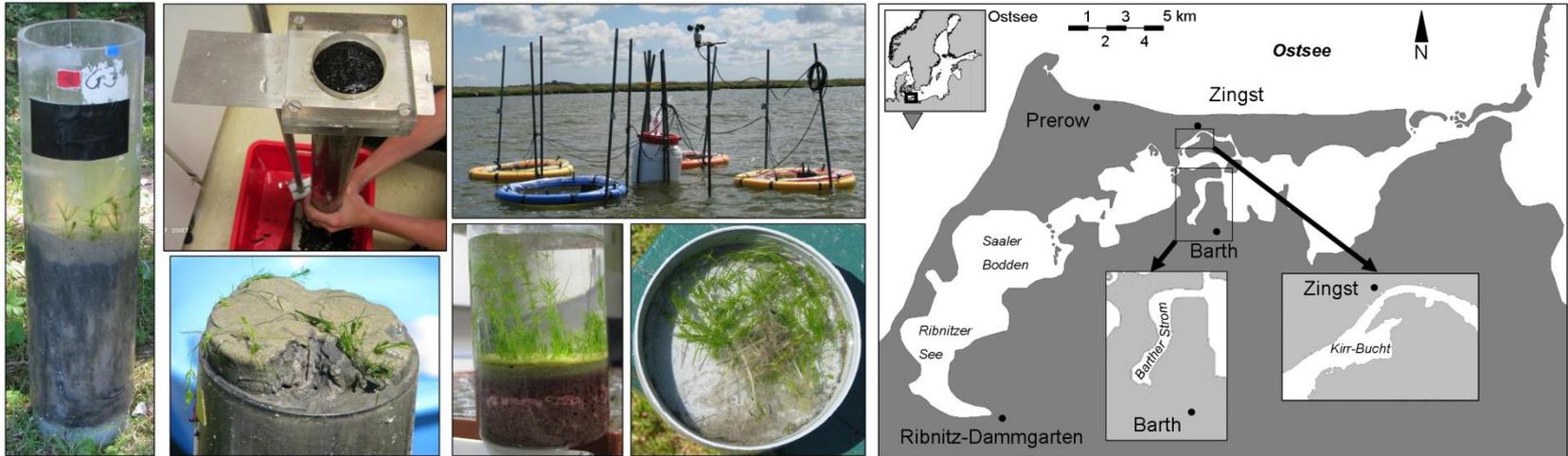


# Zum Einfluss des Makrophytenbewuchses auf die Freisetzung von Phosphor aus Sedimenten

Arne Schoor/Mario von Weber



**Auftraggeber:** Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LUNG)  
Mecklenburg-Vorpommern

**Auftragnehmer:** Universität Rostock, Institut für Biowissenschaften,  
Aquatische Ökologie (Dr. Arne Schoor)

**mit freundlicher institutioneller Unterstützung durch:**  
Nationalpark Vorpommersche Boddenlandschaft,  
Biologische Station Zingst (Universität Rostock) u.a.

# Folgen der Eutrophierung in den Küstengewässern

## Wie verläuft der Prozess der Eutrophierung?

(Quelle: UBA)

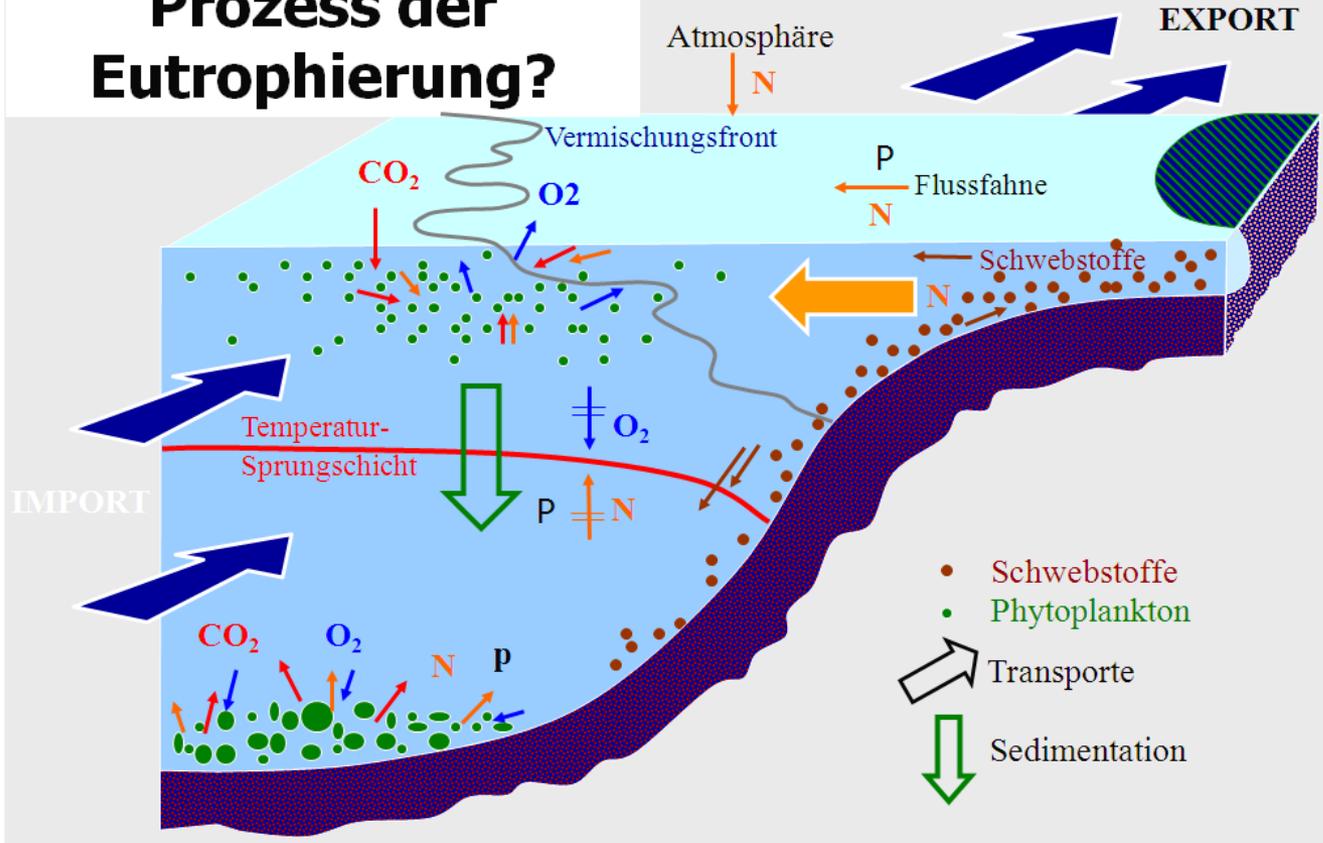
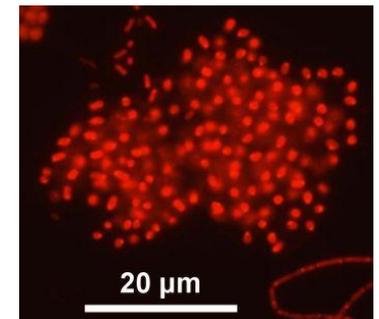
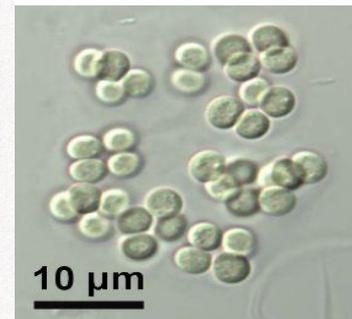
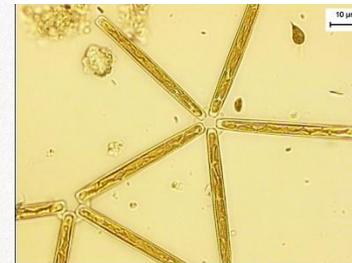
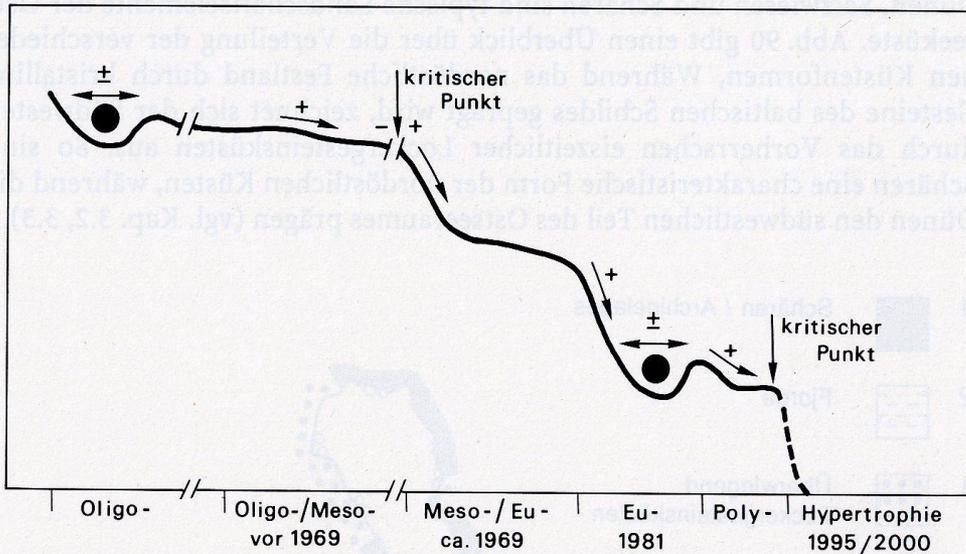


Foto: S. Dahlke



# Hypothetischer Verlauf der Eutrophierung im Barther Bodden seit Schließung des Prerow-Stromes im Jahre 1874 (nach Schiewer & Gocke 1996)

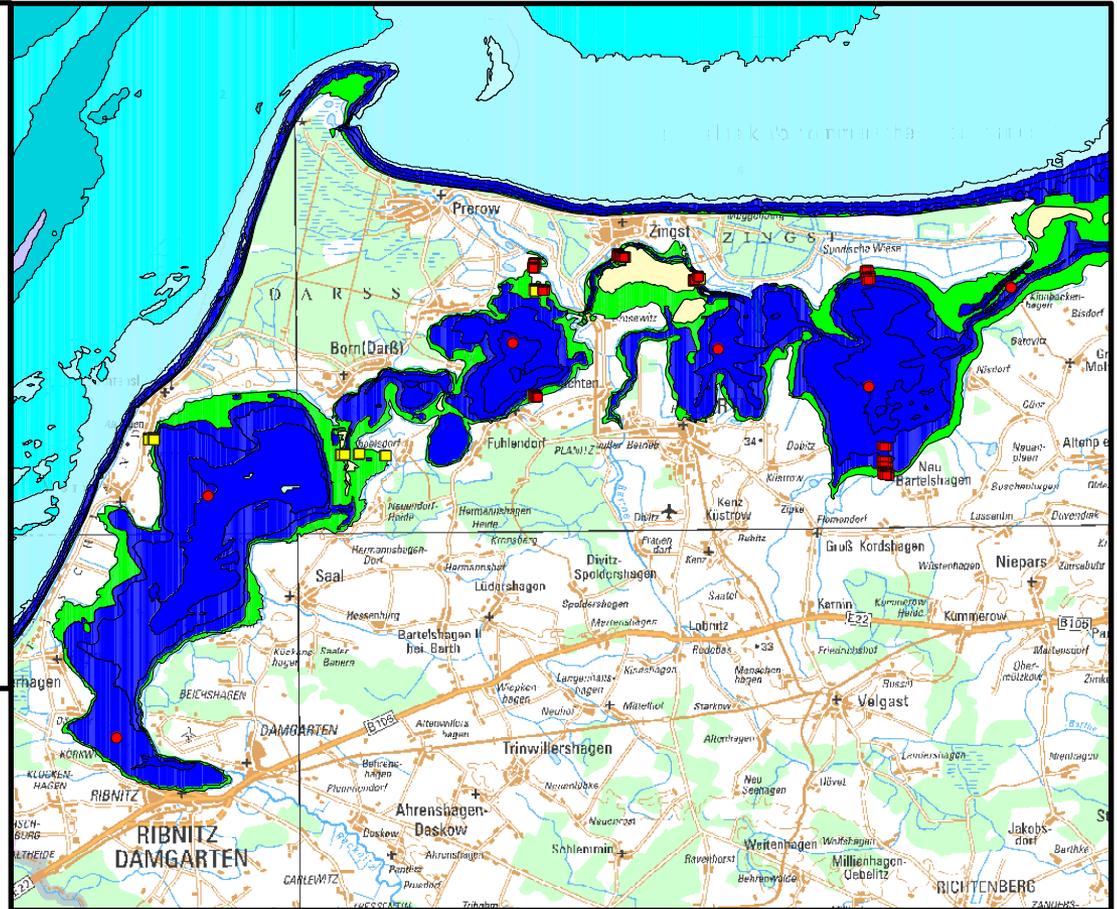


**Abb. 88.** Hypothetischer Verlauf der Eutrophierung im Barther Bodden. Der oligotrophe Abschnitt war durch einen umfangreichen Austausch mit der Ostsee gekennzeichnet und ist dem Entstehungszeitraum der DZBK zuzuordnen. Oligomesotroph dürfte der Barther Bodden bis zum Zeitpunkt der Abriegelung des Prerow-Stromes von der Ostsee im Jahre 1874 gewesen sein. Der erste „kritische Punkt“ wurde in den 1960er Jahren erreicht. Er ist verbunden mit dem Zusammenbruch der submersen Makrophyten im Westteil der DZBK. Im Barther Bodden (Ostteil) kennzeichnet dieser 1981 den Übergang zur Hypertrophierung. Der Rückgang der Belastung in den 1990er Jahren auf 35 % und die Dominanz des mikrobiellen Nahrungsgefüges stabilisieren den erreichten Zustand

# Gegenwärtiger Makrophytenbestand in den DZB

➤ Makrophyten sind gegenwärtig nur noch in den flachen und schmalen Randzonen der DZB anzutreffen (grün eingefärbte Gebiete)

➤ die jahrzehntelange überhöhte Nährstoffzufuhr führte zu einer Dominanz des Phytoplanktons, in deren Folge sich die Lichtverhältnisse verschlechterten und der Makrophytenbestand deutlich zurückging

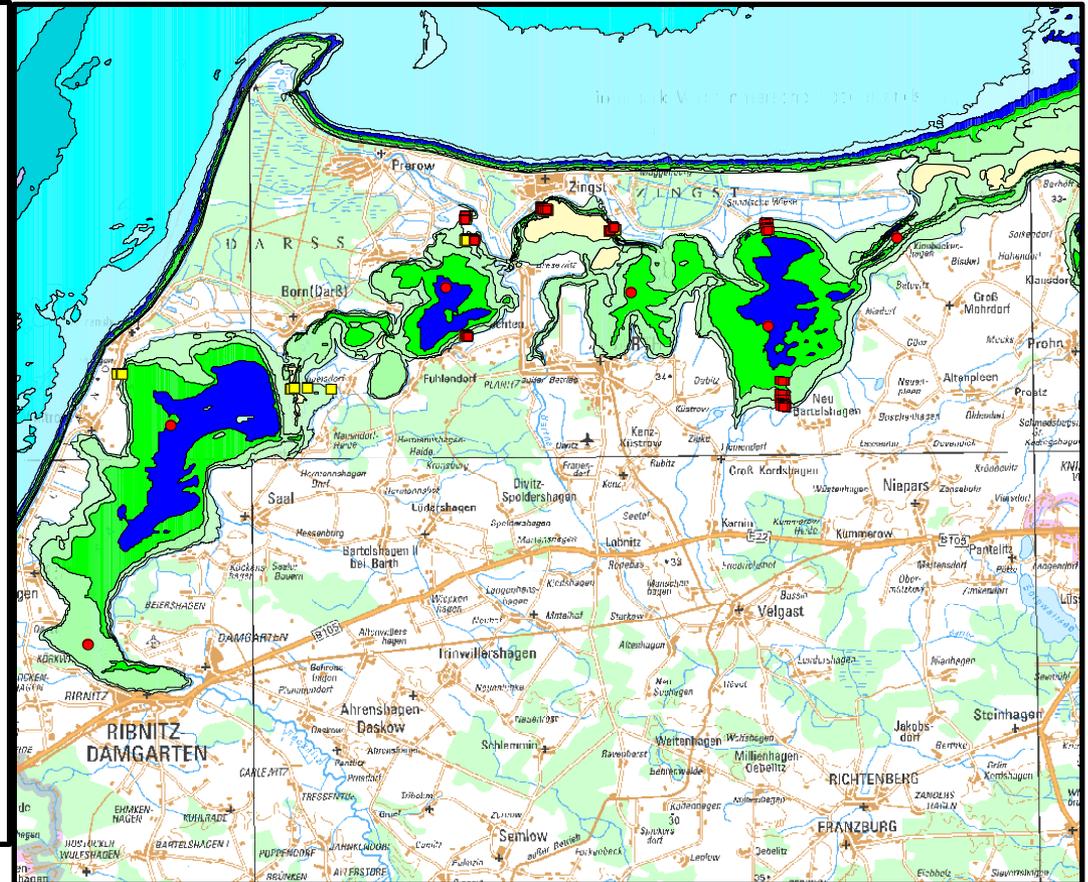


# Hypothetischer Makrophytenbestand bei gutem Zustand der DZBK

Über die Hälfte des Gewässergrundes der Bodden sind durch Makrophyten besiedelt (grün gekennzeichnete Gebiete). Die Sicht- und Lichtverhältnisse sind deutlich verbessert.

Makrophytenfunktionen sind u.a.:

- Primärproduktion (P, N, O<sub>2</sub>)
- Lebensraum/Habitat
- „Kinderstube“
- Sedimentstabilisierung
- Erosionsschutz
- Küstenschutz „Wellenbrecher“



# Untersuchungsschema und methodische Strategien (in situ)

**Untersuchungsstandorte:** Kirr-Bucht (Barther Strom, Saaler Bodden)

**Untersuchungszeitraum:** Vegetationsperioden 2010 bzw. 2011

## Vergleichende Analysen der oberen Sedimentschichten bis 0,2 m Tiefe

Sediment

- Trockenmasse
- org. Trockenmasse
- Kalkgehalt
- Gesamt-Phosphor
- P-Bindungsformen (sequenzielle P-Extraktion)

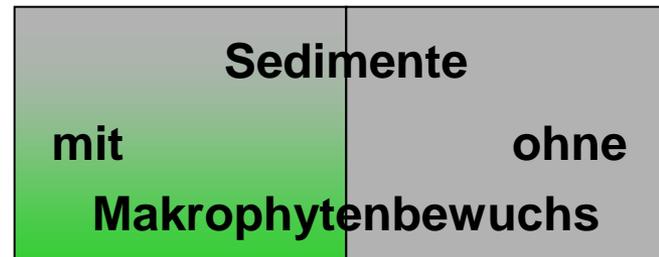
Porenwasser

- SRP
- $\text{NH}_4^+$

(Sauerstoffzehrung)  
( $\text{O}_2$ -Mikroprofilierung)

## Makrophyten-Erfassung

- Biomasse
- Arten & Biomasseverteilung (P-Gehalt)



## Sediment-Diasporenbank

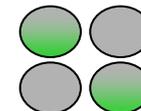
- räumlich bestimmte Sedimententnahme für Laboruntersuchungen (obere 5cm-Sedimentschicht)

## Vergleichende „Enclosure“-Experimente

**Tagesproduktion isolierter, sediment-offener Wasserkörper in situ**

2 x 2 Enclosures

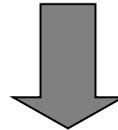
- mit / ohne Makrophytal
- ca. 0,45 m Wassertiefe
- weithin identisches Sediment



- kontinuierliche  $\text{O}_2$ -Messung
- gelöste Nährstoffe
- Gesamt-N; Gesamt-P
- Sedimentanalytik (0-2cm)
- Arten- & Biomasseanalyse
- Lichtaklimatisation

# Untersuchungsschema und methodische Strategien (Labor)

**Sediment mit natürlicher  
Diasporenbank**  
räumlich bestimmt,  
aus der oberen 5cm-Schicht



## Vergleichende Analysen

### Makrophyten

- Keimungsraten
- dominierende Arten
- Sauerstoffamplitude

### Sedimente (0-3cm) mit schwachem und intensivem Makrophytenbewuchs

- Trockenmasse
- org. Trockenmasse
- Kalkgehalt
- Gesamt-Phosphor
- P-Bindungsformen  
(sequenzielle P-Extraktion)

### Porenwasser

- SRP
- $\text{NH}_4^+$

## Keimungsexperimente unter standardisierten Bedingungen

- Sedimenthomogenisierung
- Parallelinkubationen  
(min. n=10 pro Standort)
- Konstanz von Lichtrhythmus,  
Temperatur, Salinität &  
photosynthetischer Strahlungs dosis

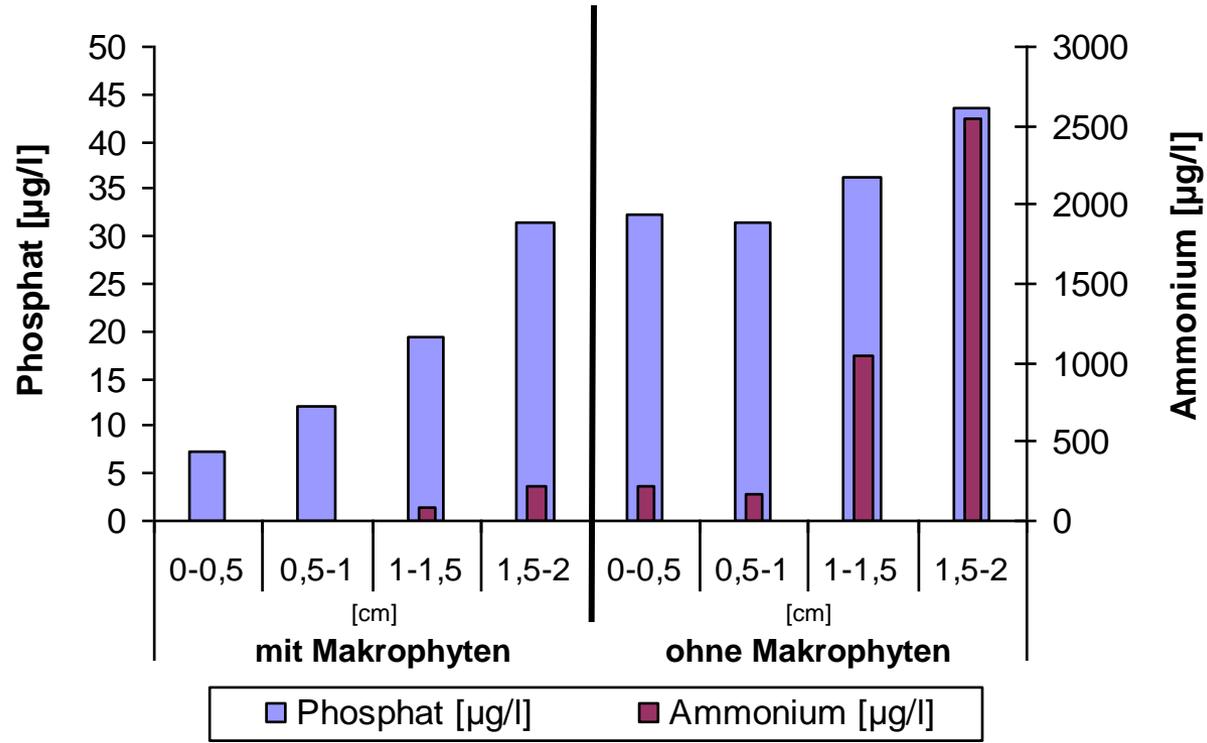
## Inkubationsexperimente „Sauerstoffmangel“

### Phosphat-Freisetzung identischer Ausgangs- sedimente mit und ohne Makrophytenbewuchs

- Künstliche Entfernung von  
Primärkeimlingen zur  
Unterbindung der  
Makrophytenbesiedlung
- Induktion von  
Sauerstoffmangel durch  
Dunkelinkubation (72 h)
- $\text{O}_2$ - und Phosphatanalytik

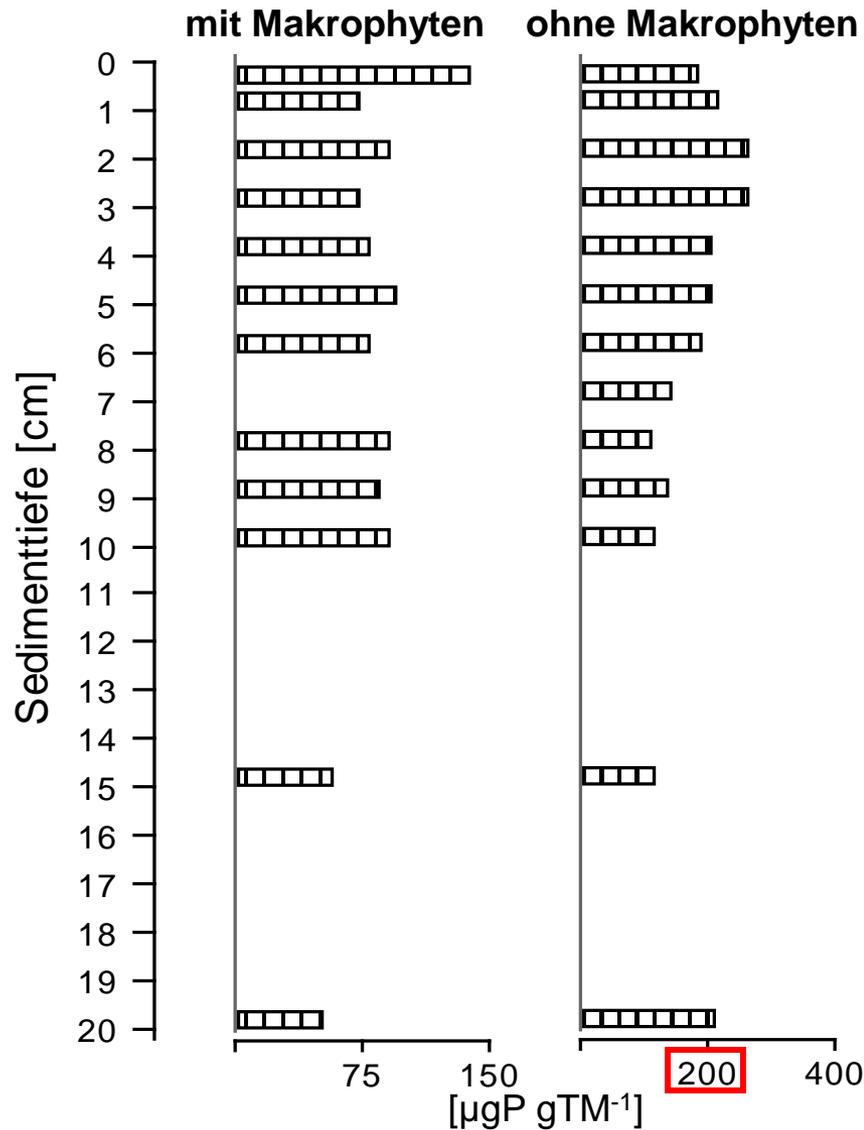
# Reduzierte Netto-Akkumulation gelöster Nährstoffe im Porenwasser der oberen Sedimentschichten mit Makrophytenbesiedlung

Phosphat- und Ammoniumkonzentration im Porenwasser der oberen Sedimentschichten in den Kompartimenten (A, C) des Enclosure-Experiments am 8.7.2010 (mM – mit Makrophyten, oM – ohne Makrophyten)



Beispiel: Kirr-Bucht, Enclosure-Flächen 2010

# Lokal deutliche Differenzierung unterschiedlich besiedelter Flächen anhand des Gesamt-P-Gehaltes im Sediment



Beispiel: Kirr-Bucht, SO, 2010

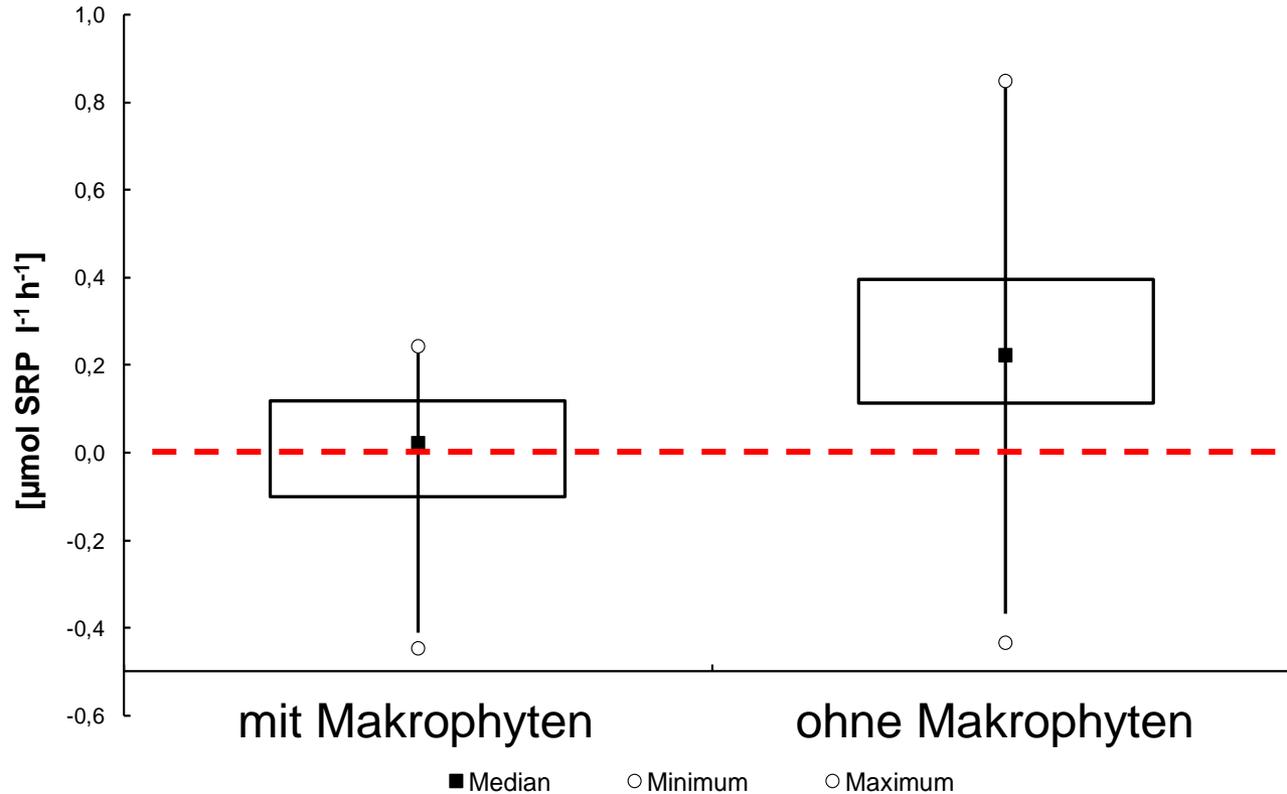
Moderate Besiedlung  
*Chara* spp.,  
*Potamogeton pectinatus*

# Reduzierte relative Anteile „algenverfügbaren“ Phosphors an der Sedimentoberfläche moderat bis stark besiedelter Probeorte

	Probeort (Besiedlung)	Sedimentoberfläche	9-10cm Sedimenttiefe
<b>Barther Strom</b>	mM (schwach)	59	40
	oM	53	62
<b>Kirr-Bucht</b>	mM (moderat-stark)	27	31
	oM	59	22
<b>Kirr-Bucht*</b>		<b>Sedimentoberfläche</b>	<b>2 cm Sedimenttiefe</b>
<b>Enclosure 2010</b>	mM (moderat)	26	28
	oM	31	45
<b>Enclosure 2011</b>	mM (stark)	45	64
	oM	65	58

\* makrophytenfreie Probeorte (oM) in unmittelbarer Umgebung zu besiedelten Probeorten (mM) durch Entfernung von Makrophyten künstlich erzeugt  
(Probenahme nach Restaurierungs- und Experimentalphase)

# Reduzierte Phosphat-Freisetzung im Wasserüberstand identischer Ausgangssedimente durch Makrophytenbesiedlung



-„ohne Makrophyten“ - Entfernung von Primärkeimlingen in Laborkultivierungen über mehrere Wochen hinweg

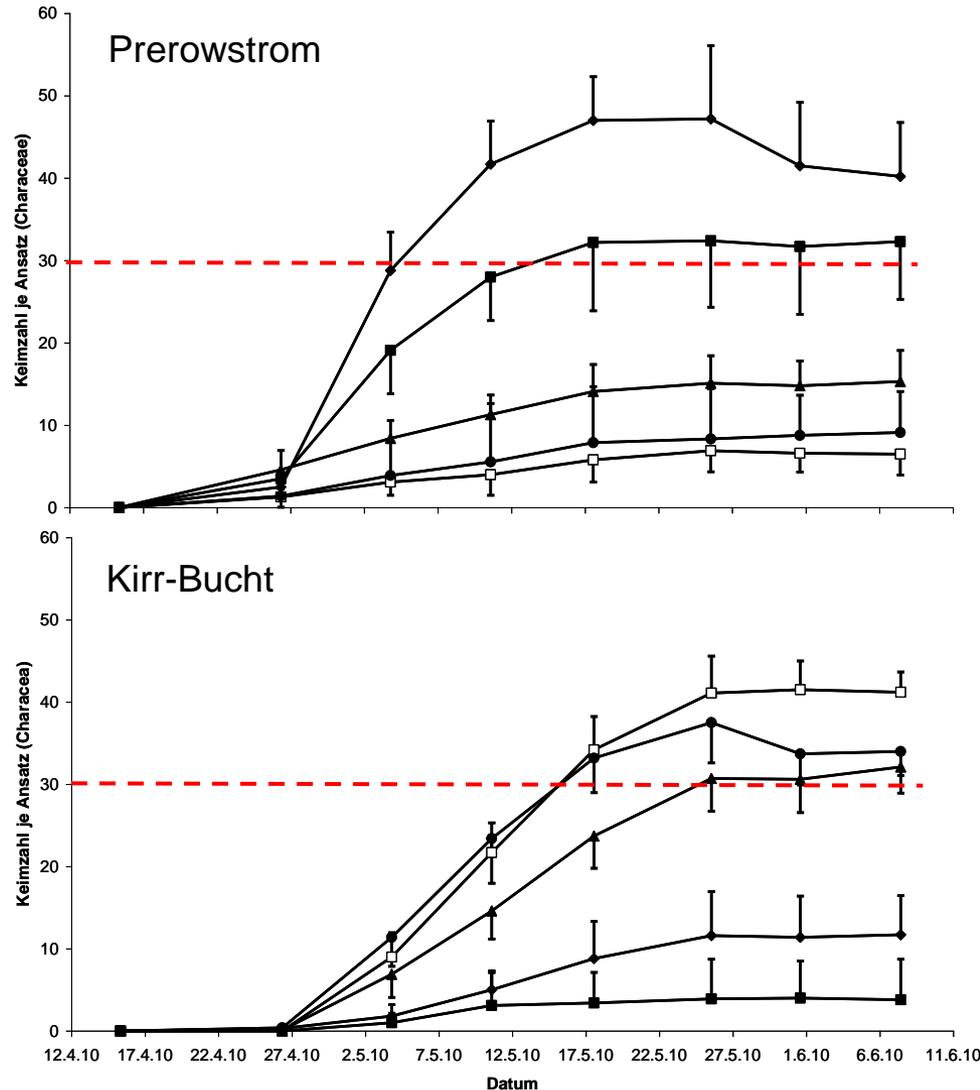
-Dunkelinkubation (72 h), N=15, Box: 2,5- und 97,5-Perzentil

-stark ausgeprägte Suboxie (Median  $< 1 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$ ) in Überständen mit Makrophyten

-flächenbezogene Netto-Freisetzungsrates (ohne Makrophyten) im Median:  $0,165 \text{ mgP m}^{-2} \text{ d}^{-1}$

# Keimungserfolg aus diskreten Sedimentproben unter standardisierten Bedingungen im Labor

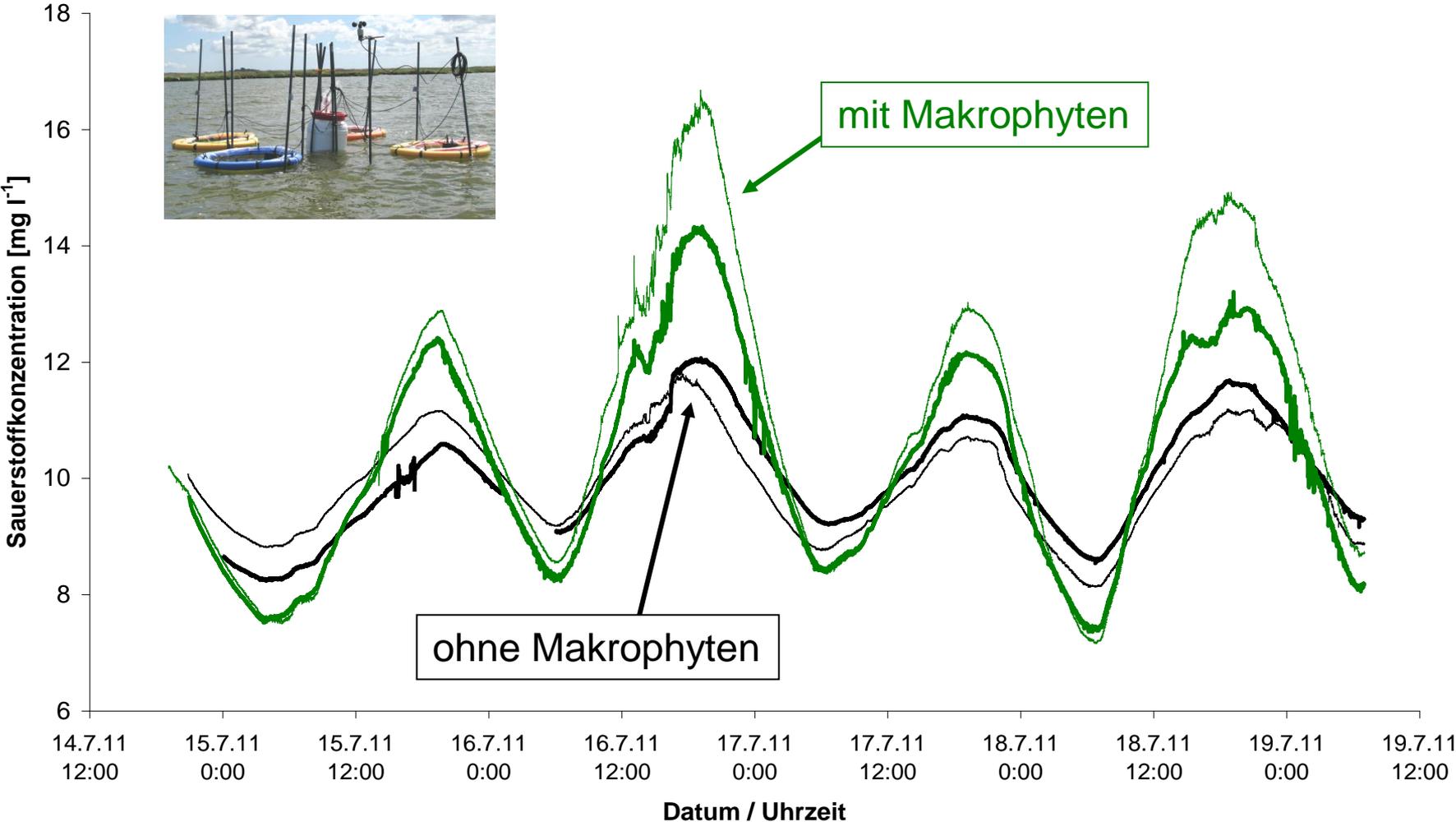
Für die untersuchten Standorte ist davon auszugehen, dass die Diasporenbank hier keinen Limitationsfaktor für die durch den Characeen-Komplex realisierte Bedeckung und die entsprechende Phosphorbindung bzw. die allgemeine Sedimentstabilisierung darstellt



Keimungskinetik der Characeae im Keimungs-experiment für alle Versuchsgruppen der Stationen 1-10 (P, Prerowstrom; K, Kurr-Bucht; MW+ oder - SD, n=10)

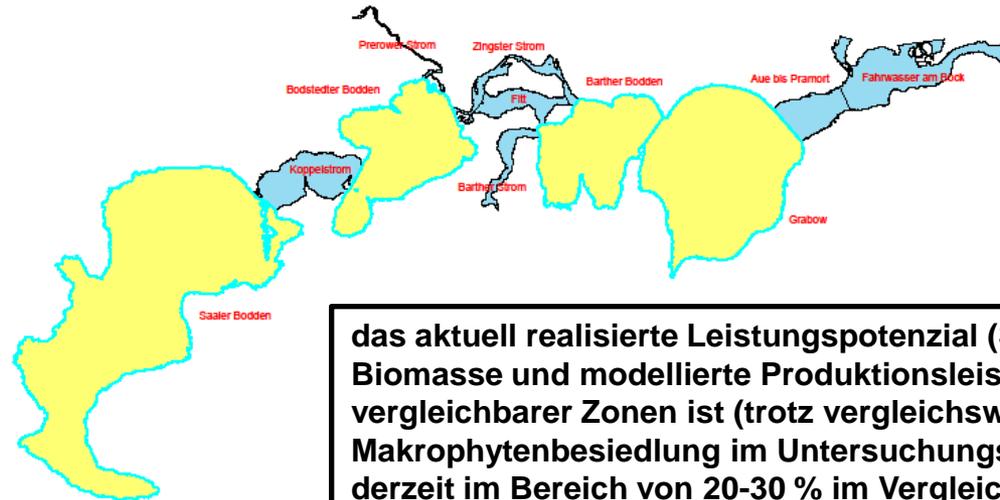
~6400 Individuen m<sup>-2</sup>

# Sauerstoffdynamik in „Enclosures“ zur Produktionsbestimmung sediment-offener Wasserkörper (2011)

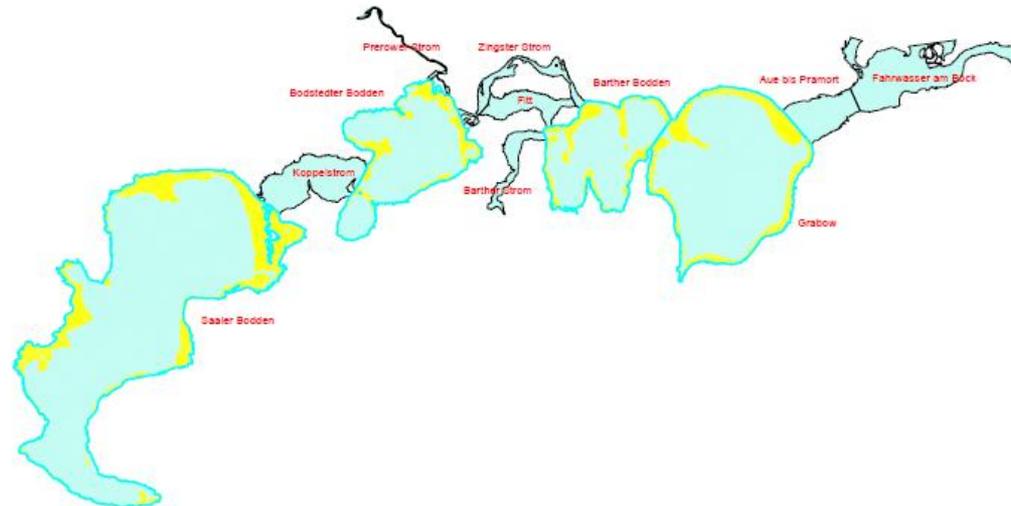


# Gewässerabgrenzung und Sedimentflächen bis 1 m Wassertiefe für Kalkulationsszenarien der P-Bindung durch Makrophyten

(Karten: B. Neumann, Datenbasis BSH 2001)



das aktuell realisierte Leistungspotenzial (Sommer-Biomasse und modellierte Produktionsleistung) historisch vergleichbarer Zonen ist (trotz vergleichsweise intensiver Makrophytenbesiedlung im Untersuchungszeitraum) derzeit im Bereich von 20-30 % im Vergleich zum Beginn der 1970iger Jahre einzuschätzen



# Kalkulationsszenarien zur P-Bindung [kg P] durch das Makrophytobenthos in einer Vegetationsperiode (Sediment bis 1 m Wassertiefe)

	Budget und Kalkulationsbasis	Saaler Bodden	Bodstedter Bodden	Barther Bodden	Grabow
1	<b>P-Assimilation</b> Mitte Juli bis Ende einer kurzen Vegetationsperiode 2011 (MW NPP, n=11, Kirr-Bucht, 60 Tage)	2.453	<u>738</u>	<u>710</u>	1.240
2	<b>P-Assimilation</b> Mitte Juli bis Ende einer kurzen Vegetationsperiode 2011 (MW BPP, n=10, Kirr-Bucht, 60 Tage)	7.549	<u>2.271</u>	<u>2.184</u>	3.815
3	<b>Makrophytobenthos-Biomasse</b> (durchschnittliche gewässerspezifische Reinbestände im Sommer, n=2-5) <b>1971/1972<sup>a</sup></b>	<u>12.056</u>	<u>8.716</u>	<u>4.530</u>	<u>5.928</u>
4	<b>Makrophytobenthos-Biomasse</b> (durchschnittlicher gewässerspezifischer Mischbestand im Sommer, n=1-3) <b>2010/2011</b>		<u>2.165</u>	<u>544</u>	
5	<b>Makrophytobenthos-Biomasse</b> (durchschnittlicher Mischbestand aller Erhebungen im Bodstedter und Barther Bodden, n=4) 2010/2011	3.209	966	928	1.622
6	<b>Ende der Vegetationsperiode (1+4)</b>	-	<u>2.903</u>	<u>1.254</u>	-
7	<b>Ende der Vegetationsperiode (1+5)</b>	<u>5.662</u>	<u>1.704</u>	<u>1.638</u>	<u>2.862</u>
8	<b>Ende der Vegetationsperiode (2+5)</b>	<u>10.758</u>	<u>3.237</u>	<u>3.112</u>	<u>5.437</u>
	Sediment-Gesamtfläche [ha] <sup>b</sup>	8.027	2.338	1.936	4.129
	Sedimentfläche 0-1 m Wassertiefe [%]	19,2	19,9	23,1	18,9

<sup>a</sup> Grunddatenbasis aus Festerling (1973); <sup>b</sup> reale Sedimentfläche nach 3D-Kalkulation (B. Neumann)  
NPP – Nettoprimärproduktion / BPP – Bruttoprimärproduktion

# Zusammenfassung

## Einflüsse der lokalen Makrophytenbesiedlung auf ähnlichen Sedimenten

- Sedimentverdichtung
  - möglicher Schutz vor Erosionen (Barther Strom, Kirr-Bucht)
  - Minderung von Fluktuationen der Austauschprozesse an der Sedimentgrenzschicht
- Minderung der Gesamt-P-Gehalte in den oberen Sedimentschichten bei moderater bis intensiver Besiedlung sowie
  - tendenziell zusätzliche Minderung der relativen Anteile algenverfügbaren Phosphors
  - tendenziell Minderung gelöster Nährstoffe (SRP,  $\text{NH}_4^+$ ) im Porenwasser

*P-Entzug und/oder Minderung der P-Zuführung durch effektive Produktionskonkurrenz zum Phytoplankton (des vertikaler P-Transports) bzw. des lateralen Stofftransports*

## Besiedlungspotenzial mit Makrophyten

- starkes Besiedlungspotenzial in Zonen mit derzeit moderater bis guter Makrophytenbesiedlung (flache Randbereiche mit ca. 0,5m WT)
- Keimungsraten (Labor) belegen Vitalität und potenziell realisierbare Besiedlungen (Characeen) mit Deckungsgraden von 100% und darüber hinaus
- geringe Keimungserfolge mehrjähriger Arten (z.B. *Chara tomentosa*) unter Laborbedingungen (mit geringen Anteilen an der Diasporenbank einhergehend)
- Realisierung des Keimungserfolgs aus tieferen, ungestörten Sedimentschichten (>2-3cm) auch bei guter Lichtverfügbarkeit stark gemindert bzw. unwahrscheinlich
- vollständige Besiedlung (100% Deckung) relativ instabiler Sedimente mit erhöhten Schlickanteilen (Kirr-Bucht, 0,5 m WT) durch Characeen in situ möglich

## Flächenbezogene Phosphor-Budgets der Makrophyten (2010/2011)

- P-Festlegungen pro Fläche durch Makrophytenbiomasse erreichen auf gut besiedelten Flächen Werte, welche den P-Freisetzungen stark belasteter Sedimente entsprechen
- entsprechende Flächen sind in der Lage Nettofreisetzungen von Phosphor in das Pelagial zu unterbinden
- in Flachwasserbereichen zusätzlicher Entzug mobilen Phosphors im kritischen Zeitraum der Vegetationsperiode in Konkurrenz zum Phytoplankton hoch wahrscheinlich
- aktuelles Leistungspotenzial historisch vergleichbarer Besiedlungszonen ist (trotz vergleichsweise intensiver Makrophytenbesiedlung) derzeit im Vergleich zum Beginn der 1970iger Jahre im Bereich von 20-30 % einzuschätzen
- im Flachwasserbereich <0,5 m Wassertiefe Erreichen des historischen Potenzials heute zuweilen möglich bzw. lokal/kleinräumig realisiert
- in grober Näherung (Sedimentband mit 1 m Wassertiefe) beschränkte sich die wirksame Assimilation durch Makrophyten auf ca. 20 % der Sedimentfläche in den Teilgewässern (Becken)
- im stärker belasteten Saaler Bodden erscheint das Potenzial bei Weitem nicht realisiert

# Konsequenzen und kritische Fragestellungen

- Leistungspotenzial und kritische Sedimenttiefe bzw. Sedimenteigenschaften des Keimungserfolgs (historisch) eingelagerter Diasporen in stark belasteten Gewässerbereichen
  - einschließlich optischer Eigenschaften stark absorbierender Weichsedimente
- schonende Verfahren der lokalen Diasporenaktivierung und -rettung in kritischen Übergangsbereichen, wie
  - Tiefenverbreitungsgrenzen vorhandener Bestände
  - überschichteten Diasporenbanken  
(belastete Zonen mit langfristig unterbundenem Keimungs- und Vermehrungserfolg)
- Wasseraustausch flacher (besiedelter) Buchten