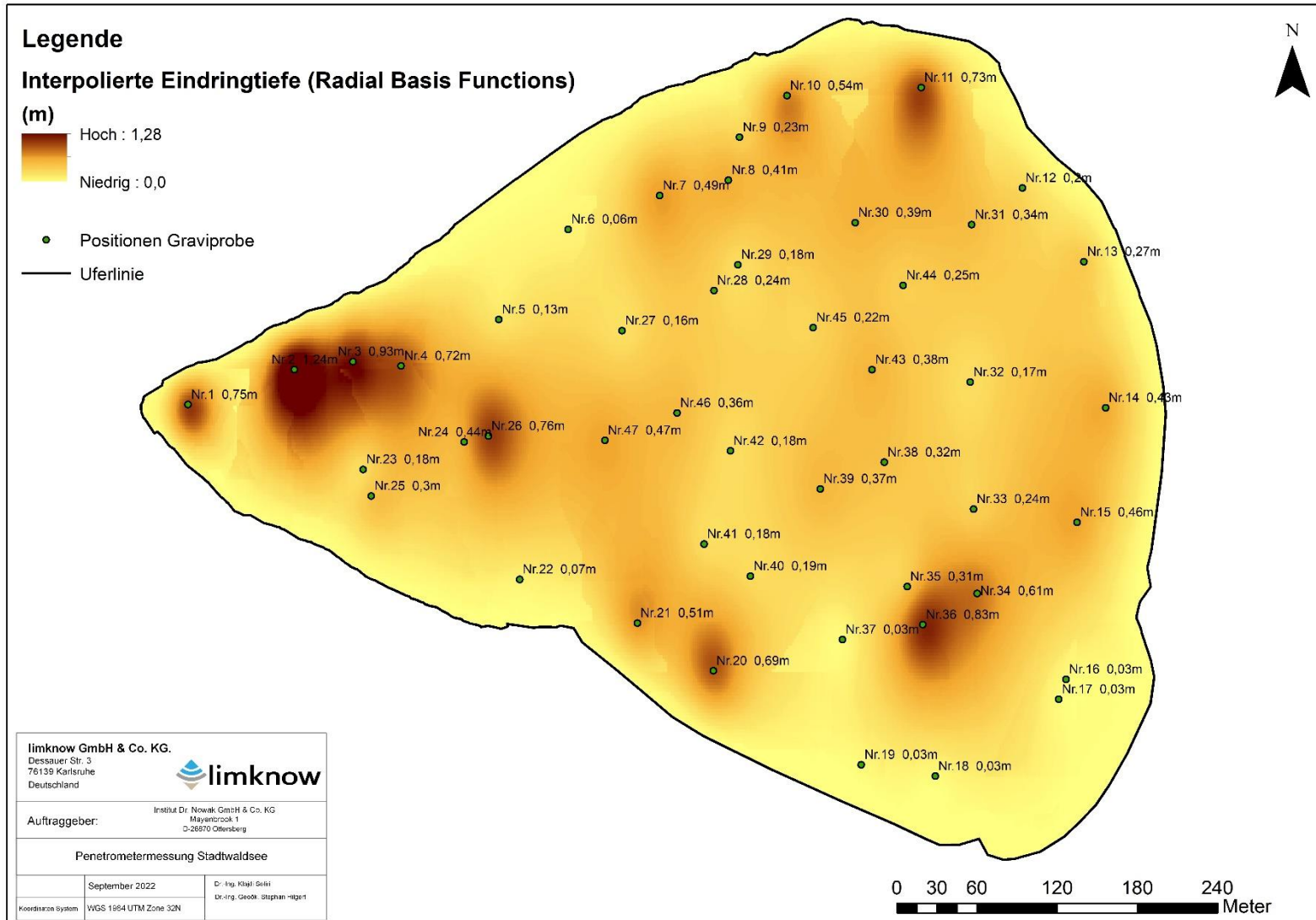
Vollzirkulation (Nov - Mrz)

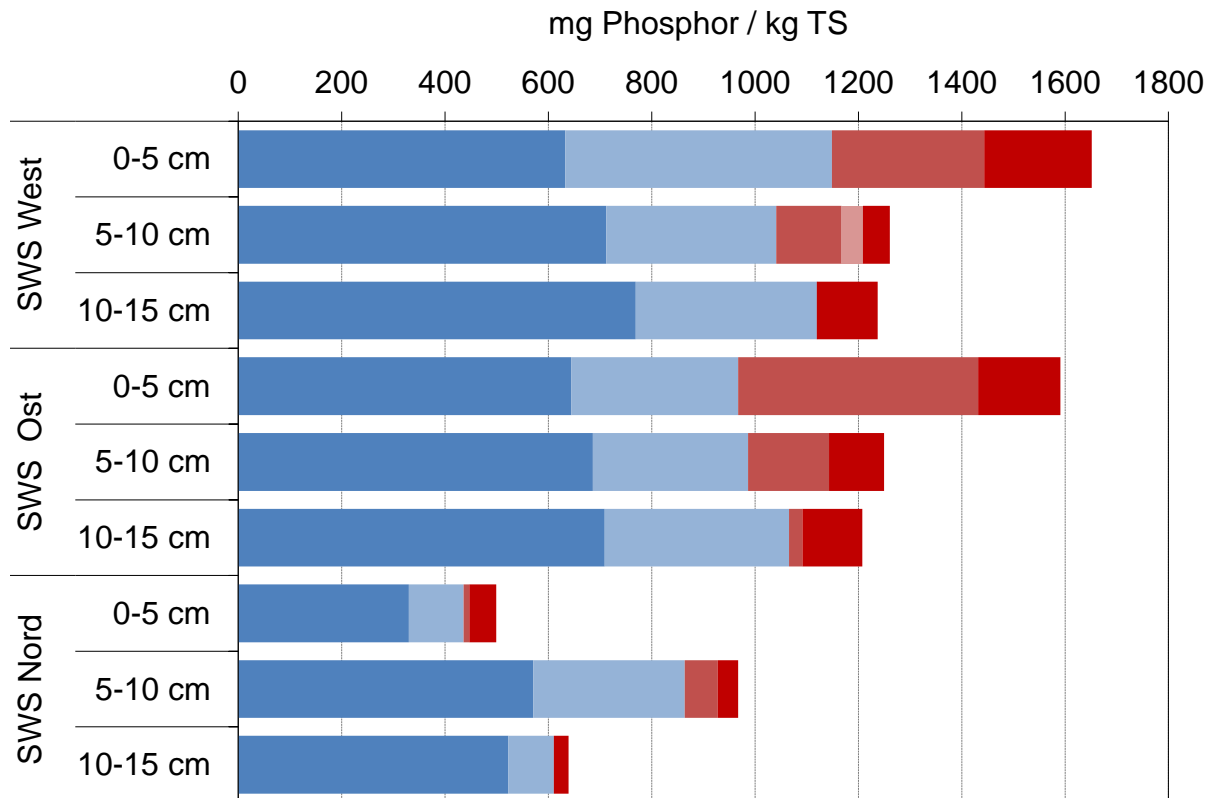


- Steigende P-Konz. nach Vollzirkulation
- Mehr P im Wasserkörper
- Phytoplankton als Profiteur
- Geringere Transparenz Winter/Frühjahr
- Sukzessive Schwächung der Makrophyten
- Weitere Eintrübung & Zunahme Phytopl.

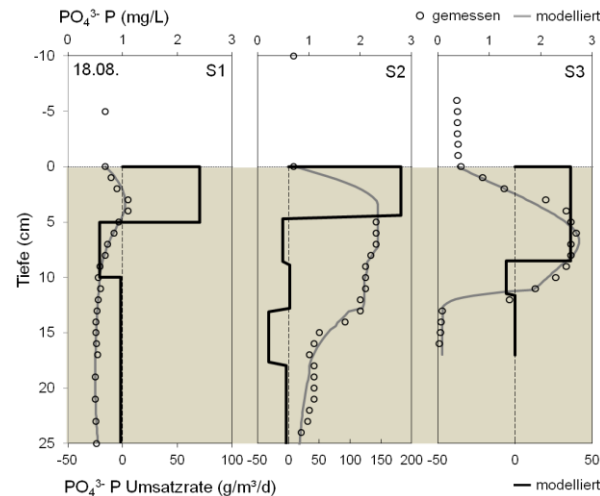
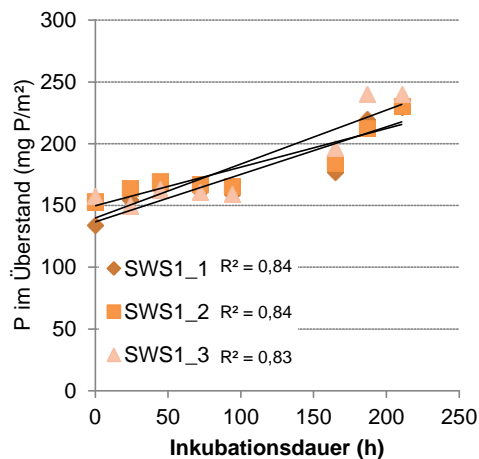
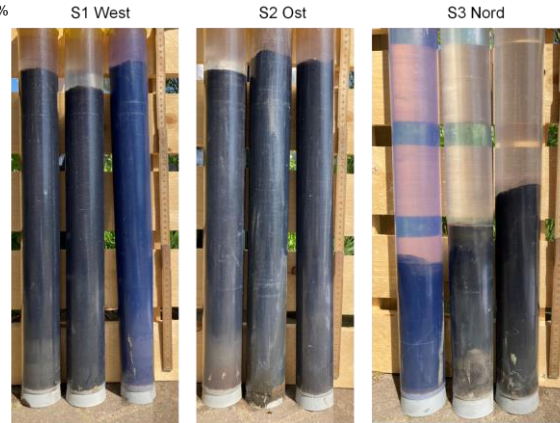
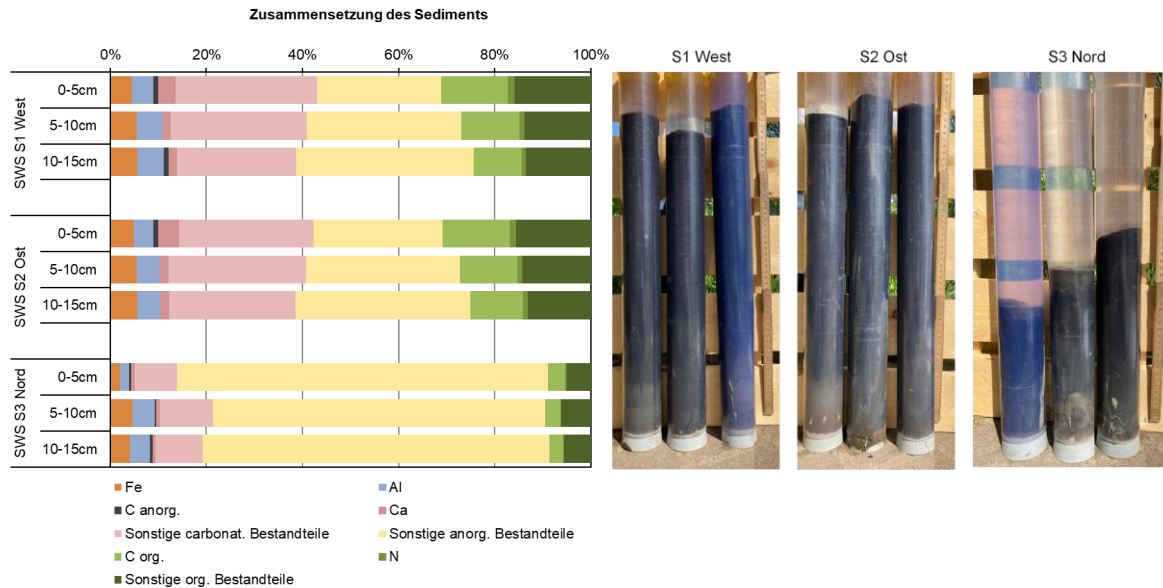


- Hohe Fe-Konz. über Grund nach Auffüllung
- Seither **stetige Abnahme**
- Deutlicher Rückgang seit 2007
- parallel Zunahme der anaeroben Prozesse (vermeintlich paradox)
- **Relevanz Schwefel u/o Grundwasser**

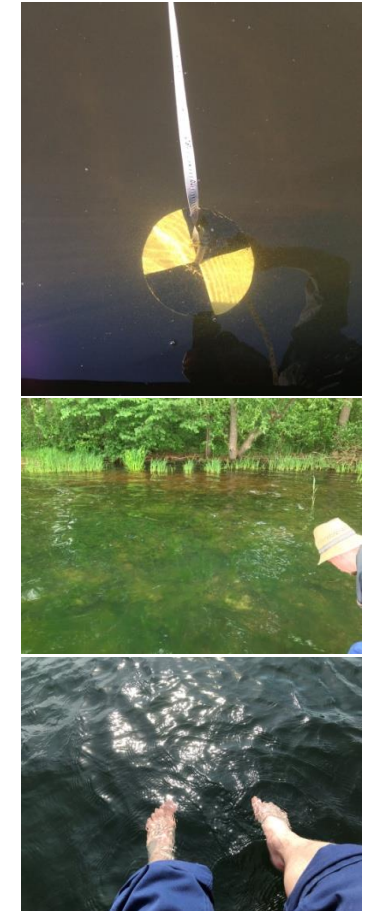
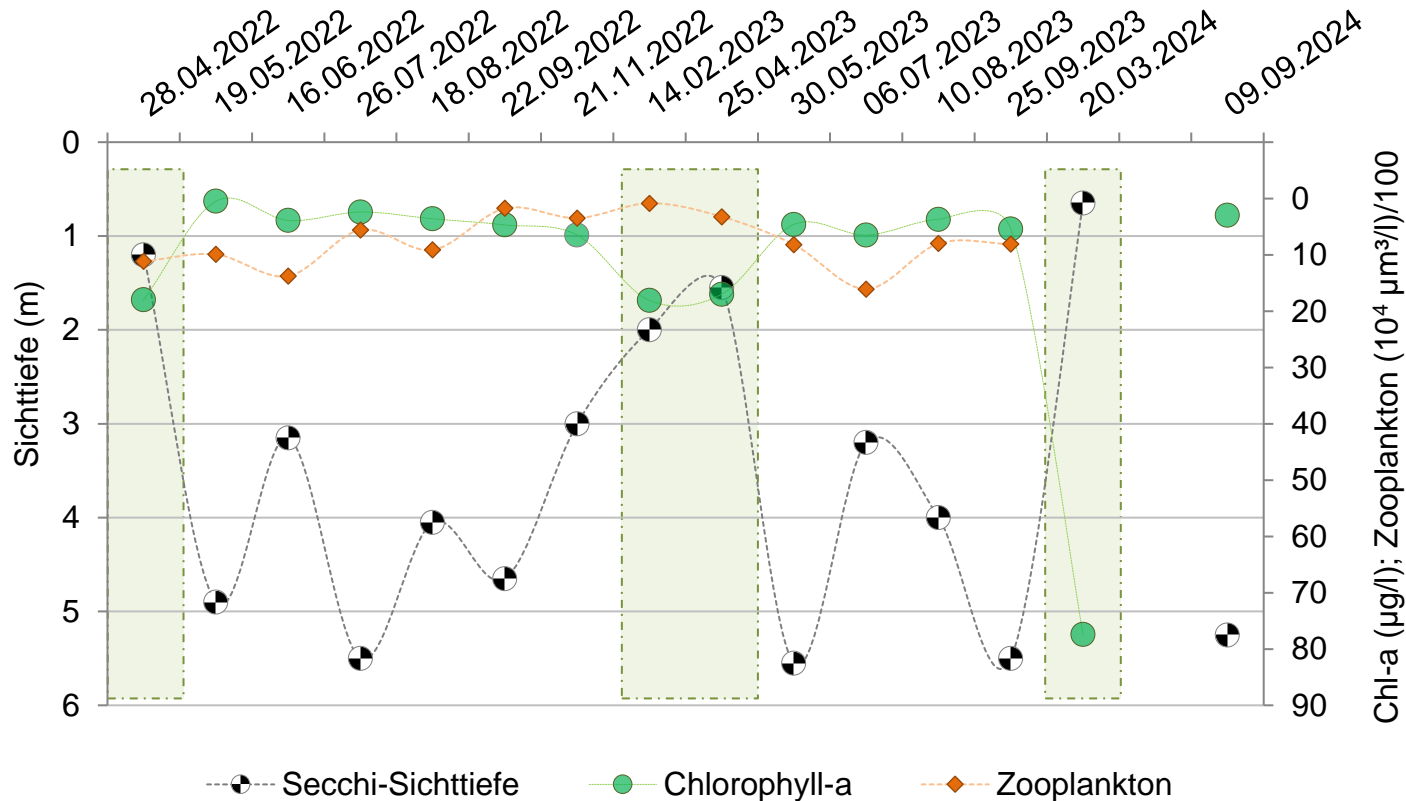




- In der obersten Sedimentlage bis zu 30 % potentiell bioverfügbarer Phosphor



- Schwefel liegt im Verhältnis zu Eisen in hoher Konzentration vor
- Eisen wird im anaeroben Milieu sulfidisch gebunden
- Eisen kann bei aeroben Bedingungen dann nicht erneut $\text{PO}_4\text{-P}$ binden
- verminderte Wiederaufnahmekapazität für P
→ verstärkte Freisetzung von $\text{PO}_4\text{-P}$



- Trübung im Frühjahr / viel Phytoplankton
- Transparenz im Sommer / wenig Phytoplankton
- Rückmischung Tiefenwasser im Nov. (*Planktothrix rub.*)

- Auftreten im Frühjahr 2021, 2023 und 2024
- **trübt den Wasserkörper im Winter/Frühjahr ein**
- sinkt im Sommer in tiefere Lagen ab
- Profitiert von:
 - hoher Nährstoffkonzentration im Winter
 - hohem Lichtangebot im Sommer
 - veränderter Lage des Metalimnions im Sommer





Transekt 2: Armleuchteralge



Transekt 3: Potamogeton perfoliatus



Transekt 3: Armleuchteralge



Transekt 3: Potamogeton pusillus im Flachwasser



Transekt 3: Armleuchteralge in Elodea-Beständen



Transekt 3: Armleuchteralge

- Makrophyten konkurrieren mit dem Phytoplankton um Nährstoffe
- Benötigen transparente Verhältnisse im Frühjahr/Frühsummer



Transekt 3: Potamogeton pectinatus



Transekt 4: Armleuchteralgen



Transekt 4: Armleuchteralgen



Transekt 4: Armleuchteralgen



Transekt 4: Armleuchteralgen



Transekt 5: Wühlschäden

- Makrophyten konkurrieren mit dem Phytoplankton um Nährstoffe
- Benötigen transparente Verhältnisse im Frühjahr/Frühsummer



Transect 3: Potamogeton pectinatus

Tabelle 9. Gesamtartenliste der Makrophyten des Stadtwaldsees 2022.

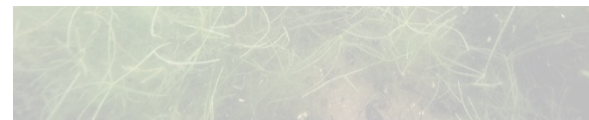
| Armleuchteralgen (n 5) | Höhere Wasserpflanzen (n 7) |
|---------------------------|--------------------------------|
| <i>Chara globularis</i> | <i>Ceratophyllum demersum</i> |
| <i>Chara virgata</i> | <i>Elodea canadensis</i> |
| <i>Chara vulgaris</i> | <i>Myriophyllum spicatum</i> |
| <i>Nitella</i> sp. | <i>Phragmites australis</i> |
| <i>Nitellopsis obtusa</i> | <i>Potamogeton pectinatus</i> |
| | <i>Potamogeton perfoliatus</i> |
| | <i>Potamogeton pusillus</i> |



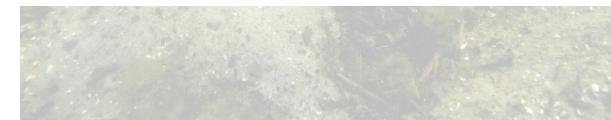
Transect 4: Armleuchteralgen

Tabelle 12. Makrophyten-Tiefengrenzen (MT) der untersuchten Transekte (TS) und mittlere Makrophyten-Tiefengrenze (MMT) im Stadtwaldsee 2022.

| TS | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
| MT (m) | 4,8 | 3,9 | 5,3 | 5,3 | 4,0 |
| MMT (m) | | | 4,7 | | |



Transect 4: Armleuchteralgen



Transect 5: Wühlschäden

- weiterhin wertgebende Arten/Artengruppen
- mittl. Makrophyten-Tiefengrenze nur bis in 4,7 m Wassertiefe



Transect 3: Potamogeton pectinatus



Transect 4: Armluchteralgen

Tabelle 13. Bewertung der Transekte und Gesamtbewertung der Komponente Makrophyten mit dem PHYLIB-Tool 5.3.0.

| Transect | Makrophyten-Seotyp | Modulwert | Zustandsklasse | Bewertung | Ergebnis gesichert |
|-------------|--------------------|-----------|----------------|----------------|--------------------|
| 1 | TKg 13 | 3,92 | 4 | unbefriedigend | nein |
| 2 | | 3,15 | 3 | mäßig | ja |
| 3 | | 2,75 | 3 | mäßig | ja |
| 4 | | 2,29 | 2 | gut | ja |
| 5 | | 3,74 | 4 | unbefriedigend | nein |
| Mittelwert: | | 2,7 | 3 | mäßig | |



Transect 4: Armluchteralgen



Transect 5: Wühlschäden

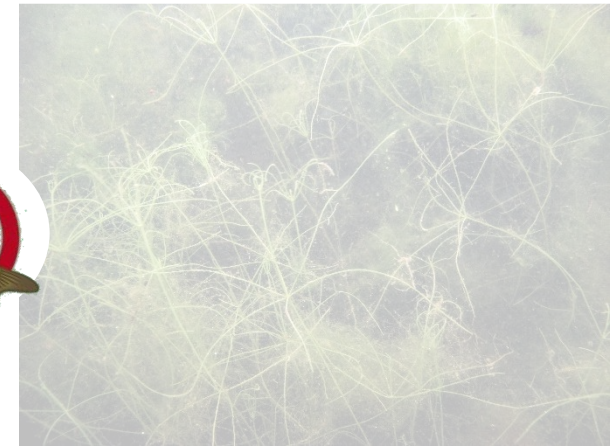
- räumliche Unterschiede (teils auch morphologisch bedingt)
- insg. mäßiger Zustand



Transect 3: Potamogeton pectinatus



Transect 4: Armleuchteralgen



Transect 4: Armleuchteralgen



Transect 4: Armleuchteralgen



Transect 4: Armleuchteralgen



Transect 5: Wühlschäden

- negativer Einfluss durch benthivore (im Sediment nach Nahrung suchende) Fischarten
- Wühltrichter von Karpfen und Brachsen



- Elektrofischung in insg. 4 Transekten à 300 m Länge
- Stellnetzbefischung in 2 Fangnächten mit 4 je 30 m langen benthischen Netzen & einem 30 m langen 6 m hohen pelagischen Netz

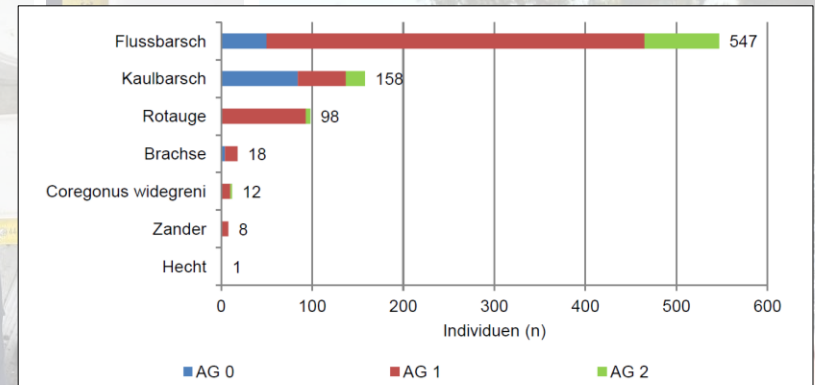


Abbildung 13. Durch Stellnetzbefischung nachgewiesene Fischarten und Individuenzahlen im Stadtwaldsee 2022. AG 0 = 0+-Individuen, AG 1 = präadult, AG 2 = adult.

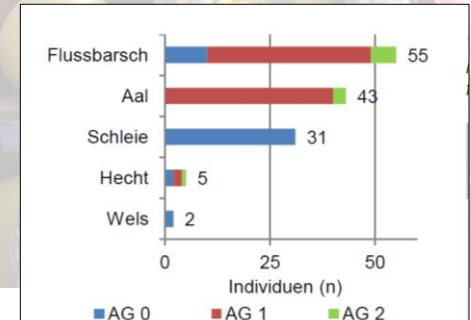
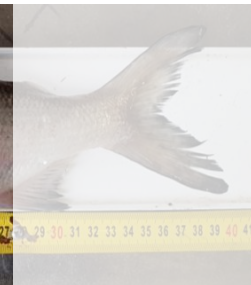


Abbildung 12. Durch Elektrofischung nachgewiesene Fischarten, Individuenzahlen und Altersstrukturen im Stadtwaldsee 2022. AG 0 = 0+-Individuen, AG 1 = präadult, AG 2 = adult.

- vergleichsweise artenreiche Fischzönose
- überwiegend gewässertypische Fischarten



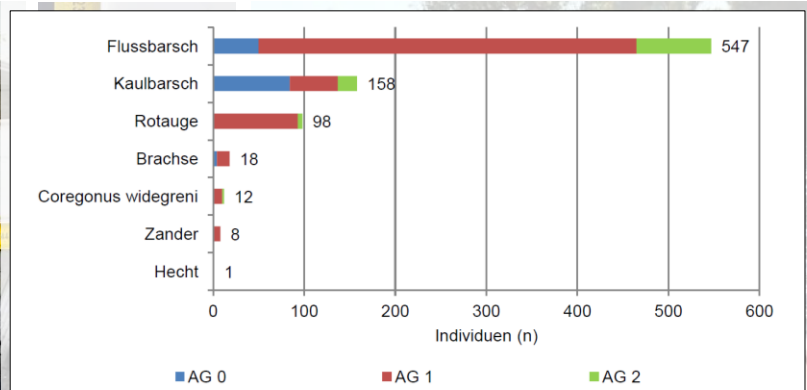


Abbildung 13. Durch Stellnetzbefischung nachgewiesene Fischarten und Individuenzahlen im Stadtwaldsee 2022. AG 0 = 0+-Individuen, AG 1 = präadult, AG 2 = adult.

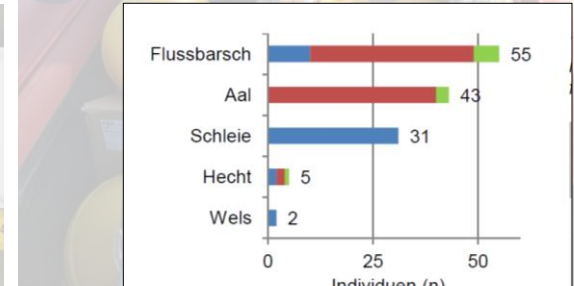








Abbildung 12. Durch Elektrofischung nachgewiesene Fischarten, Individuenzahlen und Altersstrukturen im Stadtwaldsee 2022. AG 0 = 0+-Individuen, AG 1 = präadult, AG 2 = adult.

- vergleichsweise artenreiche Fischzönose
- überwiegend gewässertypische Fischarten
- negativer Einfluss von Karpfen & Brachsen → Besatz ist **unpassend und bedenklich**
- Reduzierung der sonstigen Besatzmaßnahmen angeraten

Trophieklassifikation von Seen

| Trophiestufe | oligotroph | mesotroph1 | mesotroph2 | eutroph1 | eutroph2 | polytroph1 | polytroph2 | hypertroph |
|--------------------|------------|---|---|--|---|---|---|-----------------------|
| Trophie-Index | 0,71 – 1,5 | 1,6 – 2,0 | 2,1 – 2,5 | 2,6 – 3,0 | 3,1 – 3,5 | 3,6 – 4,0 | 4,1 – 4,5 | 4,6 – 5,5 |
| Nährstoffbelastung | ohne |  |  |  |  |  |  | Übermäßig hoch |









oligotroph



polytroph









Trophieklassifikation von Seen

| | | | | | | | | |
|--------------------|------------|---|---|--|---|---|---|----------------|
| Trophiestufe | oligotroph | mesotroph1 | mesotroph2 | eutroph1 | eutroph2 | polytroph1 | polytroph2 | hypertroph |
| Trophie-Index | 0,71 – 1,5 | 1,6 – 2,0 | 2,1 – 2,5 | 2,6 – 3,0 | 3,1 – 3,5 | 3,6 – 4,0 | 4,1 – 4,5 | 4,6 – 5,5 |
| Nährstoffbelastung | ohne |  |  |  |  |  |  | Übermäßig hoch |

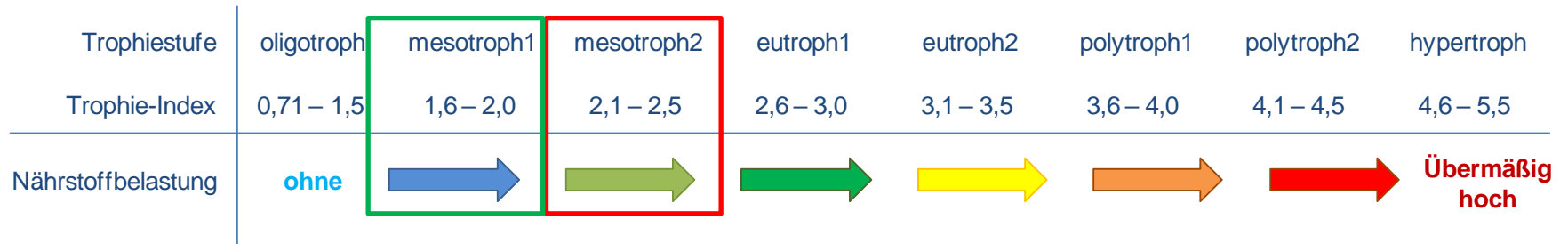
| | | Stadtwaldsee | | | | |
|---------------------------------|---------|----------------|----------------|--------------|----------------|----------------|
| | | 2012 | 2017 | 2020 | 2022 | 2023 |
| Trophiekriterium | Einheit | SKUMS | | | IDN | IDN |
| Chl-a (Saison-Mittelwert) | µg/l | < 10 | < 10 | 12,3 | 5,66 | 7,44 |
| Sichttiefe (Saison-Mittelwert) | m | 4,31 | 4,2 | 3,53 | 3,78 | 3,96 |
| TP (Vollzirkulation; Frühjahr*) | µg/l | 13 | 49 | 73 | 100 | 92 |
| TP (Saison-Mittelwert) | µg/l | 12,6 | 30,2 | 52 | 35 | 29 |
| Gesamt-Trophie-Index | - | 1,65 | 2,15 | 2,68 | 2,40 | 2,39 |
| Trophiegrad | | mesotroph 1 | mesotroph 2 | eutroph 1 | mesotroph 2 | mesotroph 2 |

Trophieklassifikation von Seen

| | | | | | | | | |
|--------------------|------------|---|---|--|---|---|---|----------------|
| Trophiestufe | oligotroph | mesotroph1 | mesotroph2 | eutroph1 | eutroph2 | polytroph1 | polytroph2 | hypertroph |
| Trophie-Index | 0,71 – 1,5 | 1,6 – 2,0 | 2,1 – 2,5 | 2,6 – 3,0 | 3,1 – 3,5 | 3,6 – 4,0 | 4,1 – 4,5 | 4,6 – 5,5 |
| Nährstoffbelastung | ohne |  |  |  |  |  |  | Übermäßig hoch |

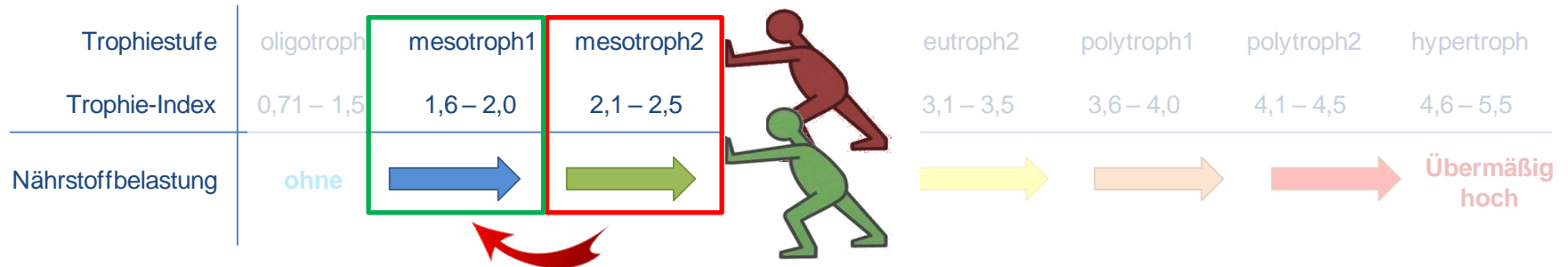
| Trophiekriterium | Einheit | Entwicklungsziel | Stadtwaldsee | |
|---------------------------------|---------|------------------|----------------|----------------|
| | | | 2022 | 2023 |
| Chl-a (Saison-Mittelwert) | µg/l | ≤ 5,4 | 5,66 | 7,44 |
| Sichttiefe (Saison-Mittelwert) | m | ≥ 3,40 | 3,78 | 3,96 |
| TP (Vollzirkulation; Frühjahr*) | µg/l | ≤ 18 | 100 | 92 |
| TP (Saison-Mittelwert) | µg/l | ≤ 18 | 35 | 29 |
| Gesamt-Trophie-Index | - | ≤ 2,0 | 2,40 | 2,39 |
| Trophiegrad | - | mesotroph 1 | mesotroph 2 | mesotroph 2 |

Trophieklassifikation von Seen



| Trophiekriterium | Einheit | Entwicklungsziel | Stadtwaldsee | |
|--|---------|------------------|----------------|----------------|
| | | | 2022 | 2023 |
| Chl-a (Saison-Mittelwert) | µg/l | ≤ 5,4 | 5,66 | 7,44 |
| Sichttiefe (Saison-Mittelwert) | m | ≥ 3,40 | 3,78 | 3,96 |
| TP (Vollzirkulation; Frühjahr*) | µg/l | ≤ 18 | 100 | 92 |
| TP (Saison-Mittelwert) | µg/l | ≤ 18 | 35 | 29 |
| Gesamt-Trophie-Index | - | ≤ 2,0 | 2,40 | 2,39 |
| Trophiegrad | - | mesotroph 1 | mesotroph 2 | mesotroph 2 |

Trophieklassifikation von Seen



| Trophiekriterium | Einheit | Entwicklungsziel | Stadtwaldsee | |
|--|---------|------------------|----------------|----------------|
| | | | 2022 | 2023 |
| Chl-a (Saison-Mittelwert) | µg/l | ≤ 5,4 | 5,66 | 7,44 |
| Sichttiefe (Saison-Mittelwert) | m | ≥ 3,40 | 3,78 | 3,96 |
| TP (Vollzirkulation; Frühjahr*) | µg/l | ≤ 18 | 100 | 92 |
| TP (Saison-Mittelwert) | µg/l | ≤ 18 | 35 | 29 |
| Gesamt-Trophie-Index | - | ≤ 2,0 | 2,40 | 2,39 |
| Trophiegrad | - | mesotroph 1 | mesotroph 2 | mesotroph 2 |

| Maßnahme → Kapitel | Trophie- senkung | Erhalt und Entwicklung ÖSF | Priorität | Kosten- klasse | Ziele & Erläuterungen (Auswahl) |
|--|--------------------------|----------------------------------|---|--|---|
| <i>Direkte Verringerung der P-Verfügbarkeit im See</i> | | | | | |
| Maßnahme xy → 6.x.x | +++ bis - | +++ bis - | Sehr hoch - nicht empfohlen | Keine Kosten - Kosten- klasse 6 | <ul style="list-style-type: none"> Infos zu Auswirkungen und Einschränkungen |

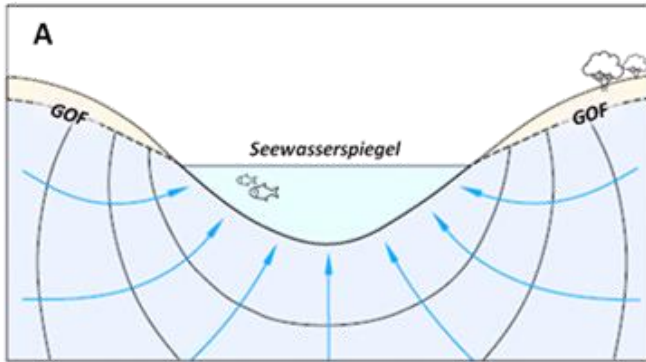
| Kostenklasse | geschätzte Kosten in € (netto) |
|--------------|--------------------------------|
| 1 | < 5.000 |
| 2 | 5.000–15.000 |
| 3 | 15.000–45.000 |
| 4 | 45.000–135.000 |
| 5 | 135.000–405.000 |
| 6 | > 405.000 |

| Maßnahme → Kapitel | Trophie- senkung | Erhalt u. Entwicklung ÖSF | Priorität | Kosten- klasse | Ziele & Erläuterungen (Auswahl) |
|---|---------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------|--|
| Sedimententnahme → 6.1.1 | + | + | nicht empfohlen | 6 | <ul style="list-style-type: none"> • Senkung P, TOC, NH₄-N • Vergrößerung des Wasservolumens • Nur kurzzeitige Verminderung der Sauerstoffzehrung |
| Tiefenwasserentnahme → 6.1.2 | ++ | + | nicht empfohlen | 5–6 | <ul style="list-style-type: none"> • Senkung P, TOC NH₄-N • Austrag O₂-zehrender Substanzen • Verringerung Frühjahrs-TP • ! Unklarer Einfluss des Grundwassers ! |
| Phosphorfällung / - bindung → 6.1.3 | +++ | +++ | sehr hoch | 5 | <ul style="list-style-type: none"> • Senkung P, TOC • Erhöhung Wassertransparenz • Ausfällung von Cyanobakterien • Verminderung der P-Rücklösung durch P-Bindung im Sediment • ! Unklarer Einfluss des Grundwassers ! |

| Maßnahme → Kapitel | Trophie- senkung | Erhalt u. Entwicklung ÖSF | Priorität | Kosten- klasse | Ziele & Erläuterungen (Auswahl) |
|--|---------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------|--|
| Tiefenwasserbelüftung → 6.2.1 | + | ++ | nicht empfohlen | 5–6 | <ul style="list-style-type: none"> Vergrößerung aerober Lebensräume Nur kurzzeitige Bindung von P an oxidiertem Eisen → Eisenmangel Verringerung O₂-zehrender Substanzen |
| Steuerung des Fischbestandes u. Nahrungsnetzes → 6.2.2 | + | ++ | hoch | 1–3 | <ul style="list-style-type: none"> Schutz von Makrophyten Verminderung von Resuspension und P-Freisetzung Erhöhung der Wassertransparenz |
| Schutzzonen für Makrophyten → 6.2.3 | + | +++ | sehr hoch | 2–3 | <ul style="list-style-type: none"> Erhalt des Regenerationspotentials wertvoller Makrophyten-Bestände Erhöhung der Wassertransparenz |
| Entfernung von Fadenalgen → 6.2.4 | / | / | hoch | 2 | <ul style="list-style-type: none"> bei Bedarf: Entnahme von organischem Material am Ufer |

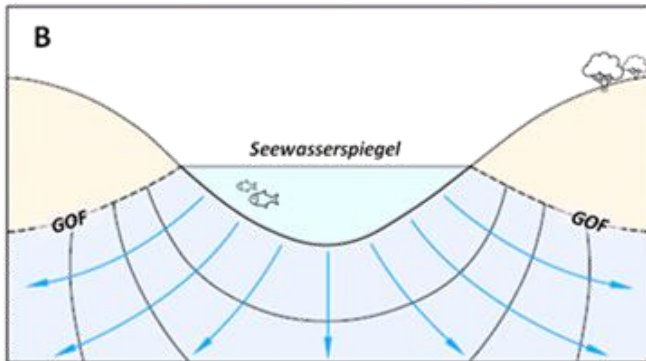
| Maßnahme → Kapitel | Trophie- senkung | Erhalt u. Entwicklung ÖSF | Priorität | Kosten- klasse | Ziele & Erläuterungen (Auswahl) |
|--|---------------------|---------------------------------|--------------|-------------------|--|
| P-Einträge Badegäste → 6.3.1 | ++ | ++ | sehr hoch | 4–5 | <ul style="list-style-type: none"> • Senkung P & N • Steigerung der Akzeptanz für Schutzziele und den Erhalt des Badegewässers |
| Fütterung von Wasservögeln → 6.3.2 | + | + | hoch | 1 | <ul style="list-style-type: none"> • Senkung P, N, TOC |
| Ufer- und Erosionsschutz → 6.3.3 | + | + | hoch | 2–3 | <ul style="list-style-type: none"> • Verminderung mineralischer Einträge • Aufwertung und Sicherung von Uferbereichen |
| Rückhalt in oberirdischen Zuläufen → 6.3.4 | + | + | mittel | 3–4 | <ul style="list-style-type: none"> • Senkung P & N während Starkniederschlägen • Rückhalt von sonstigen Stoffen aus dem Siedlungsbereich |

| Maßnahme → Kapitel | Trophie- senkung | Erhalt u. Entwicklung ÖSF | Priorität | Kosten- klasse | Ziele & Erläuterungen (Auswahl) |
|--|---------------------|---------------------------------|--------------|-------------------|---|
| Gewässermonitoring → 6.4.1 | / | / | sehr hoch | 2–3 | <ul style="list-style-type: none"> • Prozessverständnis unter wechselnder Witterung • Planungsgrundlage für u. Effizienzkontrolle von Maßnahmen • Dialog von Nutzergruppen und Behörden in Form eines „Runden Tisches“ |
| Einrichtung von Grundwassermessstellen → 6.4.2 | / | / | hoch | 3 | <ul style="list-style-type: none"> • Ermittlung der Quantität und Qualität des seenahen Grundwassers • Erfassung der Wechselwirkung zwischen Grundwasser und See |
| | | | | | |

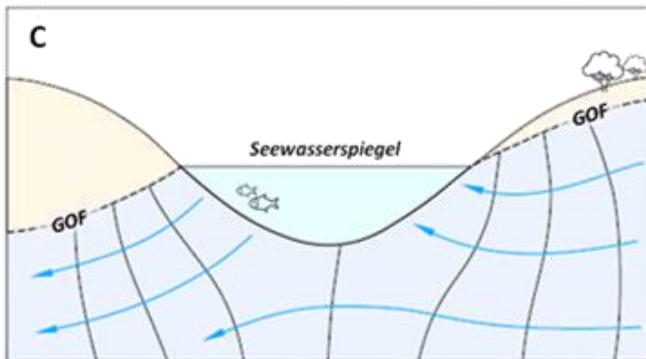


theoretische Konzepte

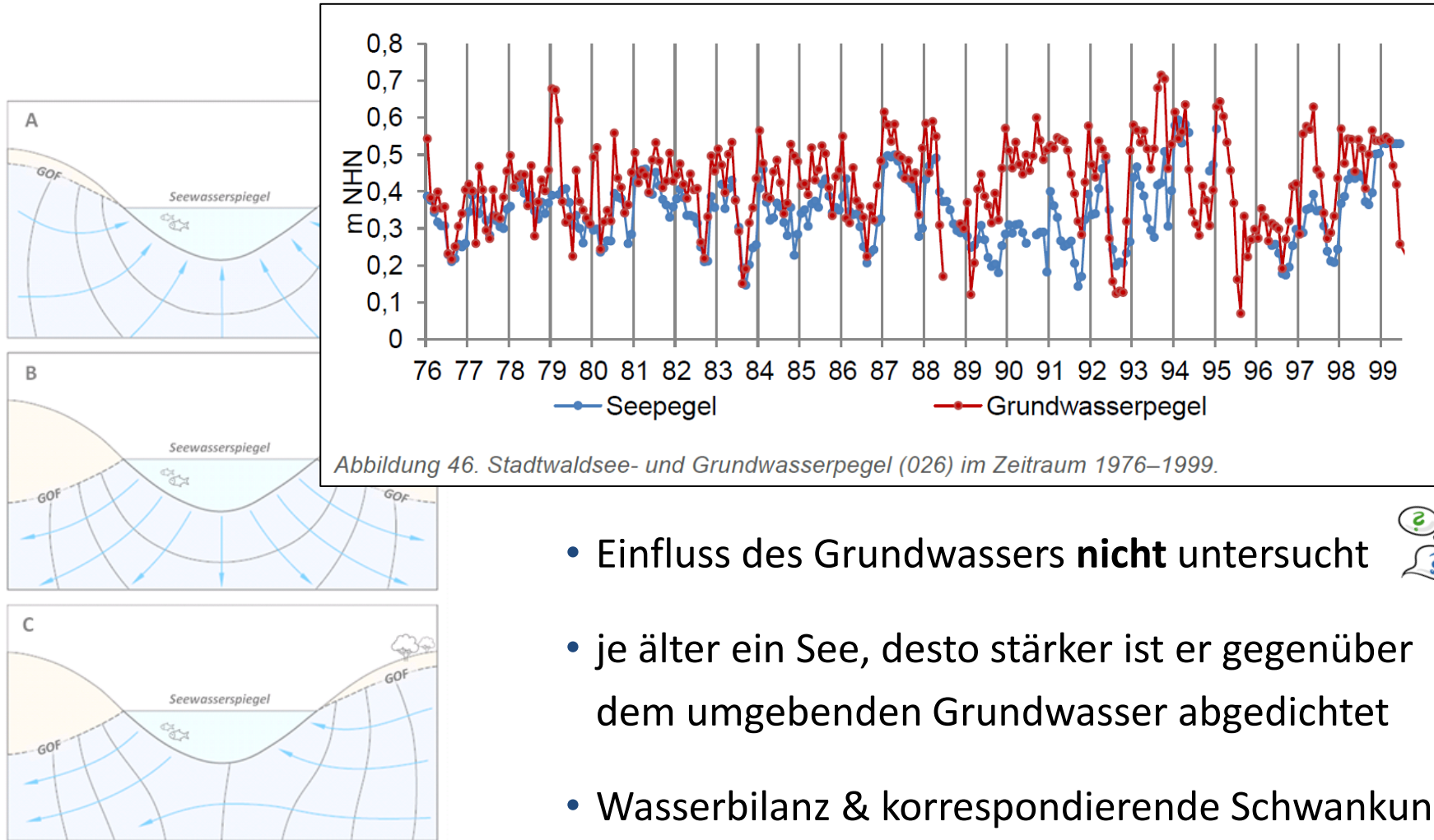
- **A**
Grundwasser fließt dem See zu



- **B**
Seewasser fließt dem Grundwasser zu



- **C**
Grundwasser fließt sowohl zu als auch ab



VIELEN DANK
FÜR DIE
AUFMERKSAMKEIT

FRAGEN
&
ANREGUNGEN ?



Institut Dr. Nowak GmbH & Co. KG
Mayenbrook 1, 28870 Ottersberg

--

Dr. Tim Epe

Abteilungsleitung Limnologie
(Dipl.-Landsch.-Ökol.)

--

+49 4205 3175 38
te@limnowak.com

<https://www.limnowak.com>



