

Eutrophierung von Oberflächengewässern ... am Beispiel der Elbe

Helmut Fischer

Referat Ökologische Wirkungszusammenhänge

Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

helmut.fischer@bafg.de

Nährstoffe führen zur Eutrophierung

Eutrophierung ist der Anstieg der Primärproduktion. Sie kann durch natürliche oder künstliche Anreicherung von Nährstoffen oder durch einen Anstieg der Nährstoffverfügbarkeit verursacht werden (Wetzel, Limnology; Schwoerbel, Limnologie)

Eutrophierung ist eines der wichtigsten und dauerhaftesten Wasserqualitätsprobleme in der EU (EU 2009)

Die Pflanzennährstoffe können eine **übermäßige Entwicklung des Phytoplanktons** (...) hervorrufen, wobei jedoch zahlreiche Randbedingungen dieses Eutrophierungsgeschehen beeinflussen (Licht, Temperatur, Fließgeschwindigkeit, Aufenthaltszeit, biogene Einflüsse) (Hamm et al. 1991)

Nährstoffe als Verursacher der Eutrophierung ... erst seit den 1970er Jahren „anerkannt“

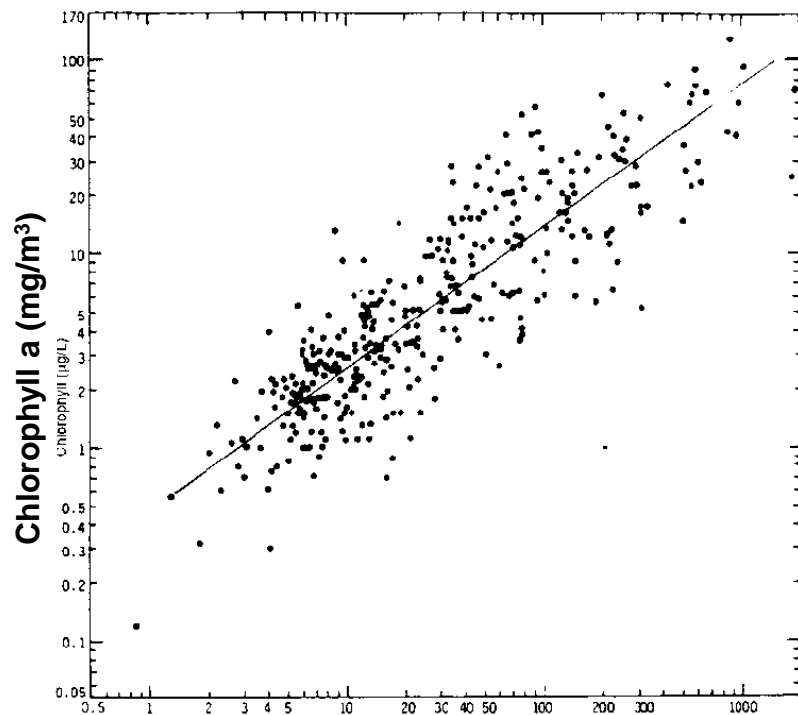


Titelblatt einer kanadischen Fachzeitschrift von 1970 mit der Hauptaussage, dass Kohlenstoff und nicht Phosphat die Eutrophierung verursacht

Canadian Journal of Research and Development, 3/1970

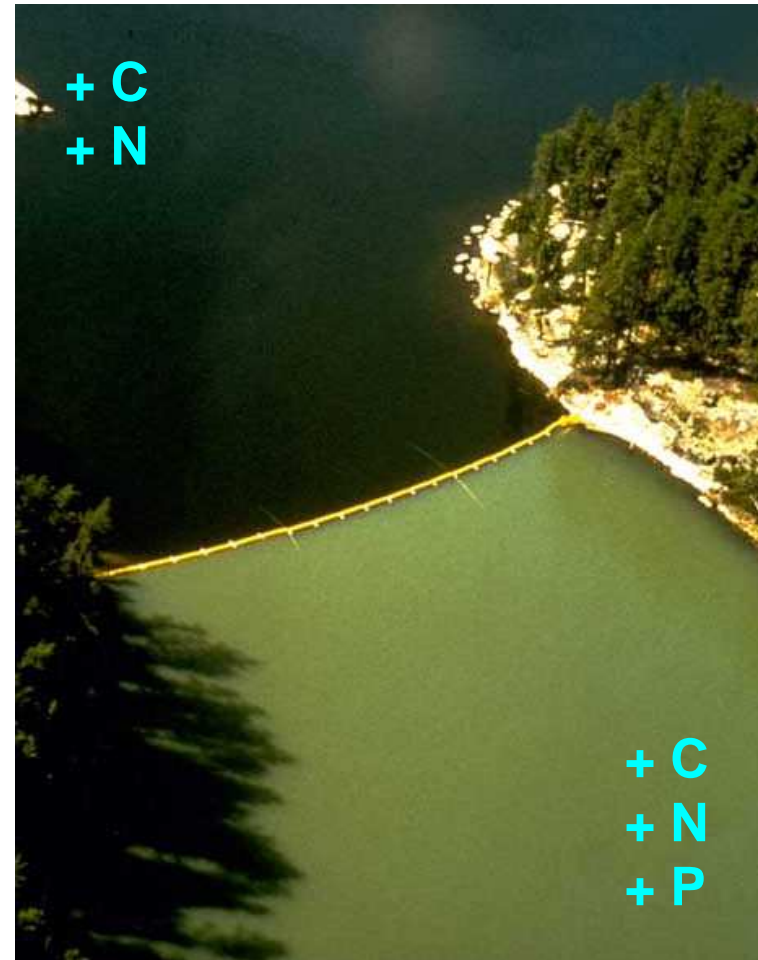
Phosphat als Verursacher der Eutrophierung

Vollenweider-Modell
(empirisch, 1968, 1976, 1982 – OECD-Dokumente)
Zusammenhang zwischen Nährstoffbelastung
und Trophie



Index für die mittlere jährliche P-Verfügbarkeit (mg/m³)

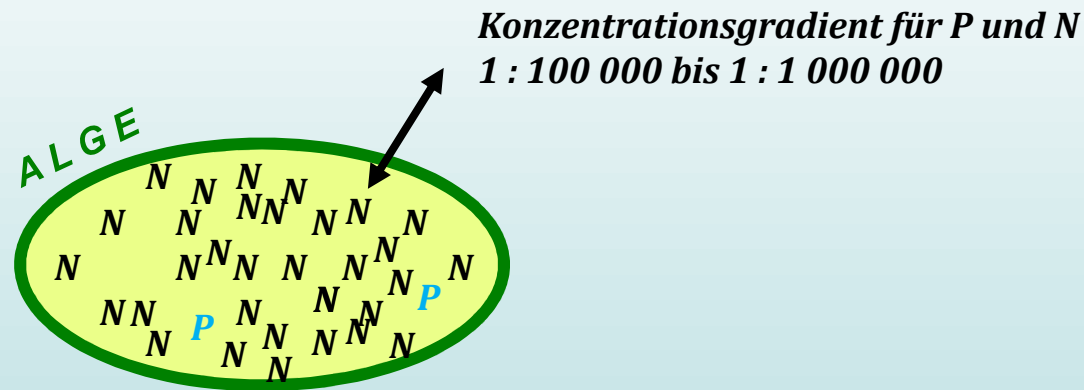
Updated Vollenweider-OECD normalized
P loading/chlorophyll response relationship



Experimenteller Nachweis:
Experimental Lake Area, Kanada
(Schindler 1974)

siehe auch: www.nitrolimit.de

Nährstoffaufnahme Stöchiometrie und physiologische Leistung



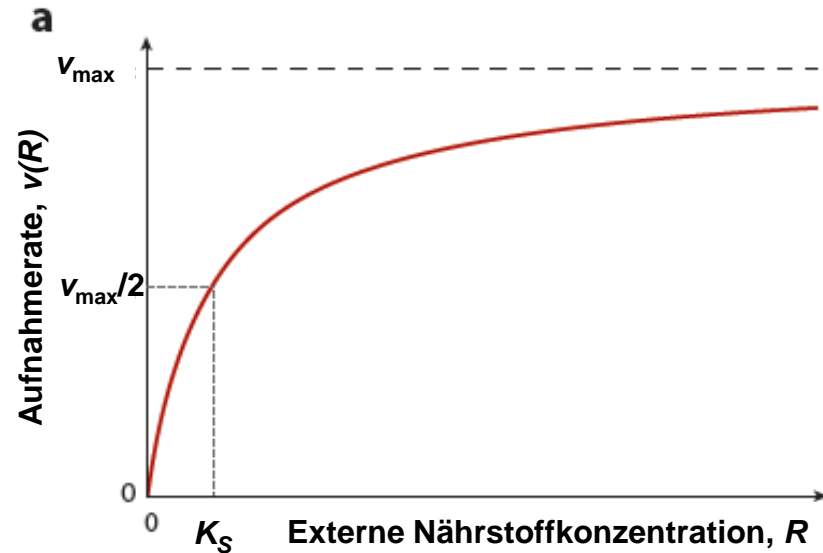
124 C : 16 N : 1 P

**(1,3 S : 1,7 K : 0,56 Mg : 0,5 Ca : 0,0075 Fe : 0,0008 Zn :
0,00038 Cu : 0,00021 Cd : 0,00019 Co)**

und bei Kieselalgen Silizium

Nährstoffaufnahme in zwei Schritten

Ökotypen des Phytoplanktons

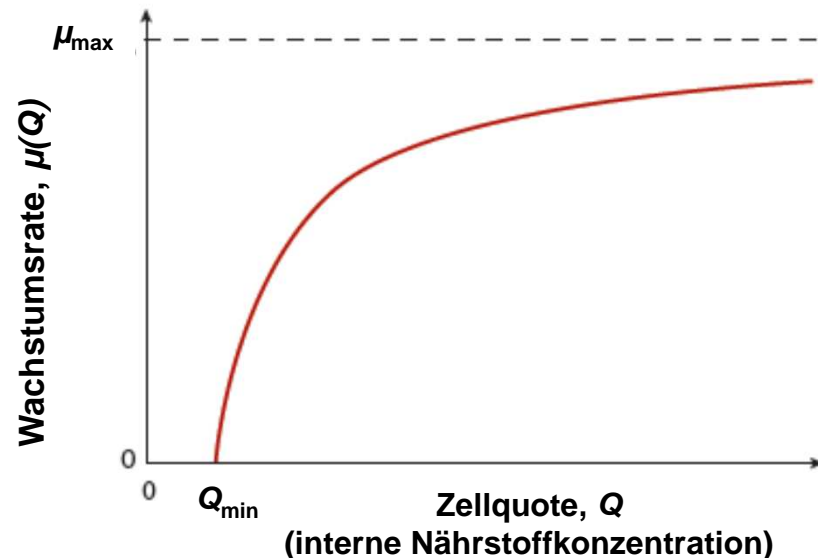


Aufnahme(Geschwindigkeites-) - adaptiert

- hohe Aufnahmerate (v_m)
- hohe Wachstumsrate (μ)
- geringe Affinität (hoher K_S -Wert)

Affinitäts - adaptiert

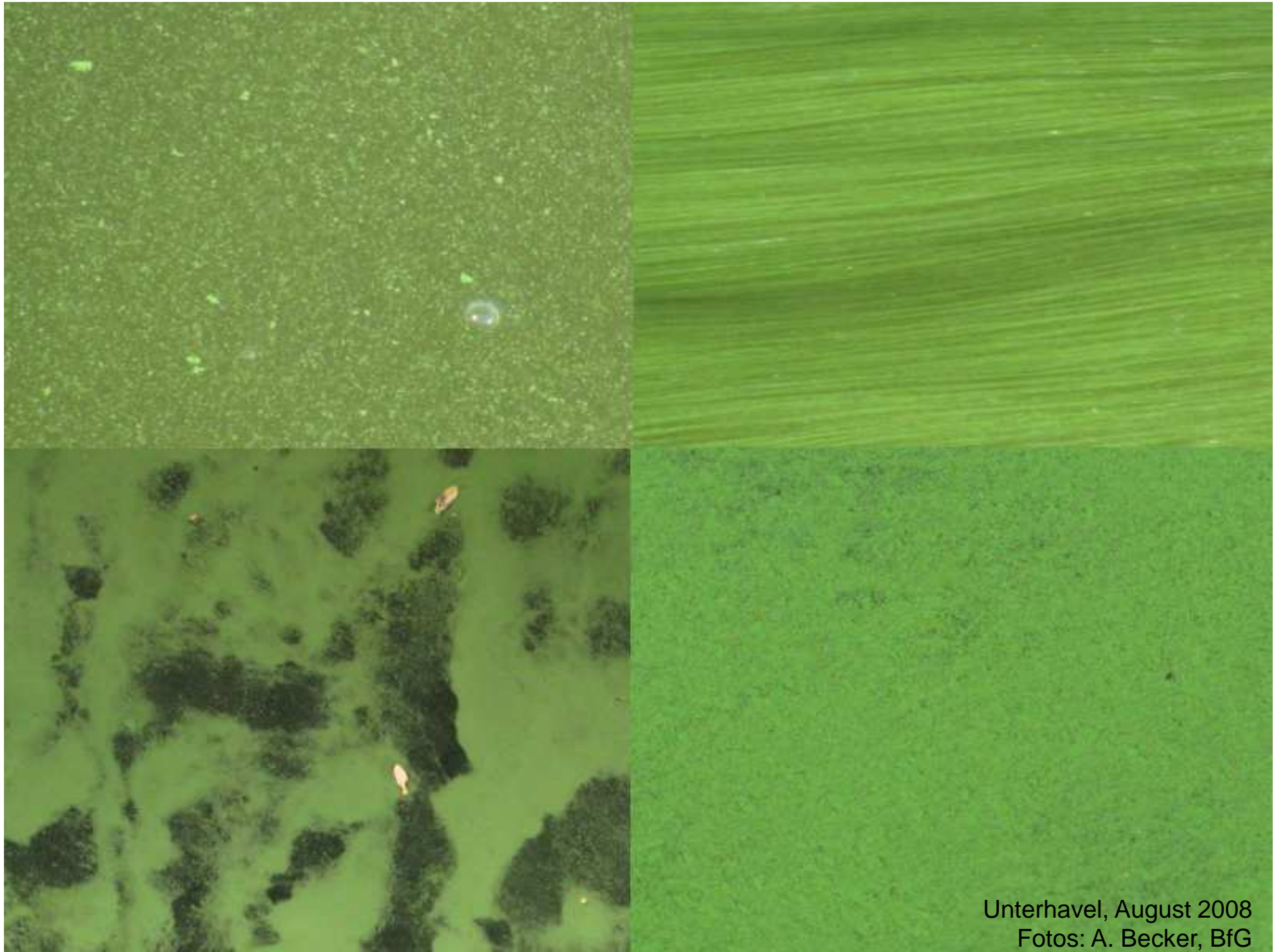
- relativ hohe Aufnahmerate (v)
- hohe Affinität (niedriger K_S -Wert)
- geringe Wachstumsrate



Speicher - adaptiert

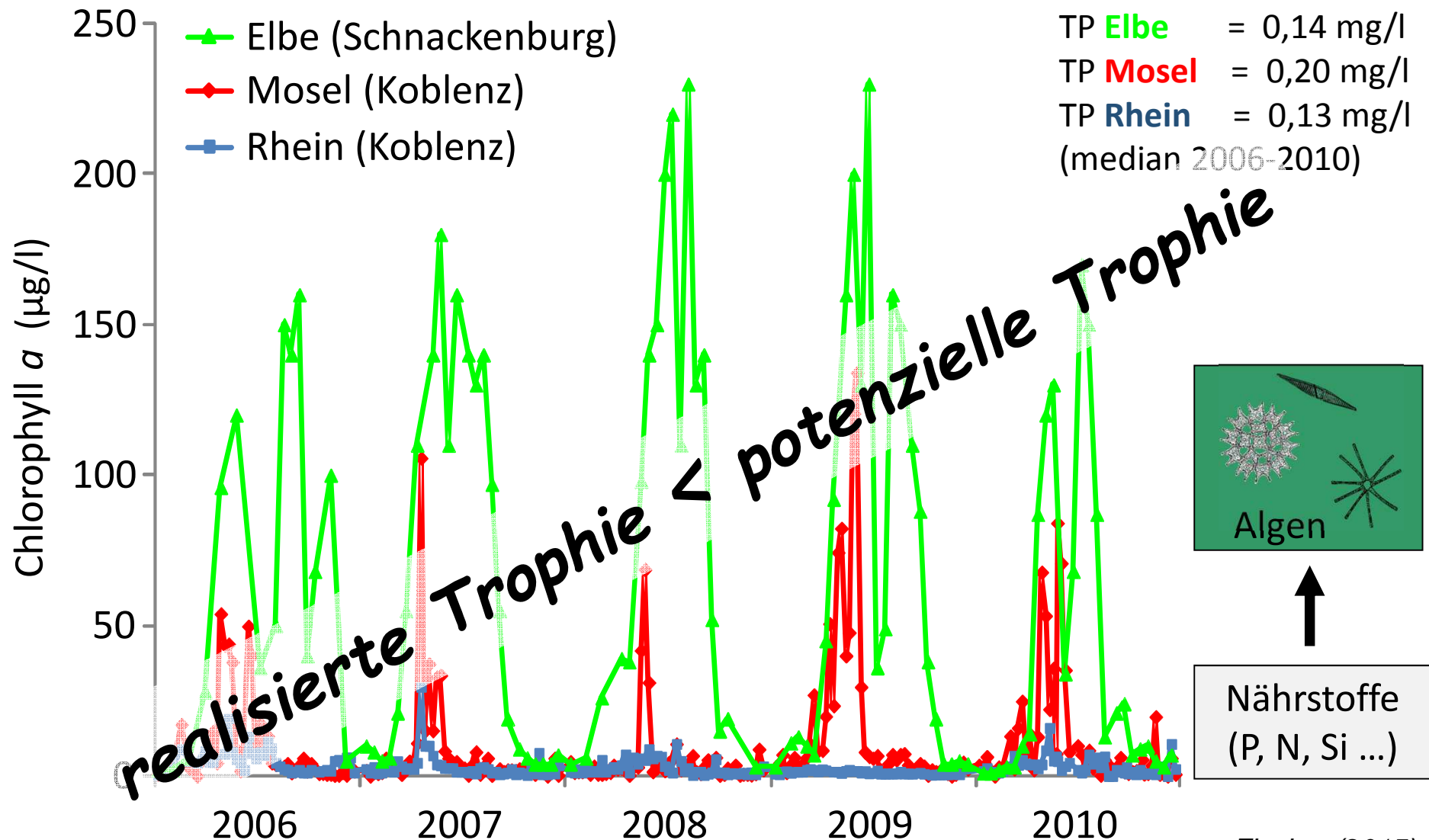
- hohe Aufnahmerate
- geringe Wachstumsrate

$K_S = 1 - 25 \mu\text{g/l}$ gelöst-reaktiver P
 $K_S < 6 \mu\text{g/l}$ gelöst-reaktiver P
(viele pennate Kieselalgen, Chrysophyceen, Lampert & Sommer 1989)



Unterhavel, August 2008
Fotos: A. Becker, BfG

Phytoplankton in Rhein, Mosel und Elbe



Fischer (2015)

Daten: BfG (Rhein, Mosel), FGG Elbe (Elbe) – fgg-elbe.de

Nährstoffe

→ Ressource, Wachstumsvoraussetzung
Phosphor, Stickstoff, Silizium

Grazer („Weidegänger“)

→ Verlustprozess, Nahrungsnetz
Muscheln, Zooplankton, Protozoen ...

Einträge von Phytoplankton

→ äußere Randbedingung
Zuflüsse, durchflossene Seen, Auengewässer, Bühnenfelder ...

Aufenthaltszeit

→ Wachstumsvoraussetzung, moduliert die ablaufenden Prozesse
Retention, Abflussspende ...

Licht

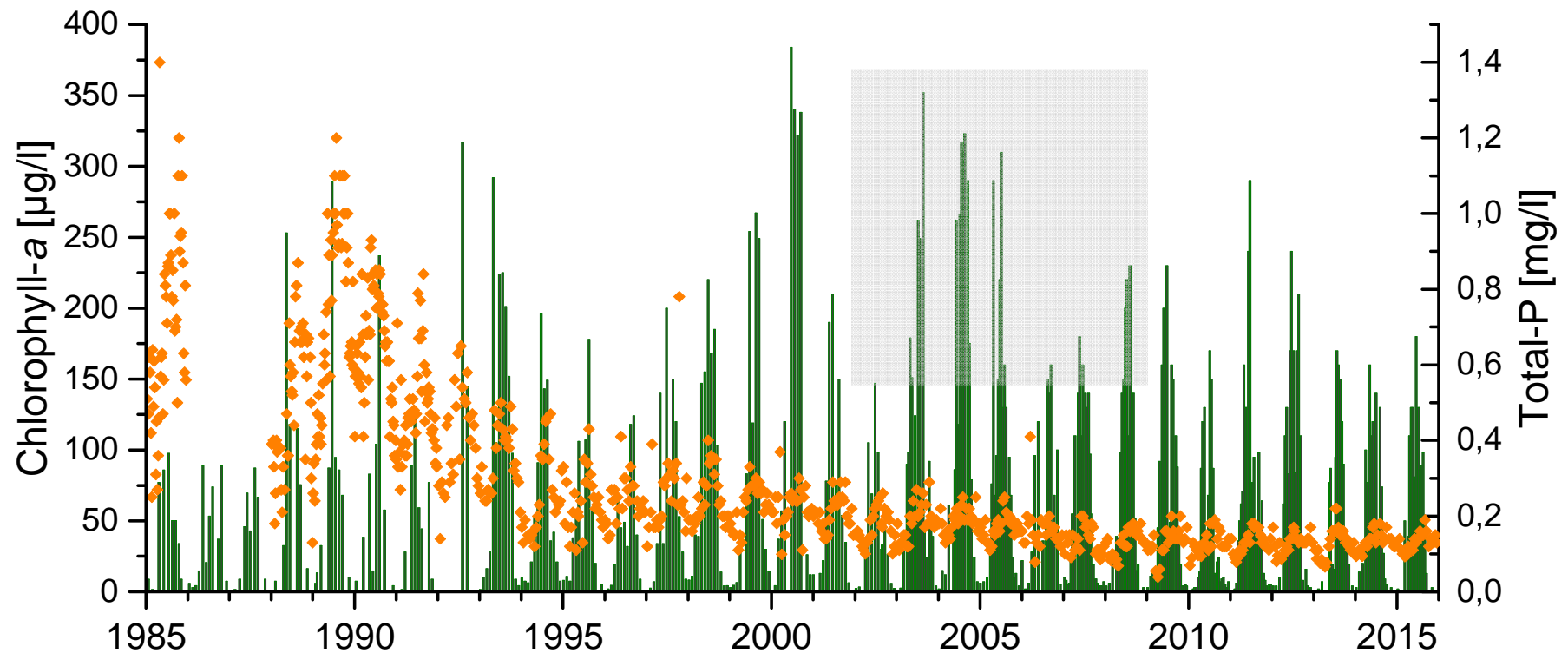
→ Ressource, Wachstumsvoraussetzung
Trübung, Gelbstoffe, Selbstbeschattung, Wassertiefe, Witterung

→ Die tatsächlich realisierte Trophie hängt neben der Nährstoffverfügbarkeit von zahlreichen weiteren Faktoren ab.

Dynamik Phytoplankton und gesamt-P (TP)

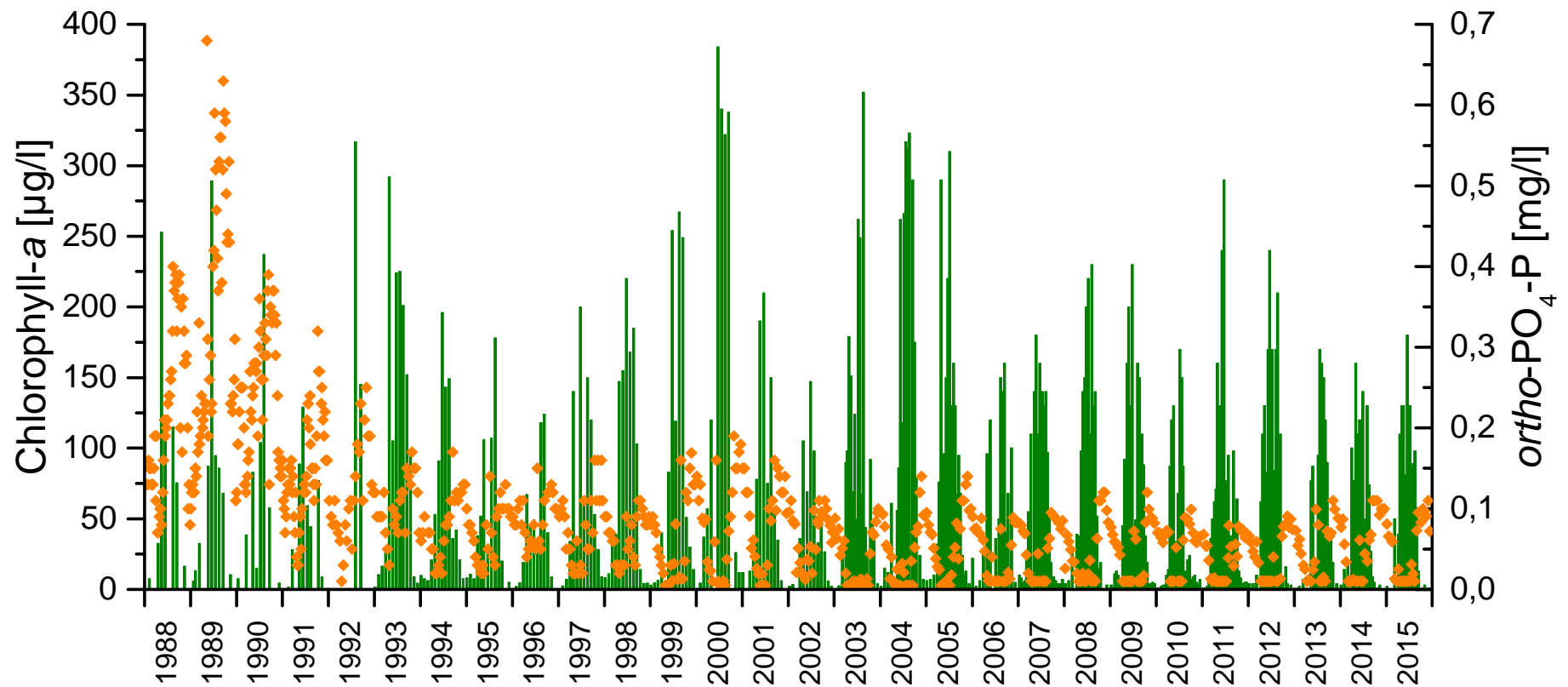
Elbe-km 475

Etwas Küchen-Stöchiometrie: TP = 0,18 mg/l (median, 2002-2008)
Redfield P/C = 1/41 → 7,4 mg C/l
C/Chla = 50 (20) → 147(369) µg Chla/l



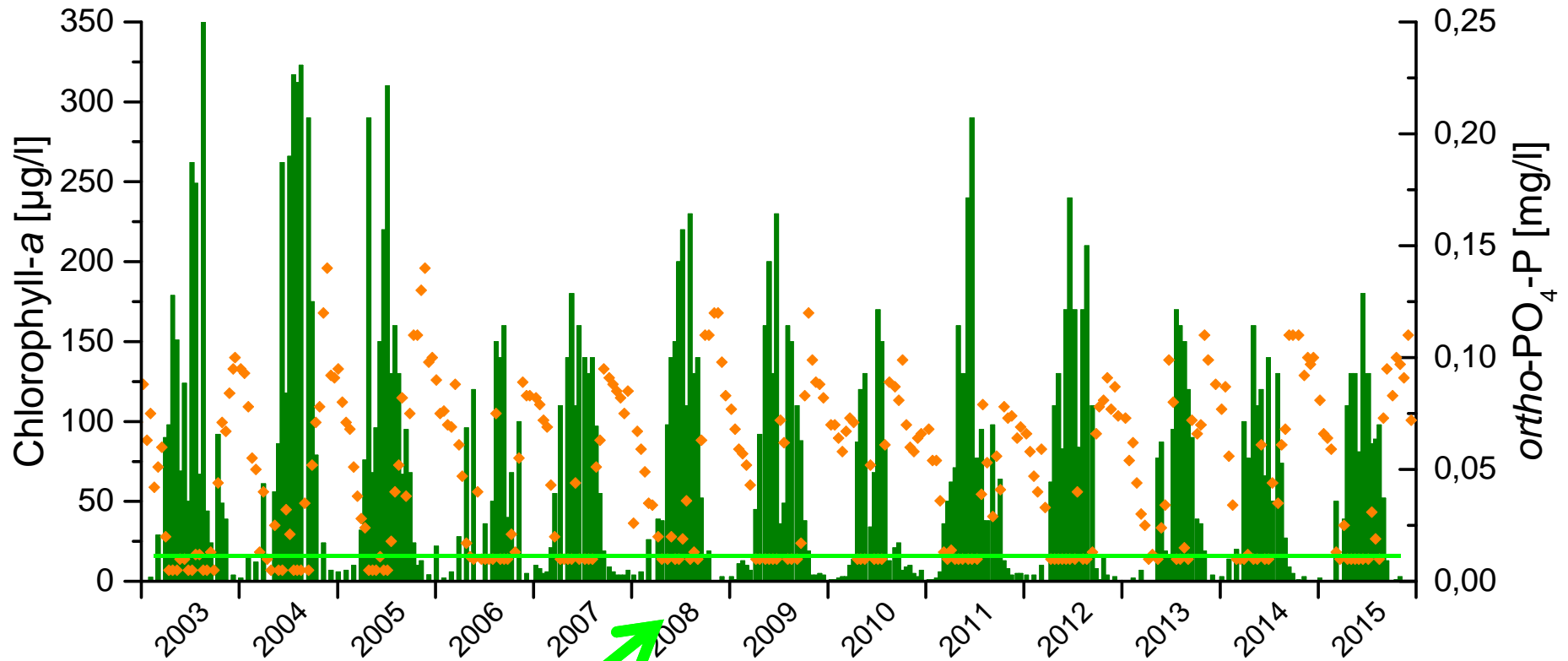
Dynamik Phytoplankton und Phosphat-P

Elbe-km 475



Dynamik Phytoplankton und Phosphat-P

Elbe-km 475

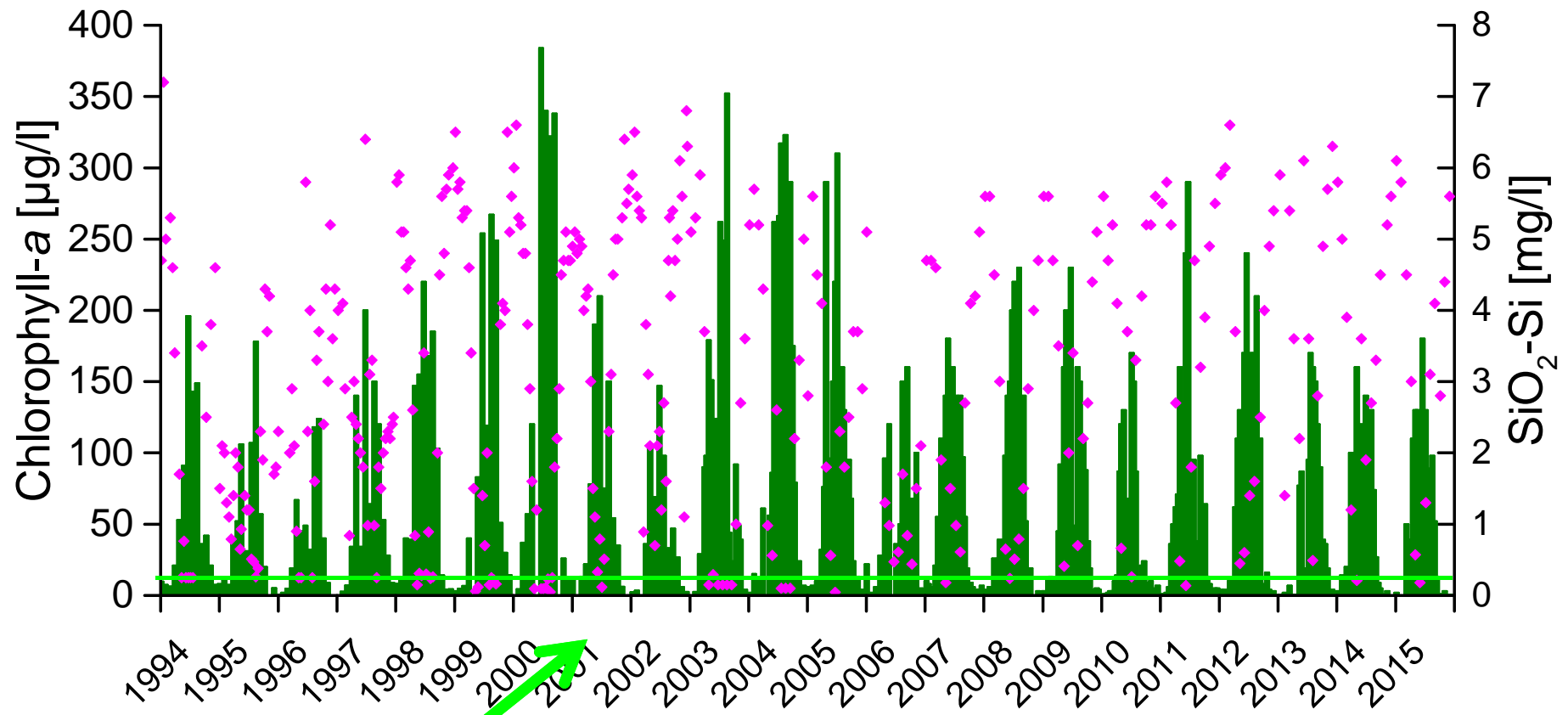


Phosphor-Limitation?

**Wie stark muss P reduziert werden, um einen Effekt auf die Planktonbiomasse zu erzielen?
Wo muss P reduziert werden?**

Dynamik Phytoplankton und Silizium

Elbe-km 475

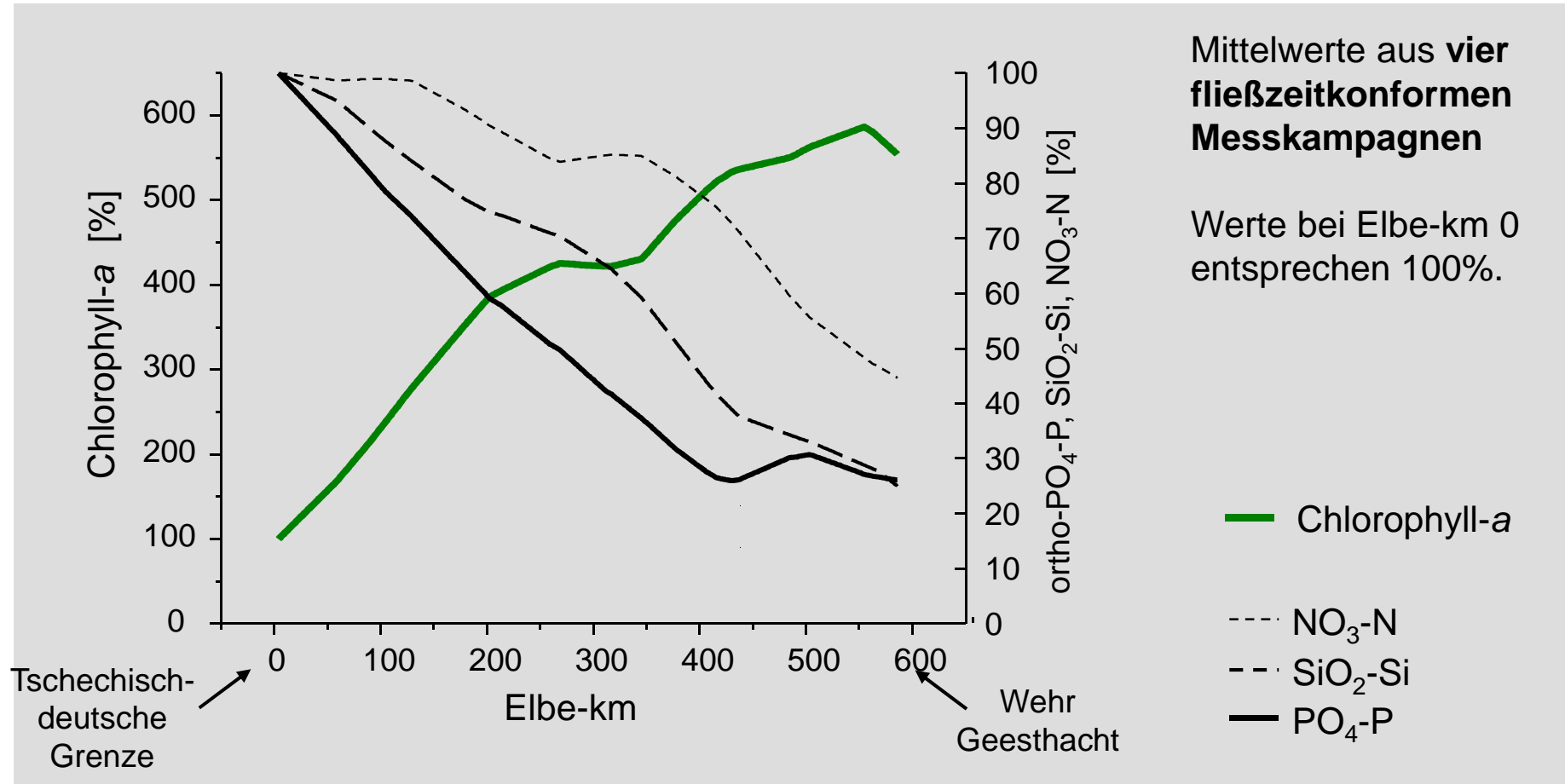


Si-Limitation?

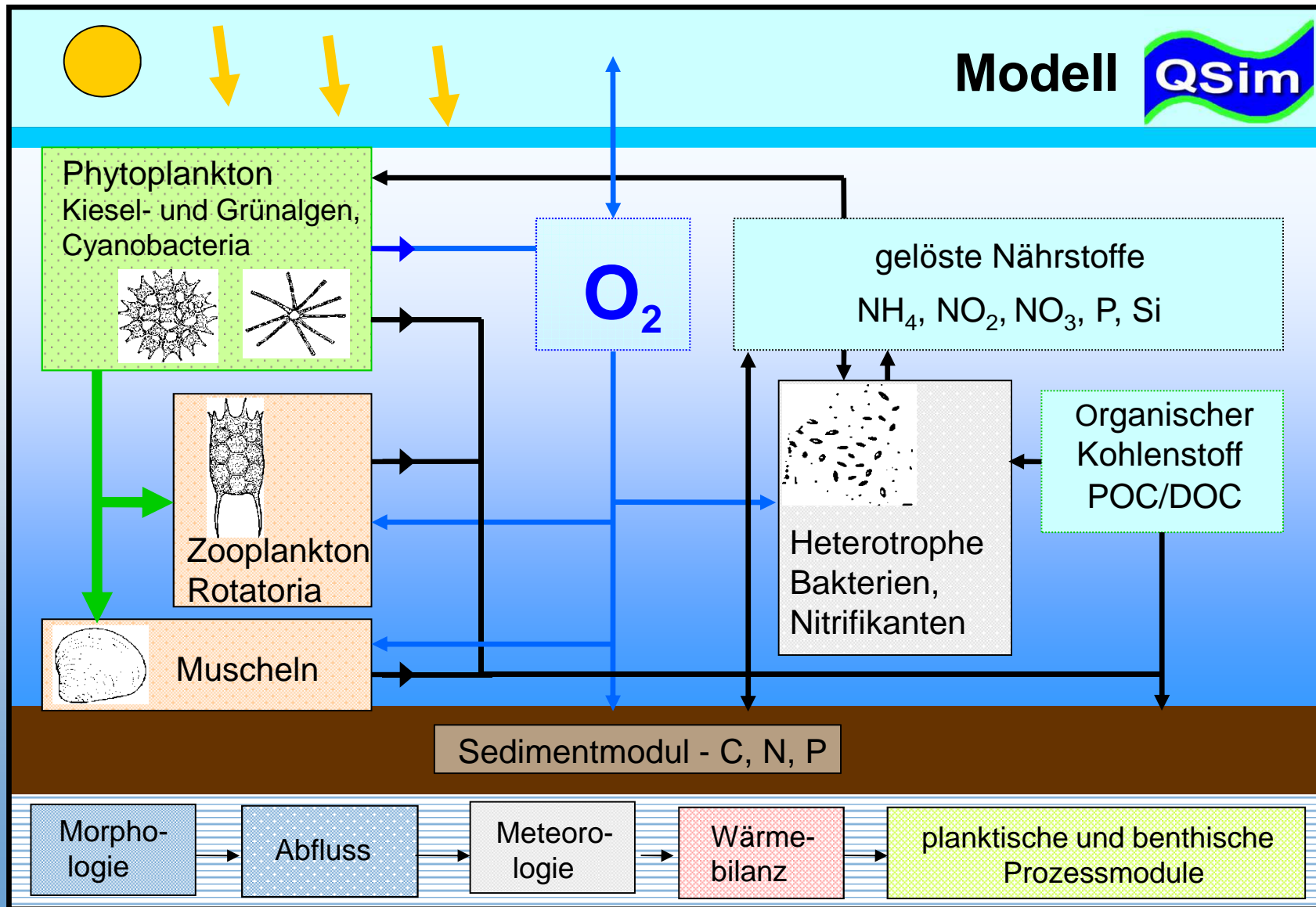
Wie hoch ist die potenzielle Trophie in der Elbe („carrying capacity“ für Phytoplankton)?

- *in der Unteren Mittelelbe wird die „carrying capacity“ möglicherweise bereits teilweise erreicht*
- *eine Nährstofflimitation erscheint möglich, kann aber wegen des internen Nährstoffspeichers der Algen nicht belegt werden*
- *weitere Aufschlüsselung der Prozesse durch Betrachtung der räumlichen Dynamik und mit Prozessmodellierung*

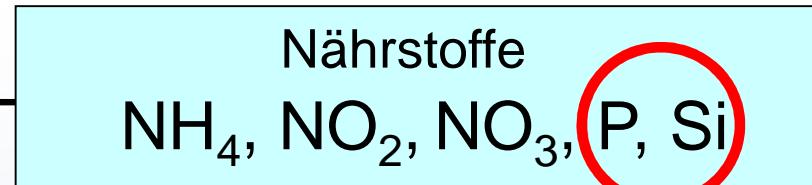
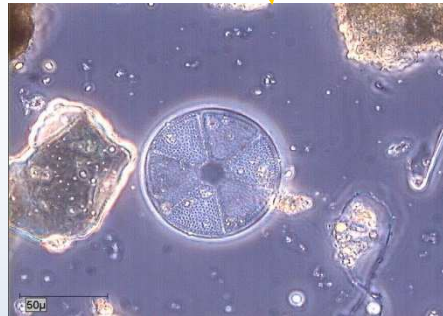
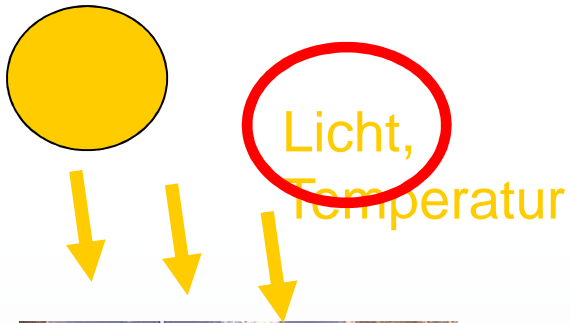
Longitudinale Entwicklung von Algenbiomasse und Nährstoffkonzentrationen



Gewässergütemodell QSim



QSim - Modellgleichungen



Lokale Wachstumsrate (μ_{akt}) der Algen

$$\mu_{akt} = \mu_{max} * f_I * f_T * f_N$$

- f_I - Lichteinfluss auf die Wachstumsrate (-)
- f_T - Temperatureinfluss auf die Wachstumsrate [-]
- f_N - Nährstoffeinfluss auf die Wachstumsrate [-]

Algenbilanz mit externen Verlusten

$$\frac{dA}{dt} = \mu_{akt} * A - A_{graz} - A_{sed}$$

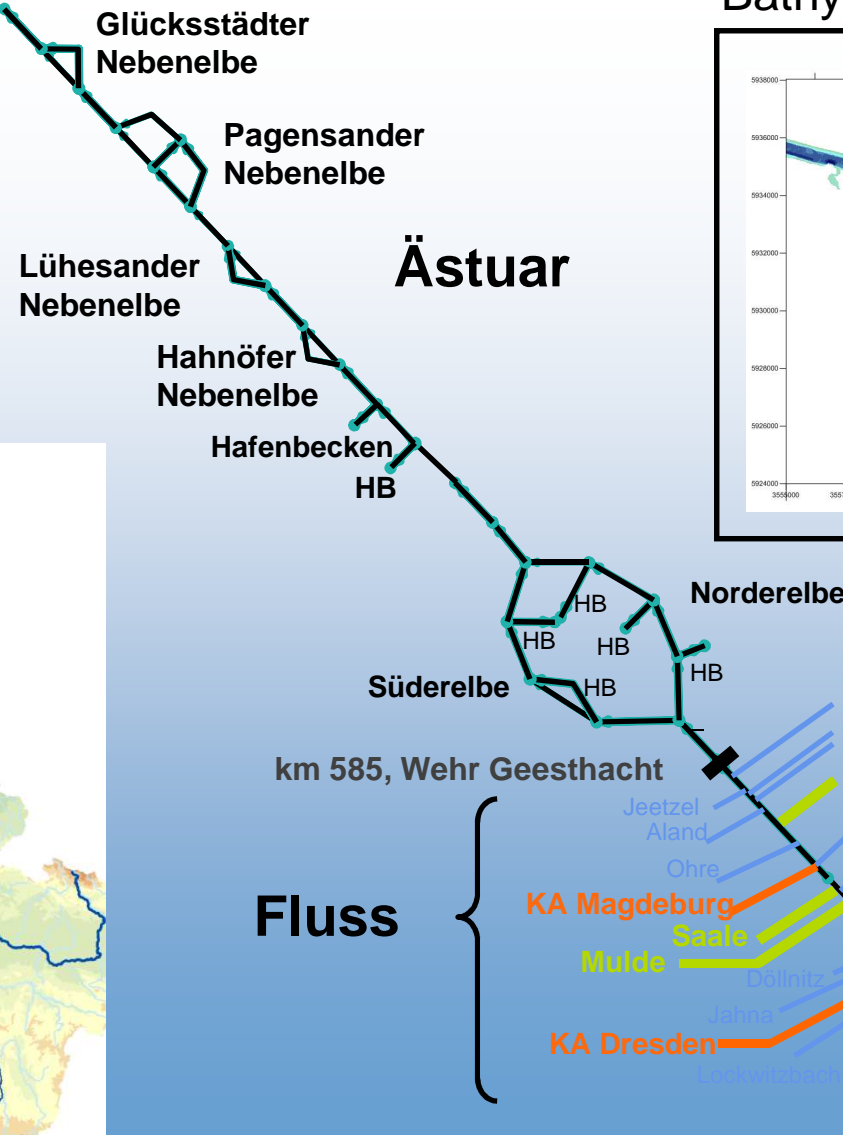
- A - Algenbiomasse [$\text{mg C} \cdot \text{l}^{-1}$]
- μ_{akt} - aktuelle Wachstumsrate [d^{-1}]
- A_{graz} - Grazingverluste [$\text{mg C} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$]
- A_{sed} - Sedimentationsverluste [$\text{mg C} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$]

Sedimentation

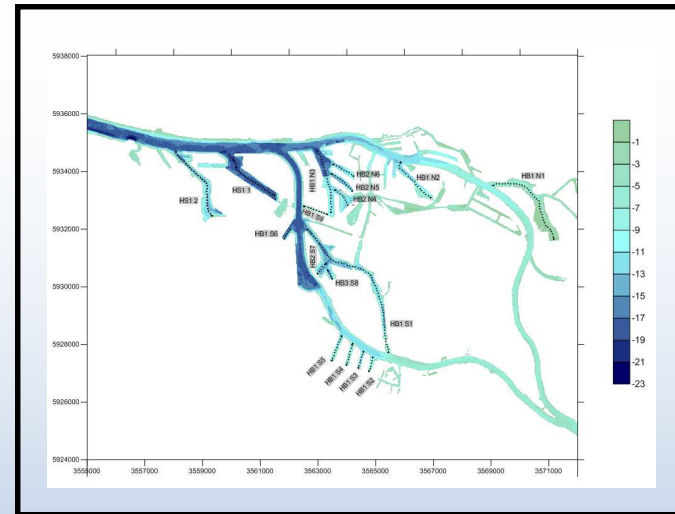


1d-Modell für die Elbe – Fluss und Ästuar

km 727, Cuxhaven
(= unterer Modellrand)



Bathymetrie: Hamburg Hafen



km 585, Wehr Geesthacht

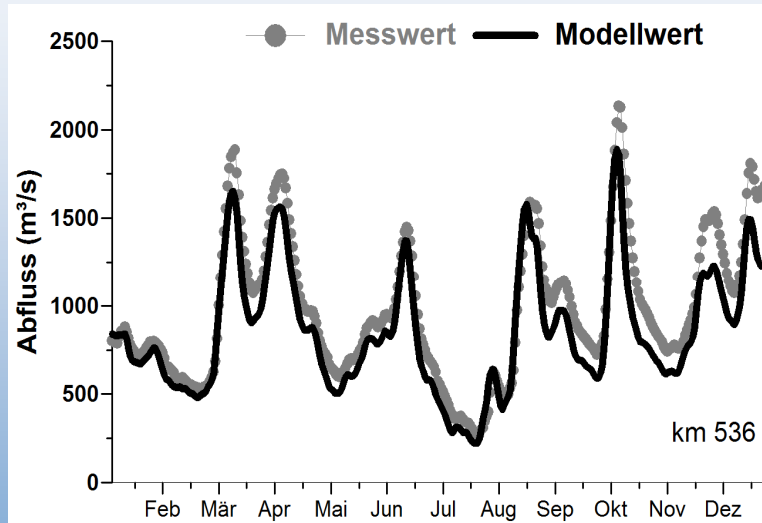
km 0, Schmilka
(= oberer Modellrand)

Abflussvalidierung am Pegel Neu Darchau

Elbe-km 536, langjähriger MQ 725 m³/s

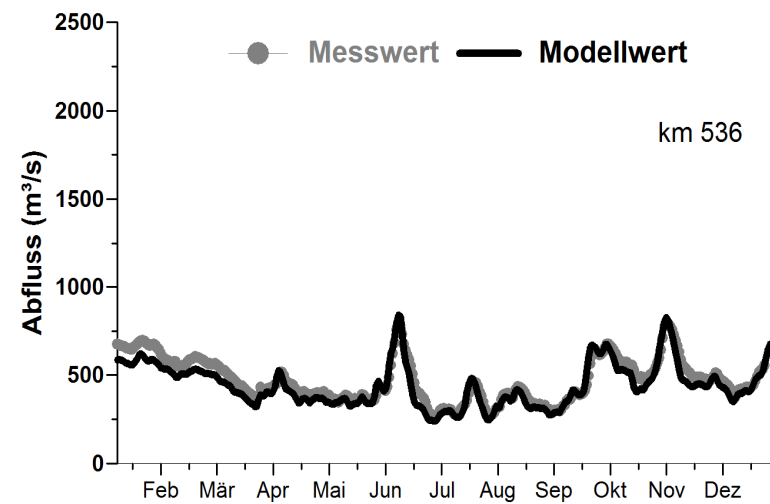
2010

MQ = 985 m³/s

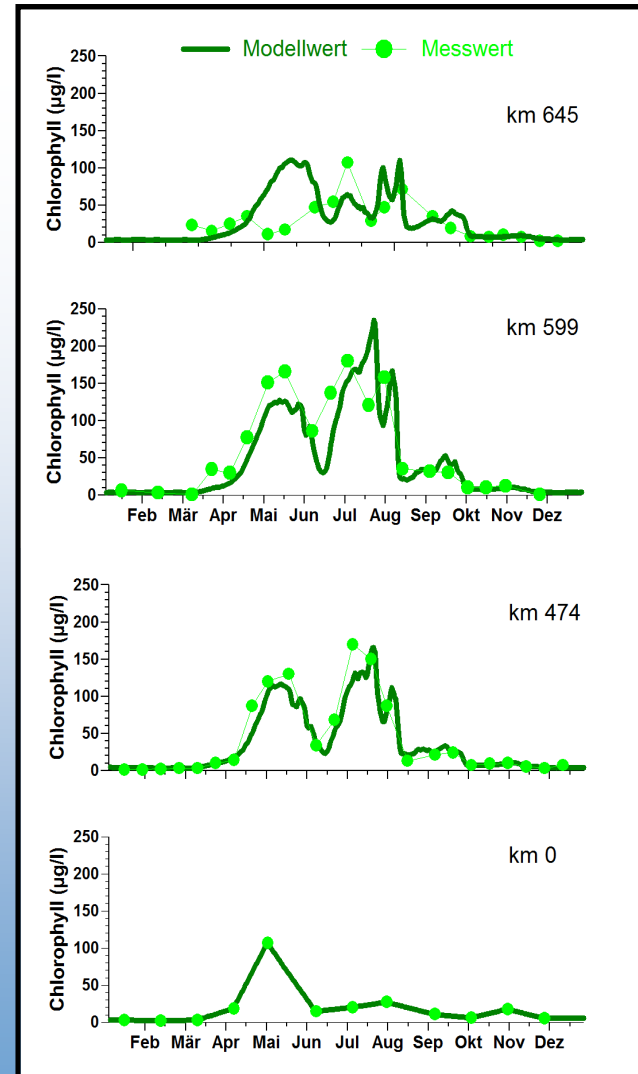
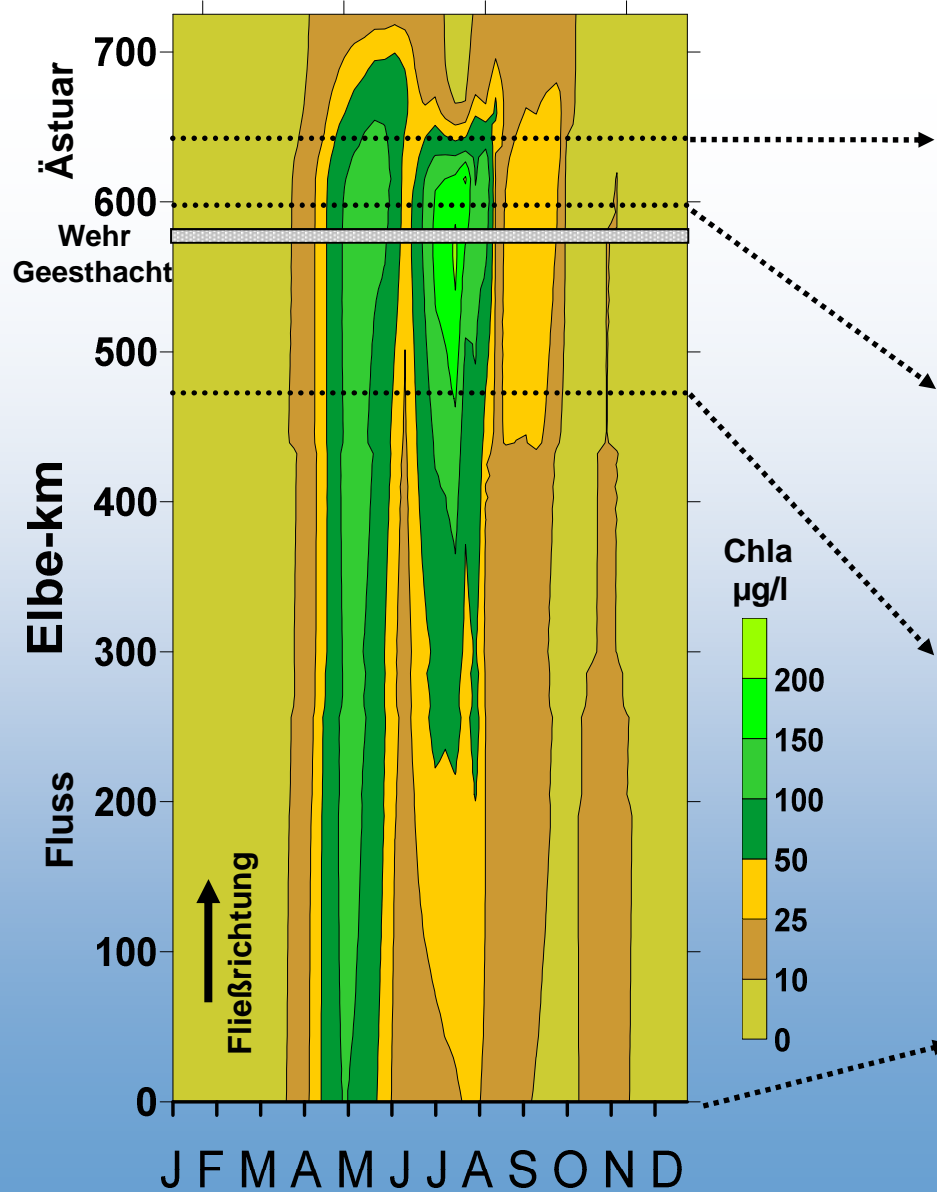


2014

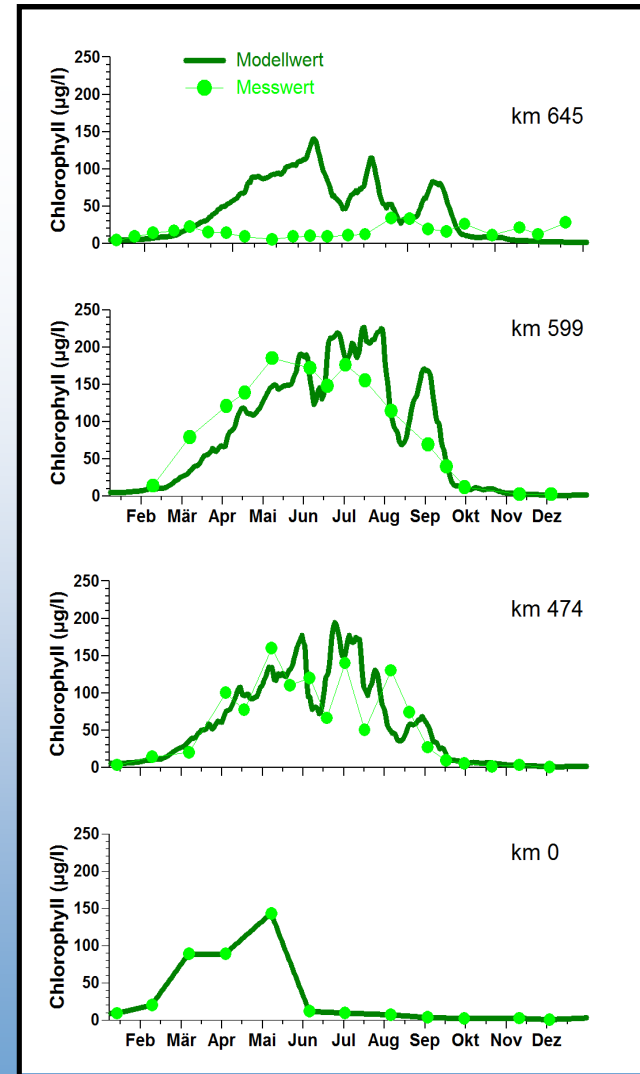
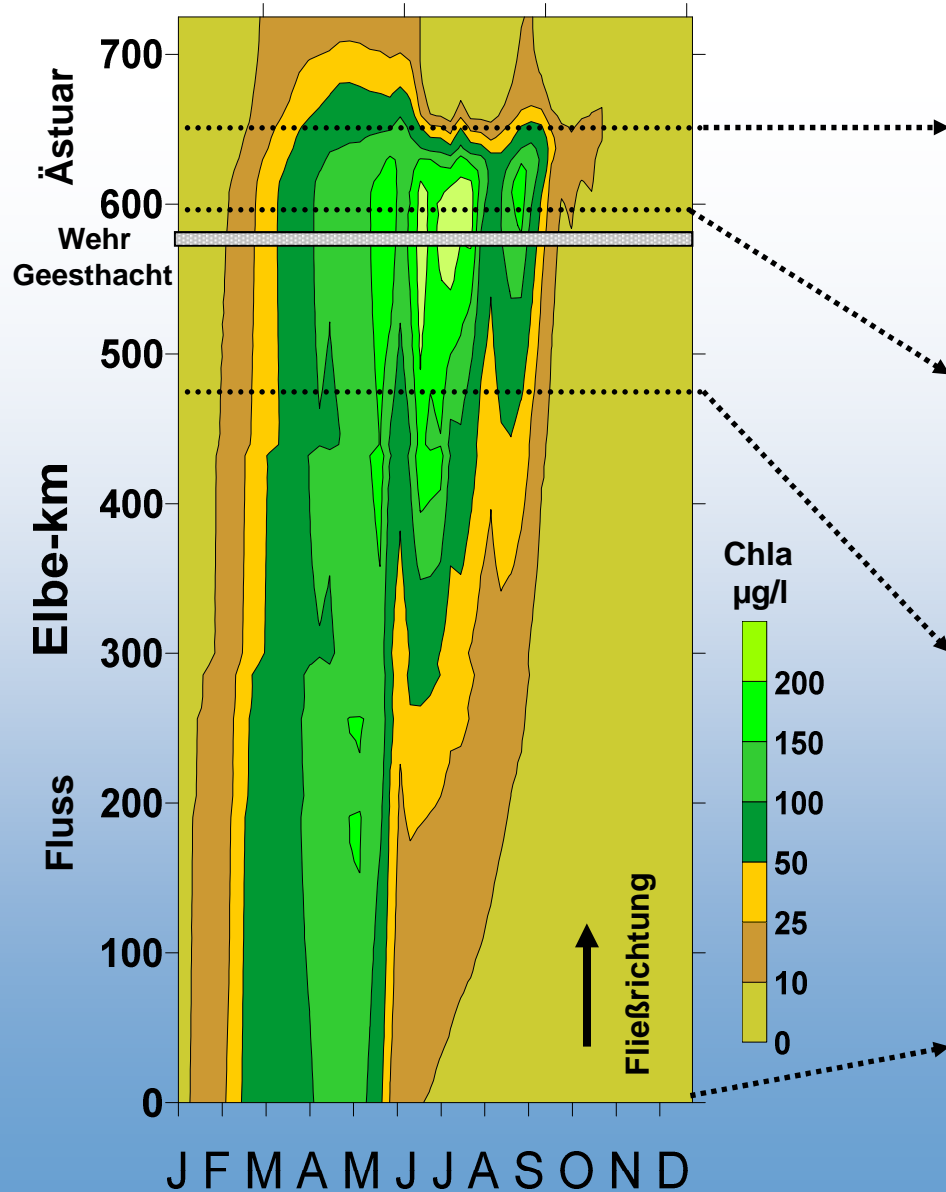
MQ = 471 m³/s



Modell- und Messwert für Chlorophyll – Jahr 2010

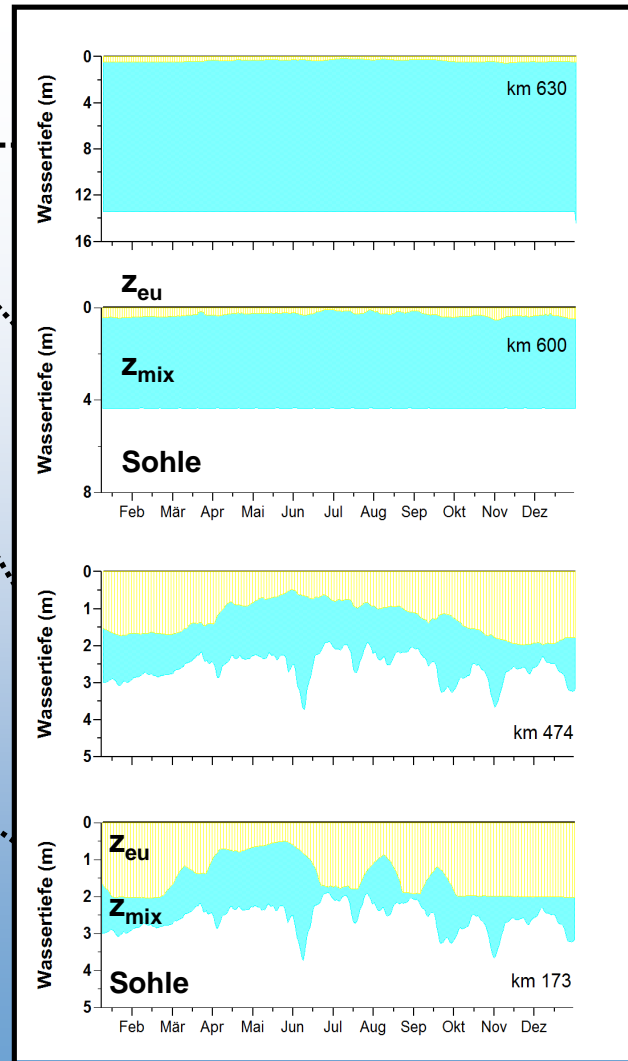
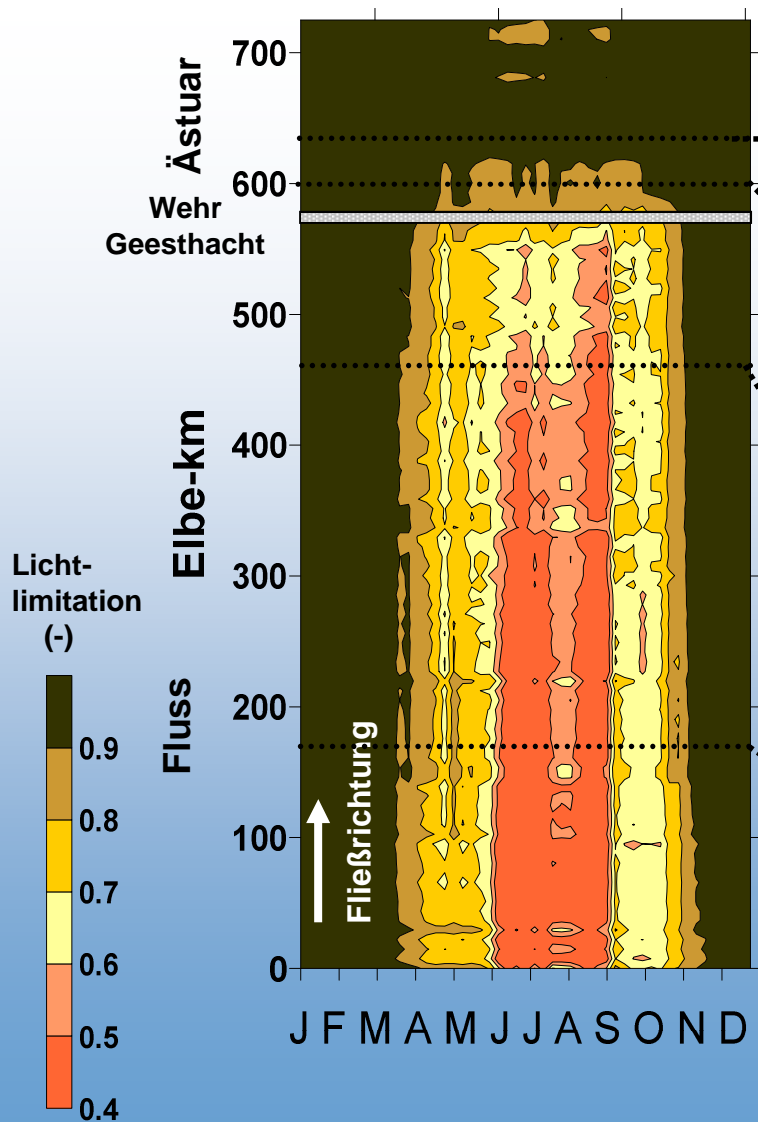


Modell- und Messwert für Chlorophyll – Jahr 2014



Lichtlimitation des Algenwachstums

Modellwerte, Jahr 2014



Z_{eu}/Z_{mix} - mittl. Tiefe
(-) (m)
Jahresmittel

0.02 - 13,2

0.07 - 4,3

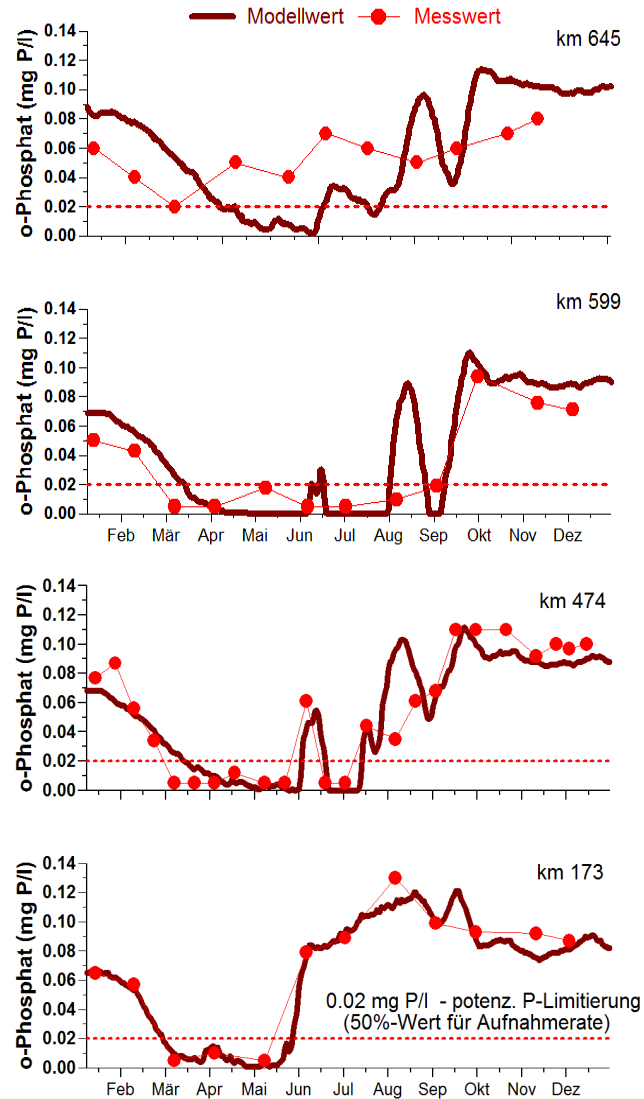
0.50 - 2,6

0.63 - 2,4

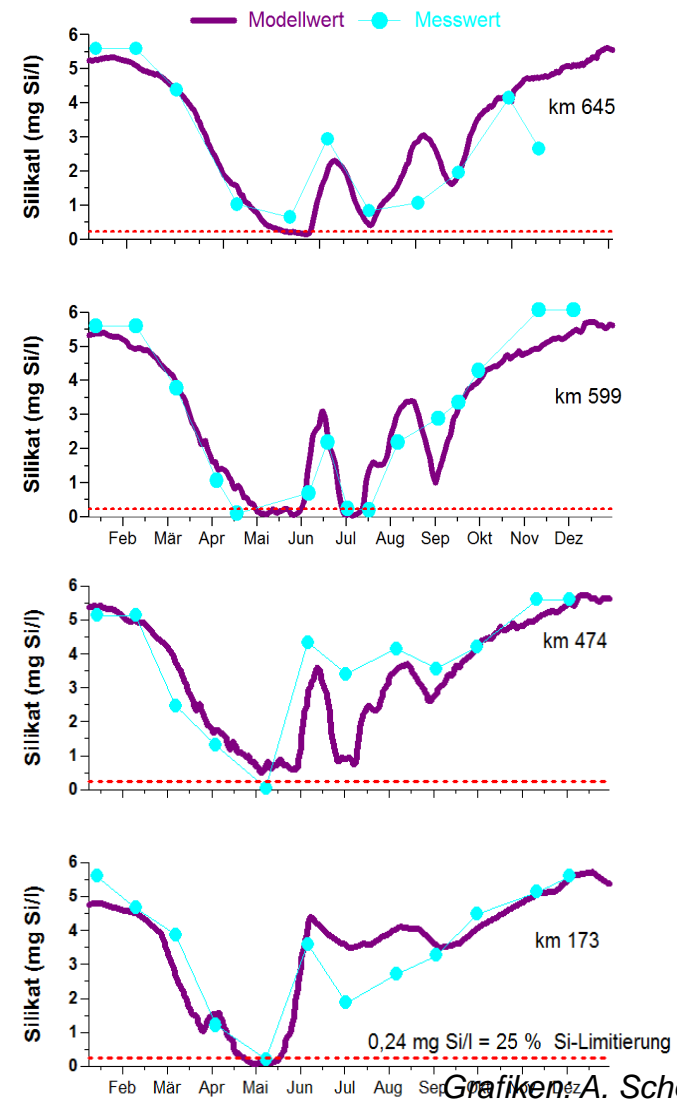
Nährstoffkonzentration

Modell- und Messwerte, Jahr 2014

Phosphor

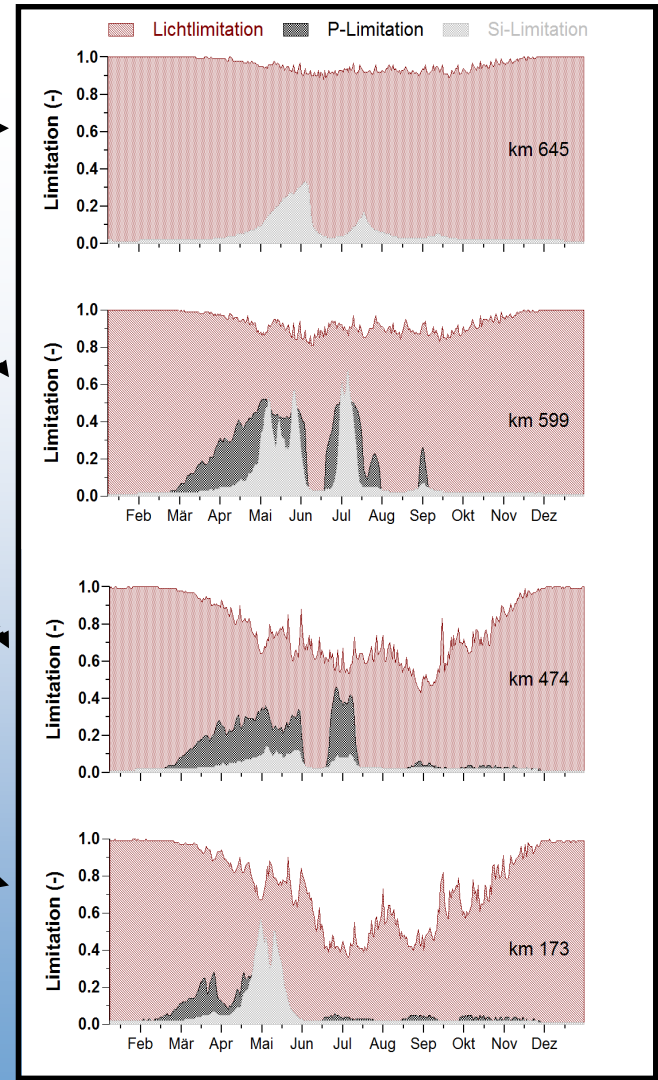
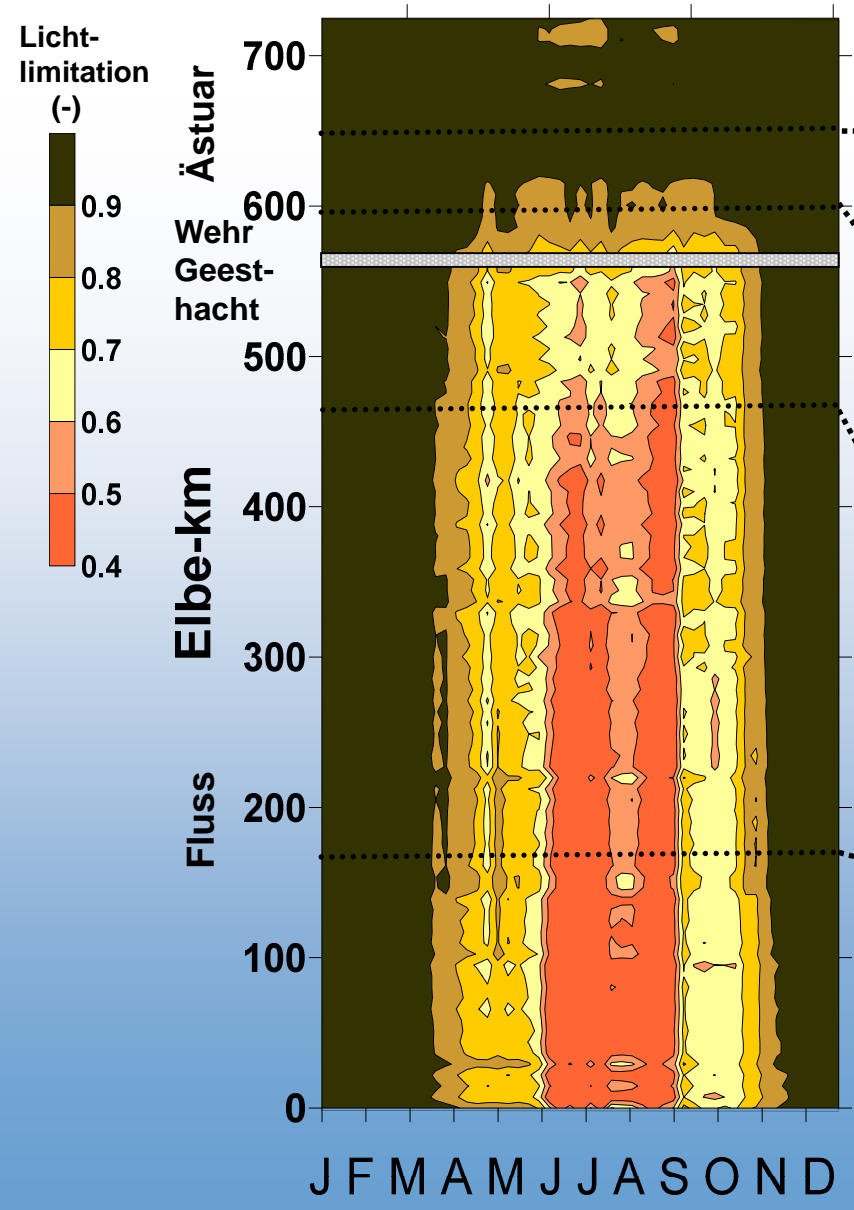


Silikat



Licht- und Nährstofflimitation des Algenwachstums **bfg** Bundesanstalt für Gewässerkunde

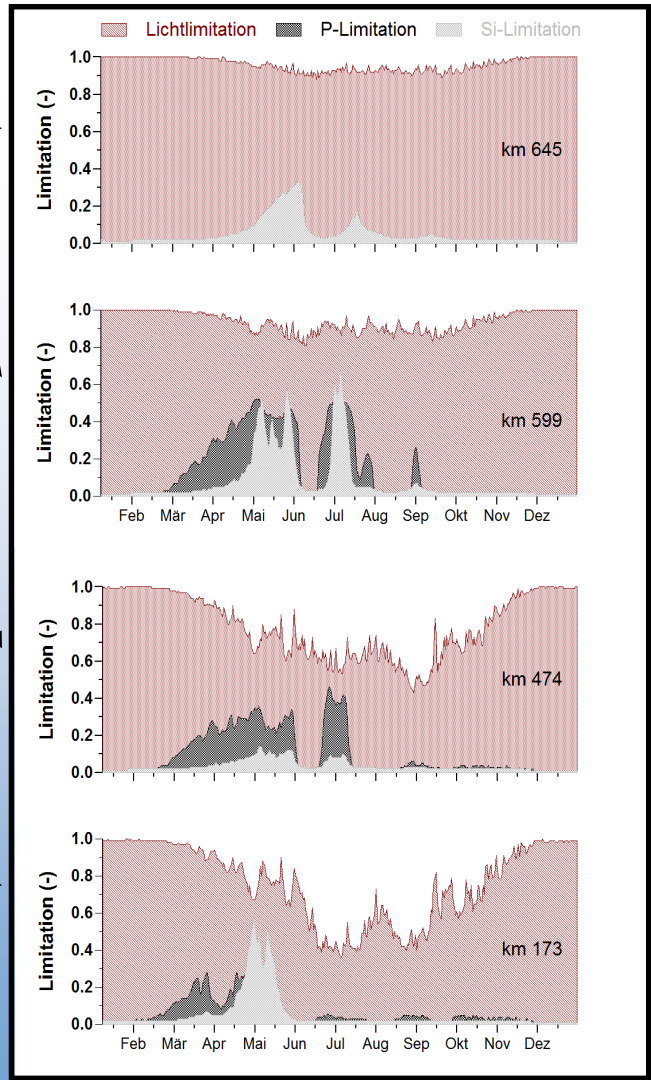
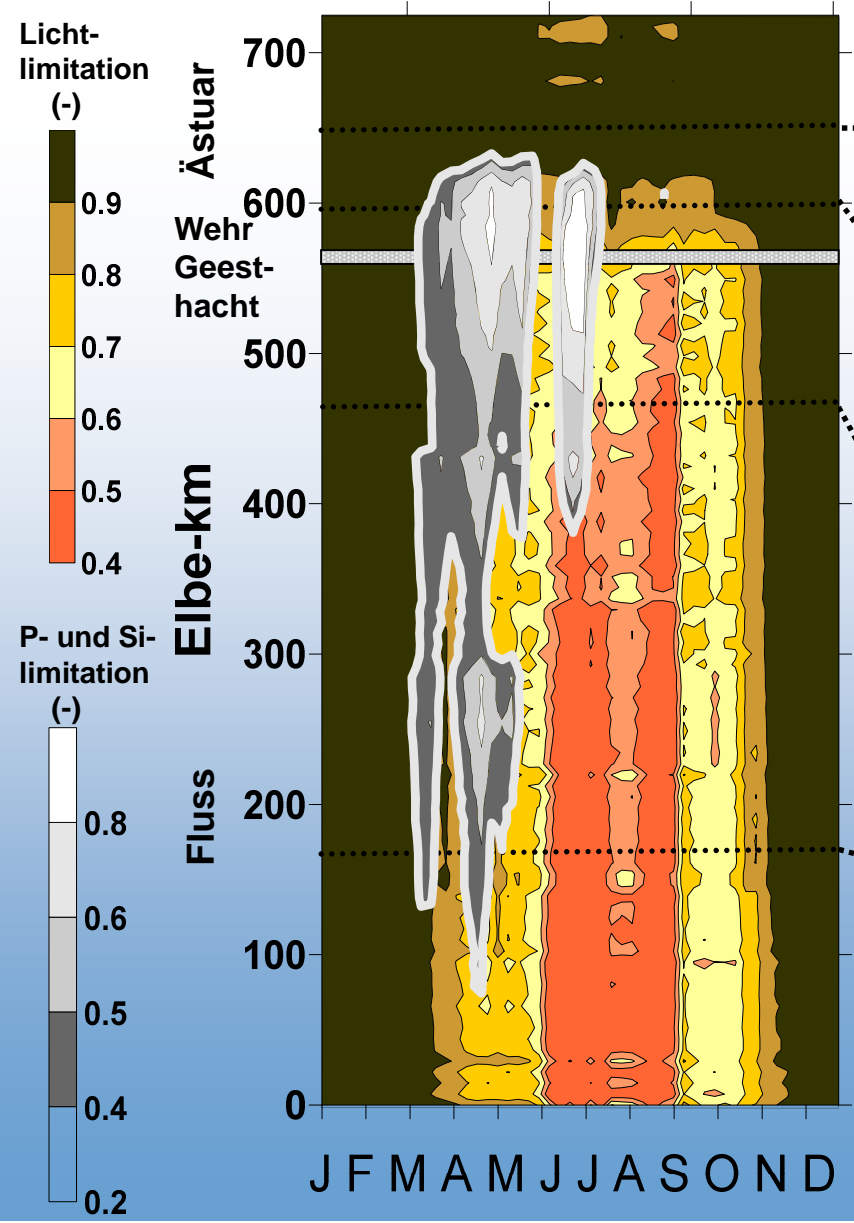
Modellwerte, Jahr 2014



Grafiken: A. Schöl (BfG)
Messdaten: www.fgg-elbe.de

Licht- und Nährstofflimitation des Algenwachstums **bfg** Bundesanstalt für Gewässerkunde

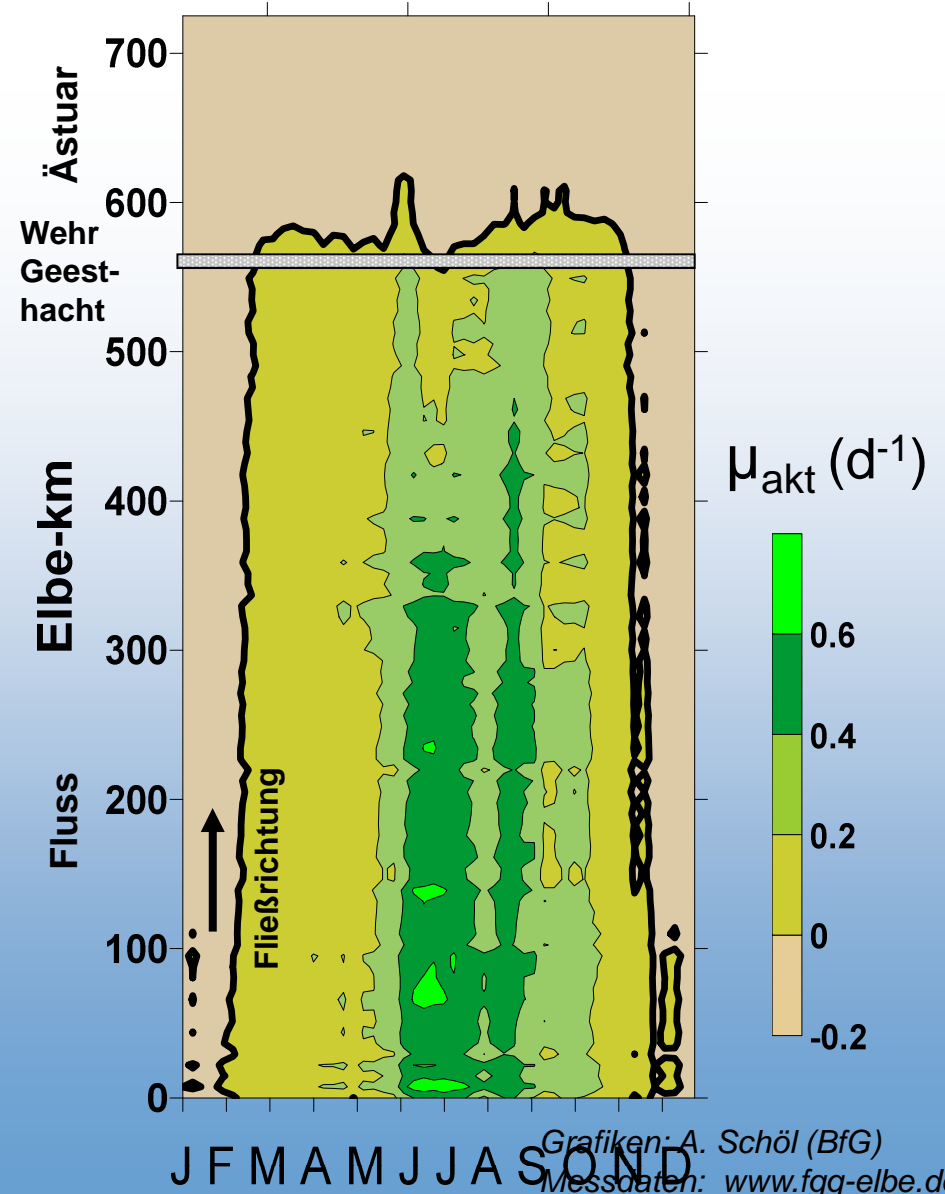
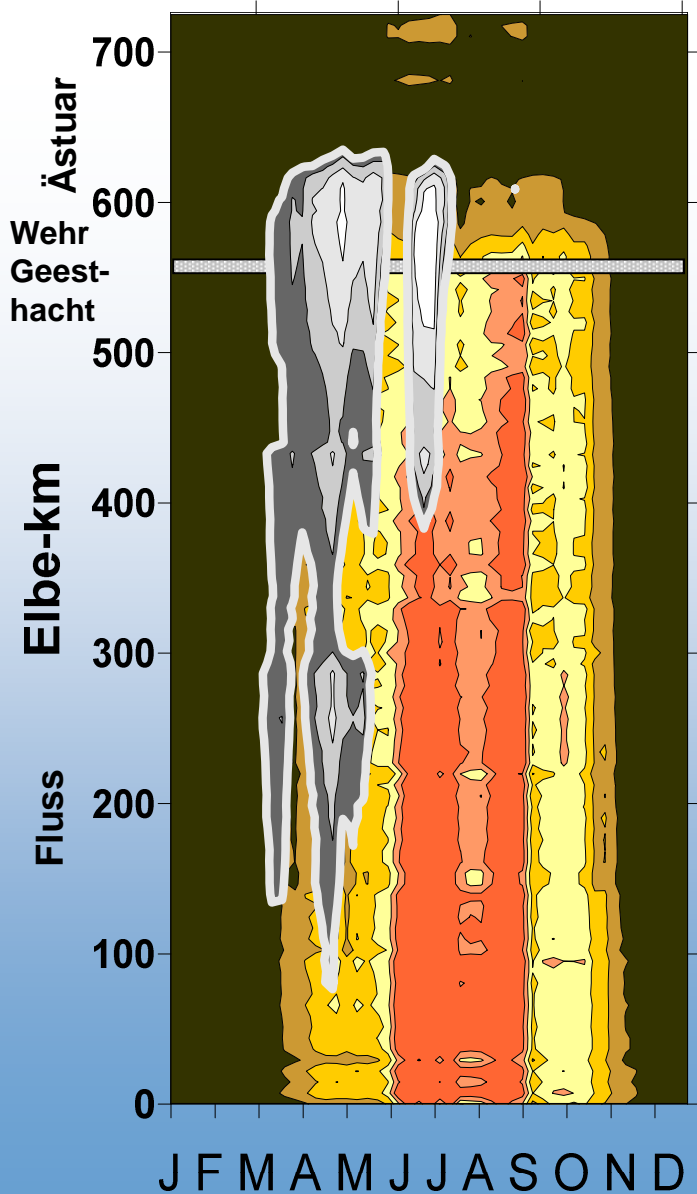
Modellwerte, Jahr 2014



Grafiken: A. Schöl (BfG)
 Messdaten: www.fgg-elbe.de

Limitation und aktuelle Wachstumsrate (μ_{akt})

Modellwerte Jahr 2014



Die Algen der Mittelelbe sind durch Aufenthaltszeit, Licht und Nährstoffe limitiert

Eine Verringerung der Trophie würde die Ästuarregion entlasten

Wie können wir die in der Elbe realisierte Trophie verringern?

- 1) Weitere Verringerung der Phosphoreinträge, um einen Wechsel in den durch P limitierten Zustand zu erreichen*
- 2) Hydro-morphologische Verbesserungen?*
- 3) Übergang in ein durch Grazingverluste dominiertes System?*

Ein Abflussrückgang im Frühjahr und Sommer würde die Trophieprobleme verschärfen

Vielen Dank für Ihr Interesse



Andreas Schöl (BfG)
BMBF-Projektförderung
Datenportale der Flussgebietsgemeinschaften
Insbesondere FGG-Elbe (www.fgg-elbe.de)
mindestens zweiwöchentliche Chlorophylldaten sind
essentiell für Interpretation und Modellierung!

Helmut Fischer
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Referat Ökologische Wirkungszusammenhänge

helmut.fischer@bafg.de

