

Toxinbildenden Cyanobakterien in sächsischen Talsperren: Ansätze, Methoden, Ergebnisse im Projekt CYAQUATA

Hilmar Börnick, Technische Universität Dresden, Institut für Wasserchemie



GEFÖRDERT VOM

4 Partner:



LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE



Weitere externe Partner:



ReWaM: „Untersuchung der Wechselbeziehungen von toxinbildenden **Cyanobakterien** und Wasser**qualität** in **Talsperren** unter Berücksichtigung sich ändernder Umweltbedingungen und Ableitung einer nachhaltigen Bewirtschaftungsstrategie“ = CYAQUATA

- Motivation, Hintergrund
- Ziele und Ansätze von CYAQUATA
- Methoden & Ergebnisse
- Schlussfolgerungen/ Handlungsempfehlungen

- *Bedeutung Talsperren (TS):* Trinkwasserversorgung, Hochwasserschutz, Naherholung, Energieerzeugung, Betriebswasserversorgung, Niedrigwasseraufhöhung, Fischzucht ...
- trotz Wasserqualitätsverbesserung (Nährstoffe) zunehmende Tendenz in einigen TS: (Massen-) *Entwicklung von Phytoplankton* bzw. -benthos (u.a. Cyanobakterien!)
- damit verbunden: mögliche Freisetzung von *Geruchs-/Geschmacksstoffen bzw. Toxinen*
- Literatur → *Ursachen vielschichtig*, komplex, noch nicht detailliert aufgeklärt:
 - Nährstoffdargebot
 - thermische Schichtungs- / Durchmischungsregime
 - extreme Wetterereignisse
 - kürzere Eisbedeckung
 - längere Wachstumsphasen
 - höherer CO₂-Gehalte in der Atmosphäre
 - Rolle Sediment
 - ...



Quelle: <http://toxische-cyanobakterien.de/en/background-information/recognising-cyanobacterial-blooms/>

- Cyanobakterien/-toxine: Vielzahl an Untersuchungen, Studien, Veröffentlichungen
- Seit 60er Jahre Vielzahl Veröffentlichungen

*Thematik Cyanobakterien /-toxine in TS, SciFinder:**

„cyanobacteria in reservoirs“: 1655 ×
„microcystins in reservoirs “: 513 ×
„cyanobacteria & drinking water“: 2718 ×

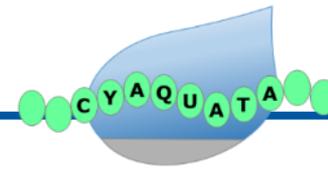
• 29.01.2020

- diverse Forschungsprojekte, darunter UBA (z. B. PEPCY)
- Einrichtungen/Beratungssysteme (wie „Cyanocenter“ UBA)

nach wie vor viele *offene Fragen*, z. B.:

- Vorhersage von Massenblüten schwierig
- Auftreten neuer Arten CB (andere Toxine?)
- autotrophes Picoplankton: Toxinbildungspotential weitgehend ungeklärt
- über 150 Cyanotoxine bekannt, Untersuchungen beschränken sich zumeist auf 10 ... 15
- ...





Öffentliches Interesse

SCHADSTOFFE/101: "Algentoxin" schlägt bis ins Trinkwasser durch (BBU WASSER-RUNDBRIEF BBU-WASSER-RUNDBRIEF Nr. 1024, vom 17. Nov. 2013, 23. Jahrgang)

Trinkwassertalsperre bei Solingen belastet mit Cyanobakterien-Toxinen

Für Schlagzeilen hat in den letzten Monaten in Solingen die Belastung einer Trinkwassertalsperre mit Burgunderblutalgen gesorgt. Um eine Belastung des Trinkwassers mit dem "Algentoxin" Microcystin zu vermeiden, haben die Stadtwerke Solingen im Aug. 2013 einen Aktivkohlefilter in Betrieb genommen. Erstmals war die rötliche Algenblüte in der Sengbachtalsperre im Januar 2013 aufgefallen. Die Stadtwerke Solingen hatten daraufhin vorsorglich das Wasserwerk Glüder an der Talsperre außer Betrieb genommen. ...
<http://www.schattenblick.de/infopool/umwelt/wasser/uwasc101.html>

SPIEGEL Gesundheit, 12.08.2019 So gesundheitsschädlich sind Blaualgen

Der Hitzesommer 2018 führte zu einer Rekordzahl von Badeverboten wegen Blaualgen, auch in diesem Jahr schritten erste Landesämter ein starker Befall durch Cyanobakterien lässt sich auf dem Wasser leicht erkennen.
Vor zwei Wochen hatte ein Satellitenbild der Ostsee für Aufregung gesorgt: Es zeigt einen Algenteppich, der sich zwischen Schweden, Estland, Lettland und Litauen gebildet hatte. An den Kreidefelsen Rügen sei ein Teil des Algenteppichs bereits angespült worden, beschrieben unter anderem "Nordkurier" und "Hamburger Morgenblatt". Die Blaualgen hätten somit auch die Kieler und die Pommerener erreicht.

Süddeutsche Zeitung (12. Juni 2015)

Blaualgen im Klostersee

Der Badeausflug an den Klostersee dürfte sich für dieses Wochenende erledigt haben. Die Ebersberger Stadtverwaltung und das Gesundheitsamt haben Warnschilder aufgehängt, nachdem eine verstärkte Belastung mit Blaualgen festgestellt worden ist.

Frankfurter Neue Presse (01.08.2013)

Mehr Blaualgen in Licher Waldschwimmbad

Im Licher Waldschwimmbad besteht nach Angaben der Gießener Kreisverwaltung die Gefahr, dass sich Blaualgen stark vermehren. Deswegen sollten Schwimmer die Lage im Auge behalten.

Online Focus (03.07.2015)

Blaualgen im Stausee Quitzdorf: Behörde warnt vor dem Baden

Das Landratsamt Görlitz hat vor dem Baden im Quitzdorfer Stausee gewarnt.

Es gebe eine starke Entwicklung von Blaualgen in der Talsperre, teilte die Behörde am Freitag mit. Das Wasser sei teils verfärbt und eingetrübt. Blaualgen gelten als Giftbildner und können die Gesundheit gefährden. Beim direkten Hautkontakt mit belastetem Wasser können Haut- und Ohrenschmerzen auftreten, allergische Reaktionen, Bindehautentzündungen und Schleimhautreizungen. Die Bakterien beeinträchtigen seit Jahren die Wasserqualität von Sachsens flächenmäßig größter Talsperre. Die Behörden kämpfen dagegen mit Aluminiumsulfat, das den im Wasser gelösten Phosphor binden soll, der für das Blaualgen-Wachstum verantwortlich ist.

17.09.2015)

Weniger Dünger, mehr Wetter Gewässerqualität und Algen beeinträchtigen die auf die Gewinnung von Trinkwasser.

DRESDEN taz | Der Klimawandel beeinträchtigt die Gewässerqualität von Trinkwasser. Insbesondere in Ostdeutschland haben kürzere Winter und verstärkte Zuströme die nach dem Ende der DDR erreichten Forschungsstände...

Die Blaualgen hätten somit auch die Kieler und die Pommerener erreicht. In den tieferen und schärferen Jahren seien noch ein hoher Phosphorgehalt und geringere Nährstoffkonzentration zu beobachten gewesen, berichtet der Hydrobiologe Lothar Paul. Er leitet die Arbeit der Talsperren Südostbach und Nutztalsperre. Düngung wurden für die Bekämpfung von Blaualgen als unwirksam eingeschätzt. Zur Überwachung der Wasserqualität habe der Rückgang der Nährstoffbelastung...

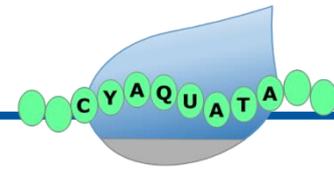
Süddeutsche Zeitung (14. März 2011)

Blaualgen-Alarm im Starnberger See

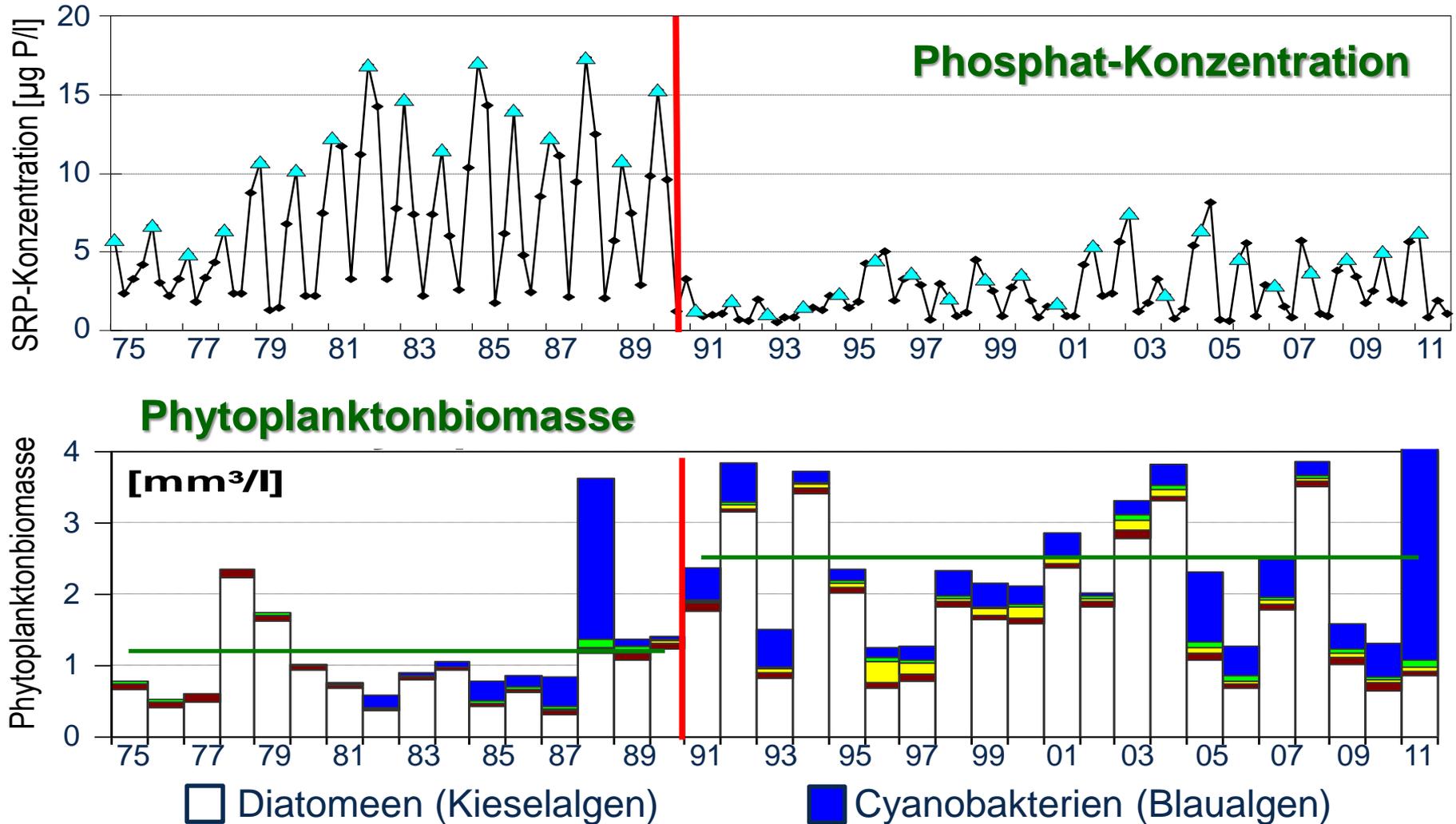
Badegäste müssen vorsichtig sein: Im Starnberger See sind Blaualgen aufgetaucht, die in hoher Konzentration Gifte bilden können. Mögliche Folgen sind Übelkeit, Erbrechen und Atemnot.

Das strahlende Sommerwetter mit Temperaturen über 30 Grad lockt zur Zeit viele Münchner für einen Badeausflug auch an den Starnberger See. Davon ist an diesem Wochenende abzuraten, denn Badende entdeckten im Wasser des Sees Blaualgen. Die Organismen, die eigentlich Cyanobakterien heißen, können in hoher Konzentration toxische Nervengifte bilden.

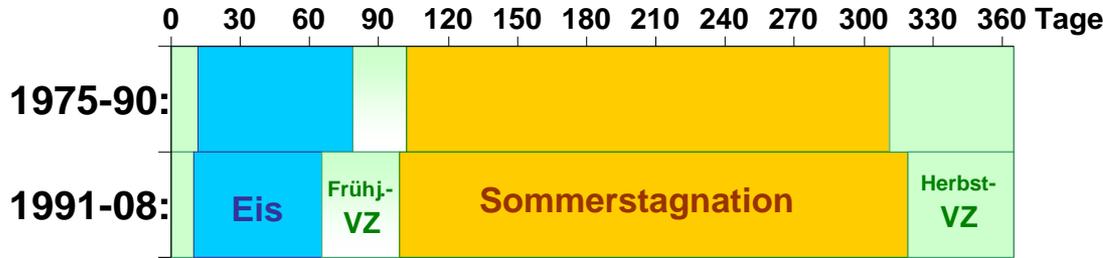
Motivation, Hintergrund



Entwicklung der Nährstoffkonzentration und der Phytoplanktonbiomasse (TS Saidenbach)



■ Winter/Eis ■ Sommerstagnation
■ Frühjahrsvollzirkulation ■ Herbstvollzirkulation



Vermutete Ursachen für den Anstieg

Warme Winter



Kürzere Eisbedeckung
und/oder

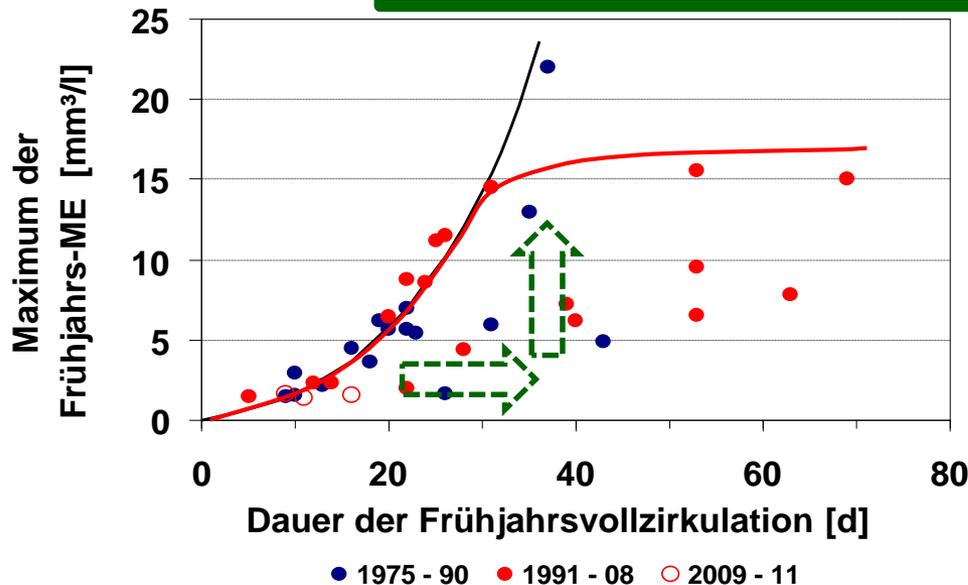
früherer Eisauflauf



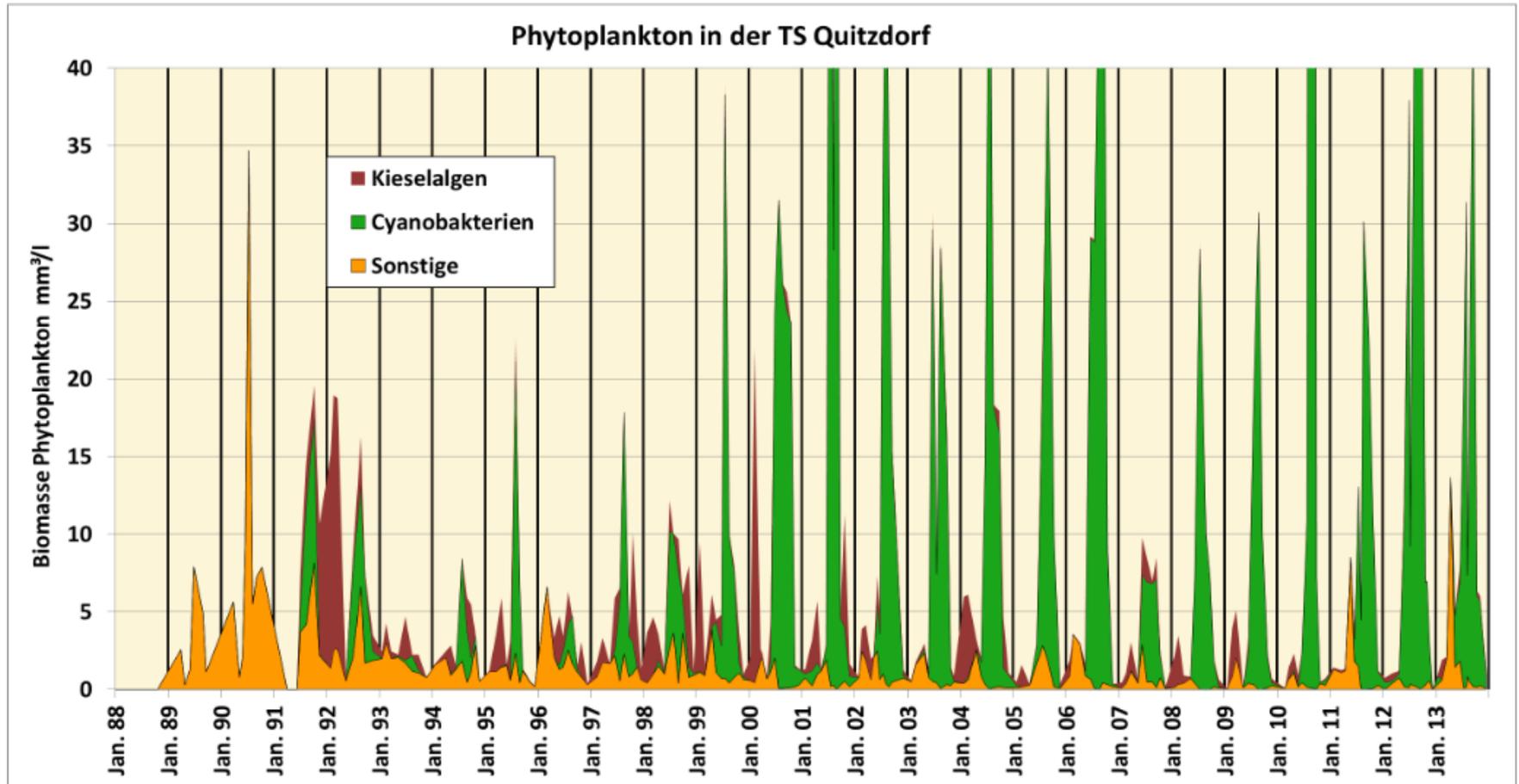
Längere Frühjahrsvollzirkulationszeit



verlängerte
Wachstumsmöglichkeit



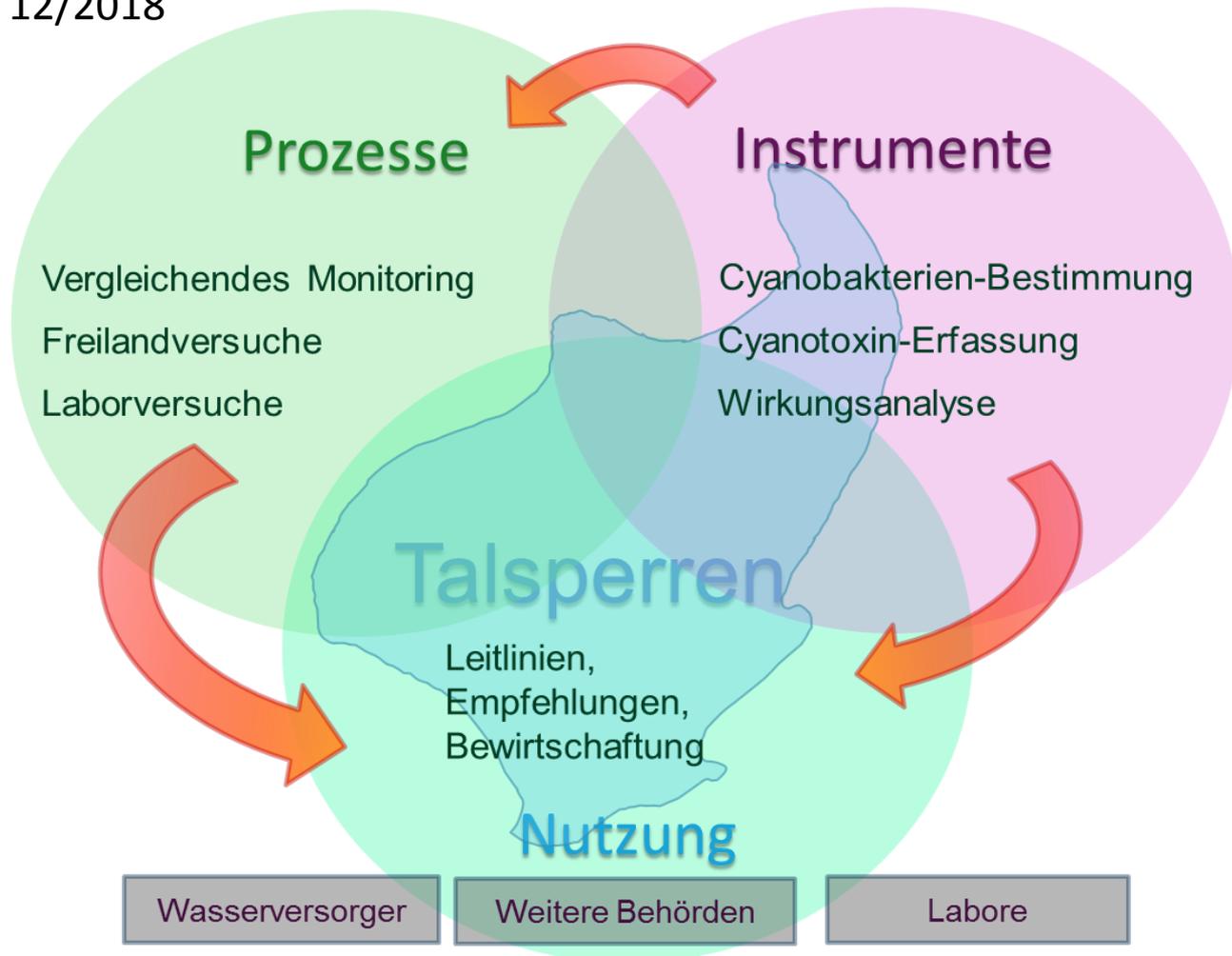
Cyanobakterien in der TS Quitzdorf



Quelle: https://media.lk-goerlitz.active-city.net/aemter/kreisentwicklung/tsq/Praesentation_23-04-2014.pdf

Forschungsprojekt CYAQUATA:

Laufzeit: 06/2015 – 12/2018



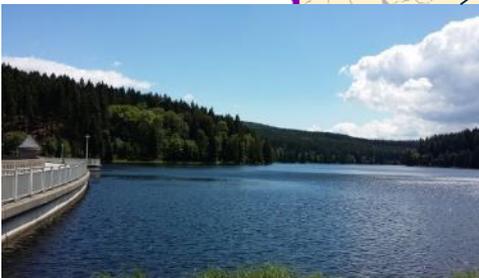
Trinkwassertalsperren



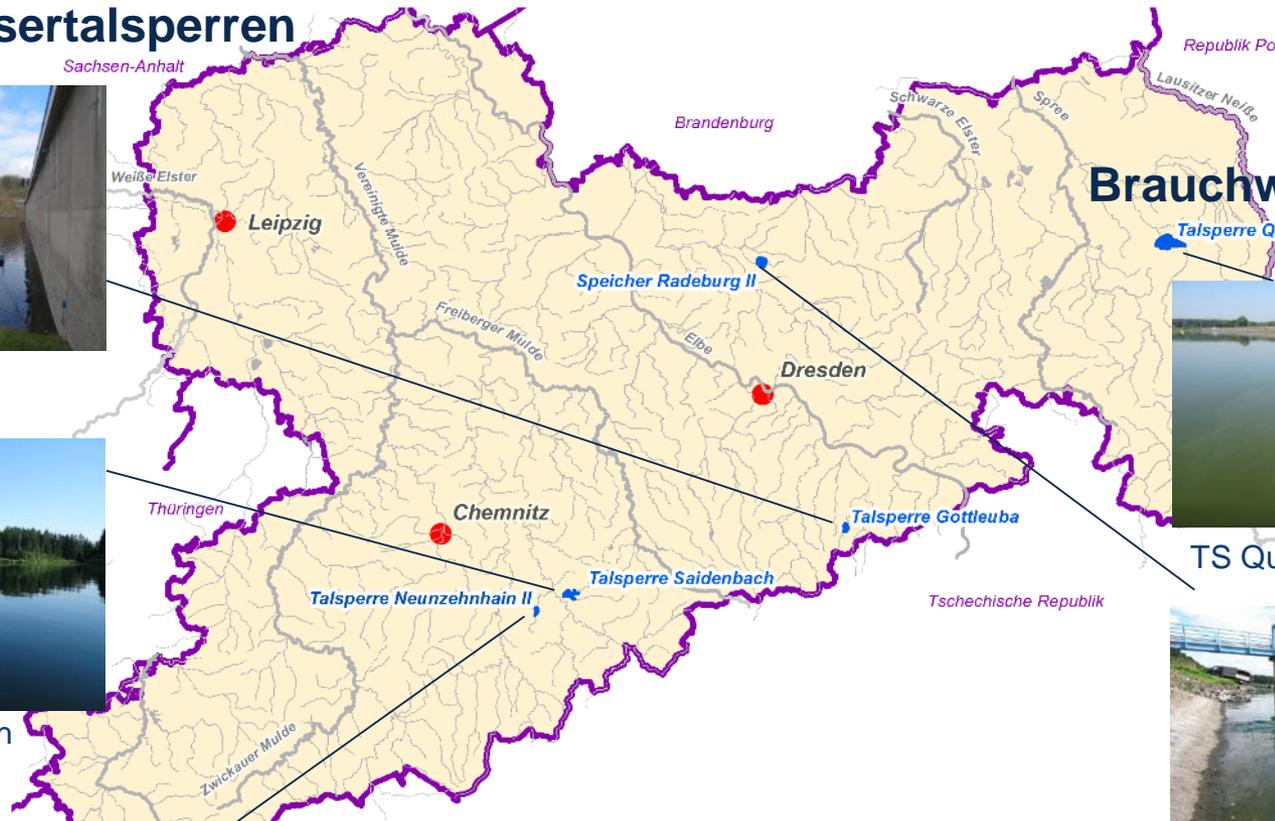
TS Gottleuba



TS Saidenbach



TS Neunzehnhain II



Brauchwasserspeicher



TS Quitzdorf

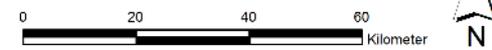


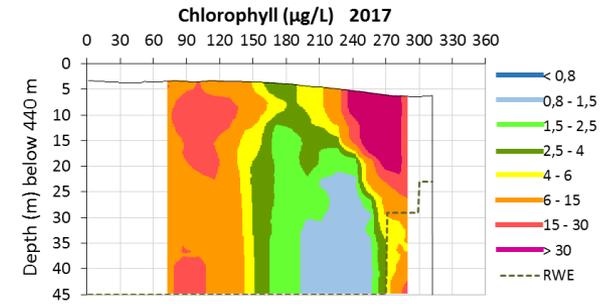
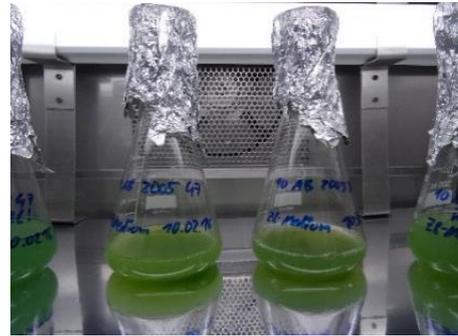
Speicher Radeburg II

LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE

Freistaat
SACHSEN

Boarbeitung: LFULG, Referat 44 - Oberflächenwasser, Wasserrahmenrichtlinie
Fachdaten: LFULG
Herbeitungsstand: September 2017
Geobasisdaten: © 2017, Staatsbetrieb Geobasisdaten und Vermessung Sachsen (GeoSN)





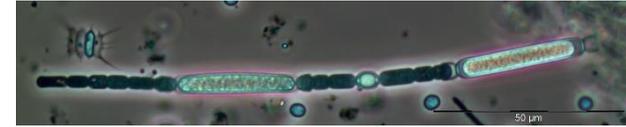
METHODEN & ERGEBNISSE (AUSWAHL)



Methodik – CB-Erfassung

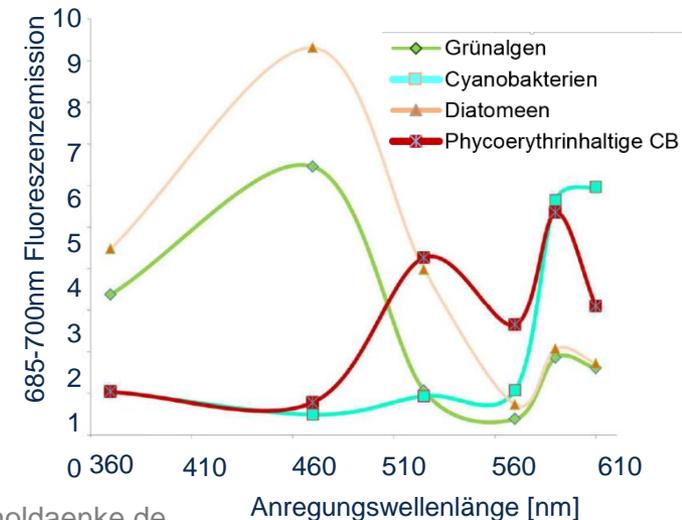
Mikroskopie

- Bestimmung bis zur Art oder Gattung
- Abschätzung des Phytoplankton-Biovolumens



FluoroProbe (bbe moldaenke)

- Fluoreszenzspektroskopische Detektion der Pigmente
- Quantifizierung von Diatomeen, Grünalgen, Cryptophyta und Cyanobakterien
- Neu: Kanal für phycoerythrin-haltige Cyanobakterien



www.bbe-moldaenke.de

Durchfluss- zytometrie (BD Accuri C6)

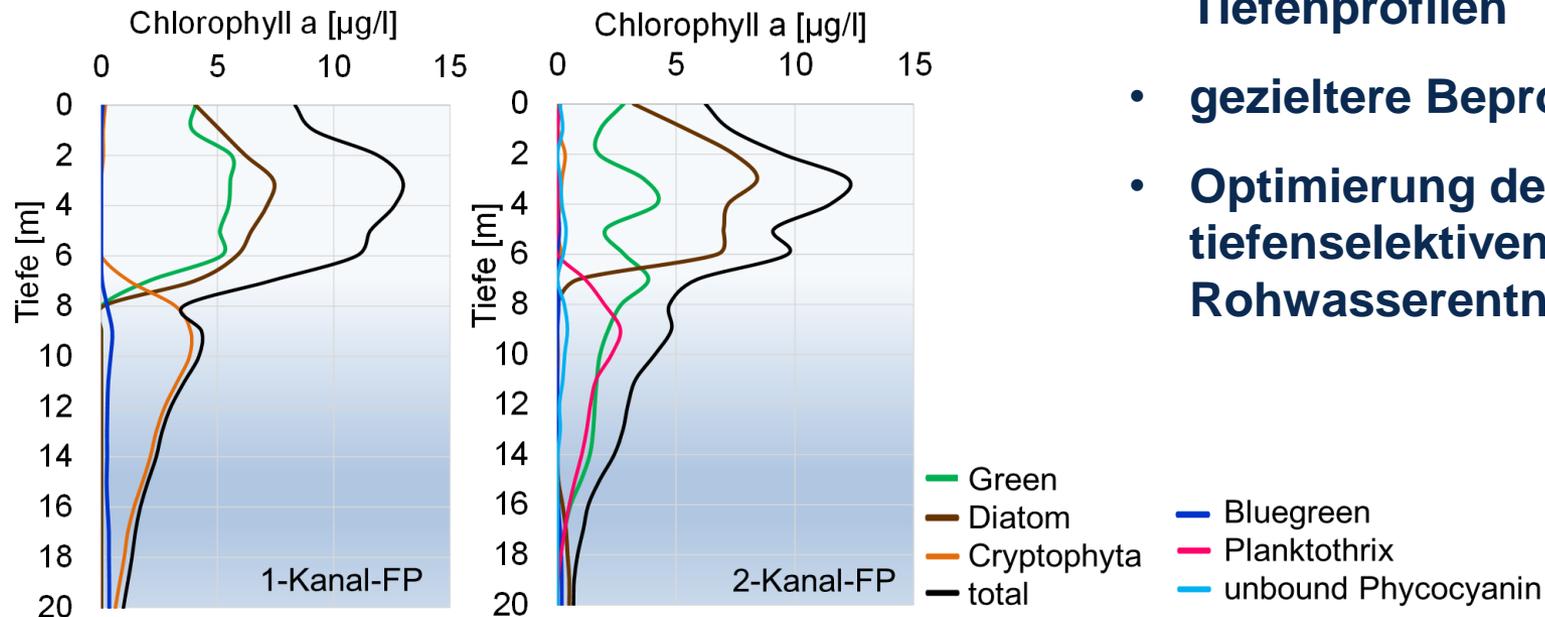
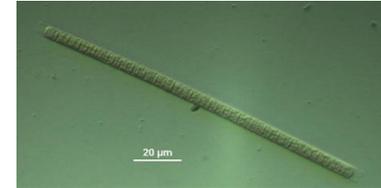
- Basiert auf photometrische Detektion und Partikelzählung
- Differenzierung von Phytoplankton hinsichtlich Pigmentzusammensetzung, Größe und Oberflächenstruktur



Methodik – CB-Erfassung

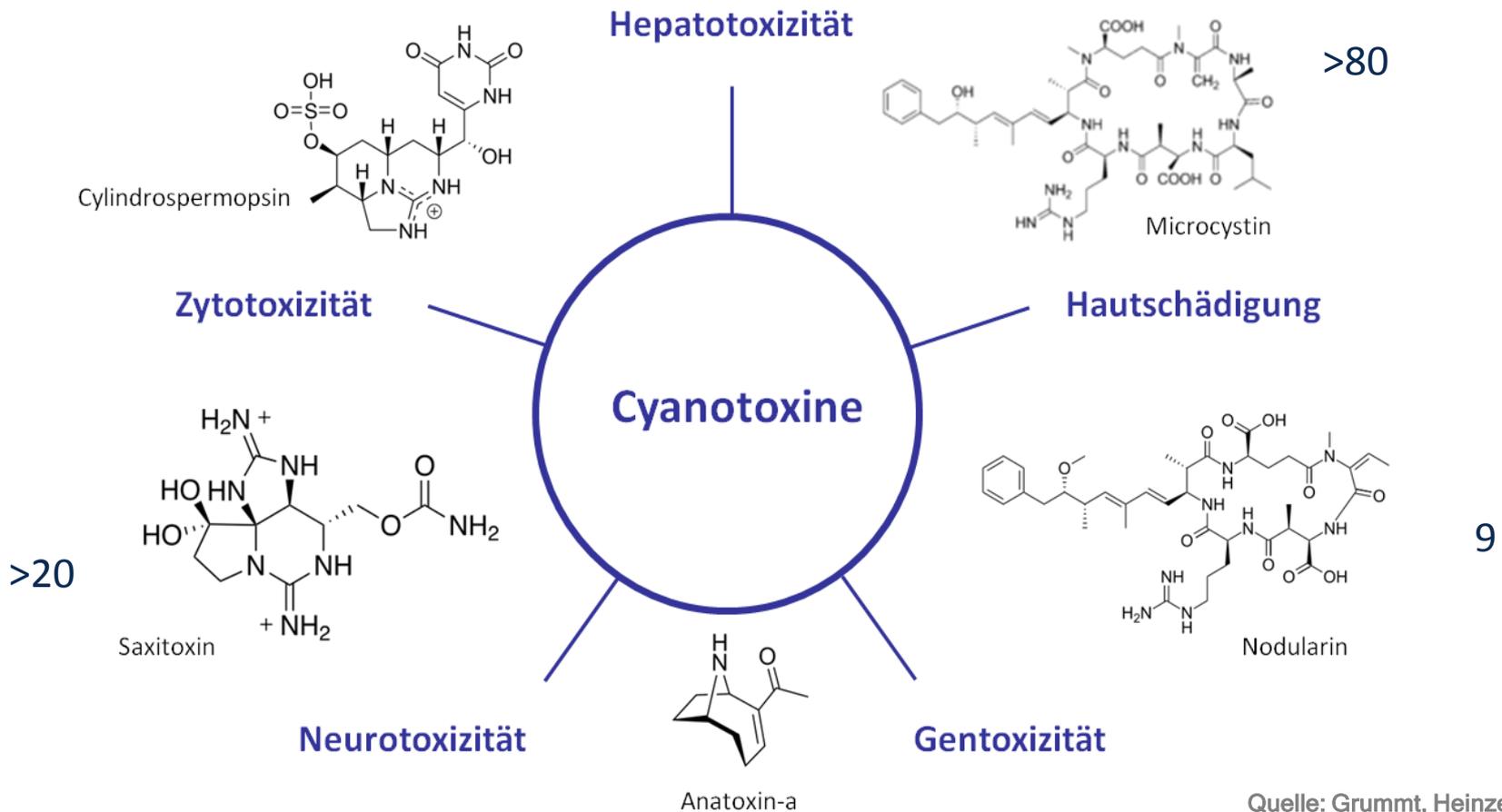
Weiterentwicklung der **FluoroProbe-Sonde**

- Neues Profil für phycoerithrinhaltige Cyanobakterien (z. B. *Planktothrix rubescens*)
- Detektion von freiem Phycocyanin (Indikator für absterbende Cyanobakterienblüten)



- **In-situ Aufnahme von Tiefenprofilen**
- **gezielte Beprobung**
- **Optimierung der tiefenselektiven Rohwasserentnahme**

Erfassung Cyanotoxine



Quelle: Grummt, Heinze (UBA)

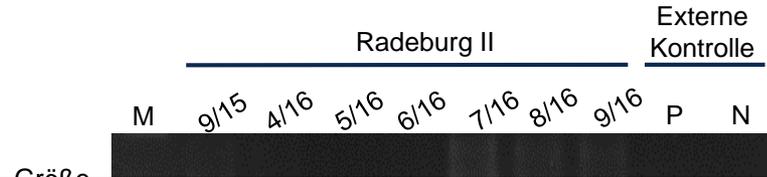
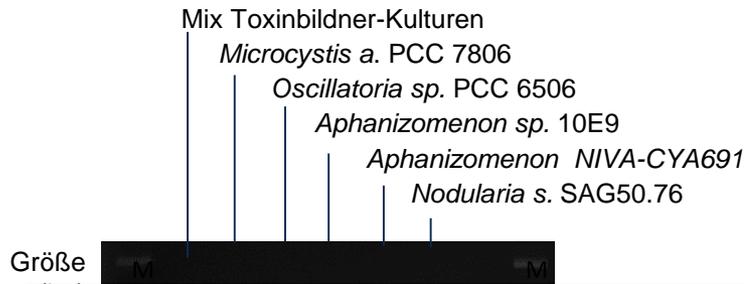
Molekularbiologische Cyanotoxinerfassung

Nachweis von Toxin-Genen

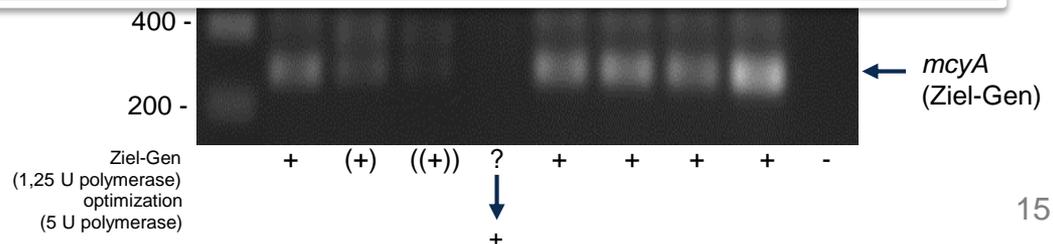
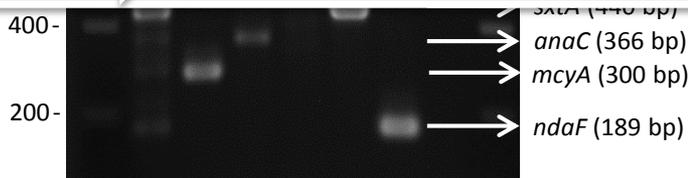
Nachweis von Genabschnitten der Cyanotoxinsynthese in Wasserproben

→ **Potentielle Toxinproduzenten**

| Gruppe | Toxin | Gen | PCR-Produkt |
|-------------|--------------------|-------------|-------------|
| Hepatotoxin | Microcystin | <i>mcyA</i> | 300 bp |
| | Nodularin | <i>ndaF</i> | 189 bp |
| Neurotoxin | Saxitoxin | <i>sxtA</i> | 440 bp |
| | Anatoxin | <i>anaC</i> | 366 bp |
| Cytotoxin | Cylindrospermopsin | <i>cyrB</i> | 536 bp |



Wasserproben können parallel auf das Vorkommen von 5 Toxin-Genen untersucht werden



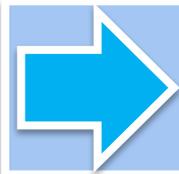
IGS
e)

Wirkungsbezogene Cyanotoxinerfassung

Zellbasierte Toxizitätstests

Wirkungsbasierte Teststrategie erfasst Gesamtoxizität der Probe
Toxikologisches Screening von Wasserproben noch nicht möglich

- Verdachtsfälle für cyanobakterielle Toxine, die keinem bekannten Toxin zugeordnet werden können
- Toxizitätstest eines Cyanobakterienstammes
- Charakterisierung neu identifizierter Cyanotoxine



Wirkungsbasierte Teststrategie etabliert
Screening von Wasserproben noch nicht möglich

→ Neurotoxische Effekte nachgewiesen

Chemisch-analytische Cyanotoxinerfassung

Trennung von intra- und extrazellulärer Fraktion durch Filtration
(Glasfaserfilter, 0,7 μm)

Intrazelluläre Toxine

Methanolextraktion; Ultraschallbehandlung

Extrazelluläre Toxine

Anreicherung über Festphasenextraktion

Summenanalytik z. B. Immunoassay ELISA

Toxine /
Toxingruppen

Erhältlich für 5 Gruppen:
MC/NOD, STX, ATX, CYN



Abraxis ELISA Kit

Einzelsubstanzanalytik z. B. LC-MS/MS

- Unterschiedliche LC-Methoden für polare/ unpolare Toxine



LC-MS/MS, TU Dresden, IWC

Cyanotoxinanalytik

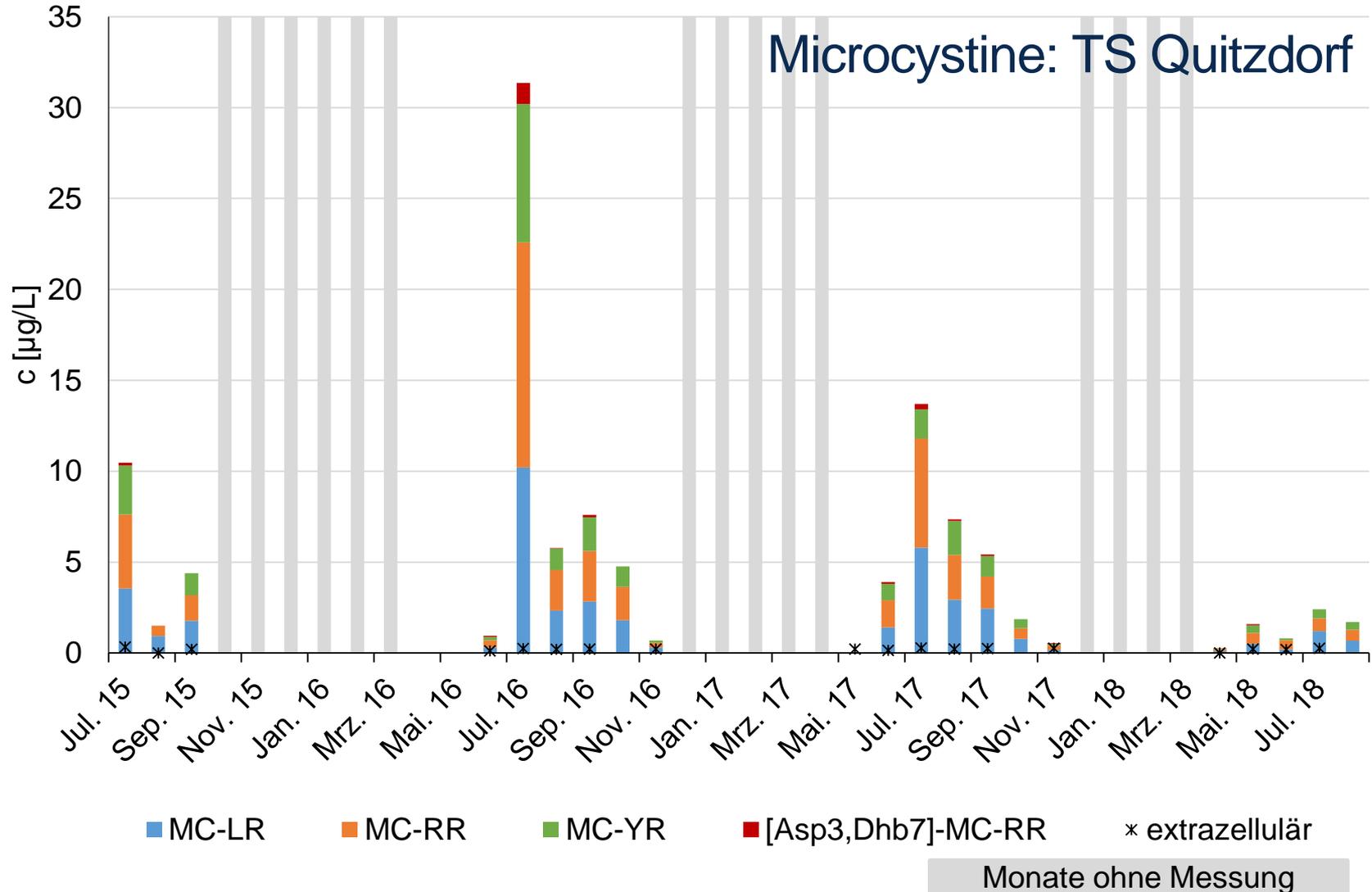
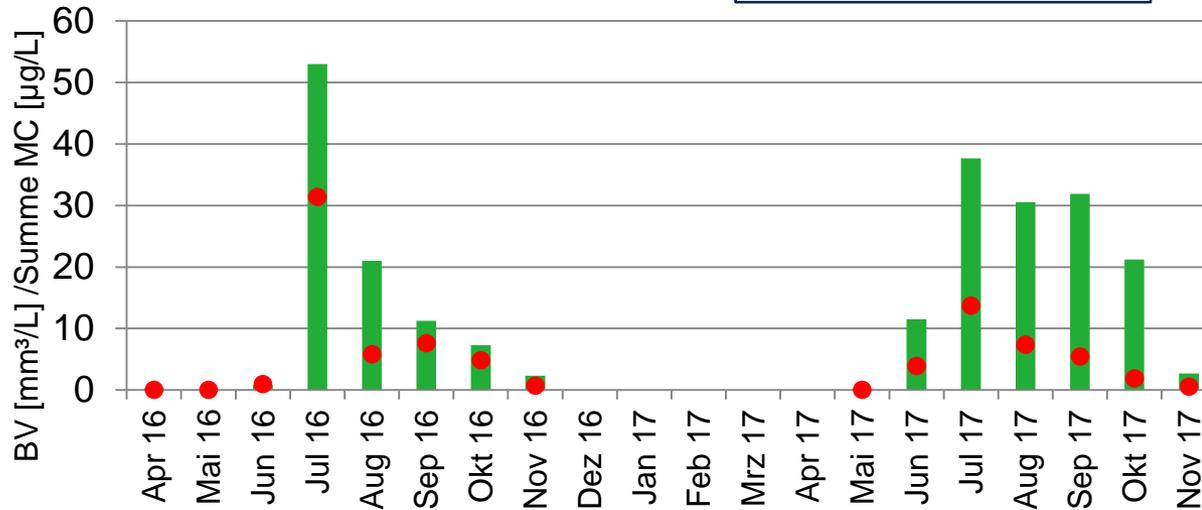


Abb.: Intra- und extrazelluläre Microcystinkonzentration in der TS Quitzdorf (Epilimnion-Mischprobe)

Cyanotoxinanalytik

TS Quitzdorf



- Biovolumen Cyanobakterien
- Summe Microcystine

Microcystine – Biovolumen Cyanobakterien

Speicher Radeburg II

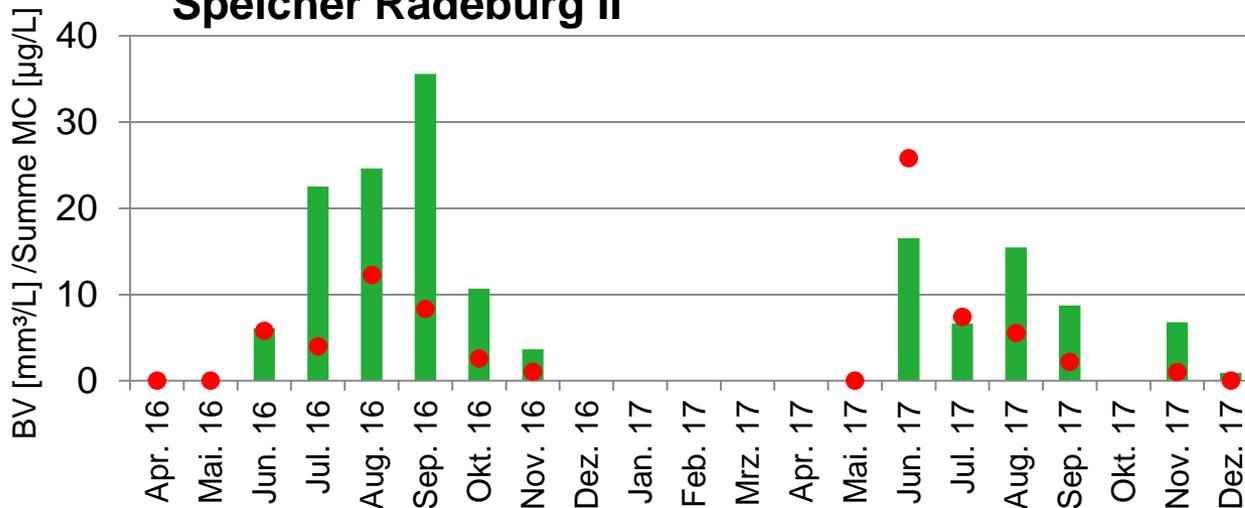
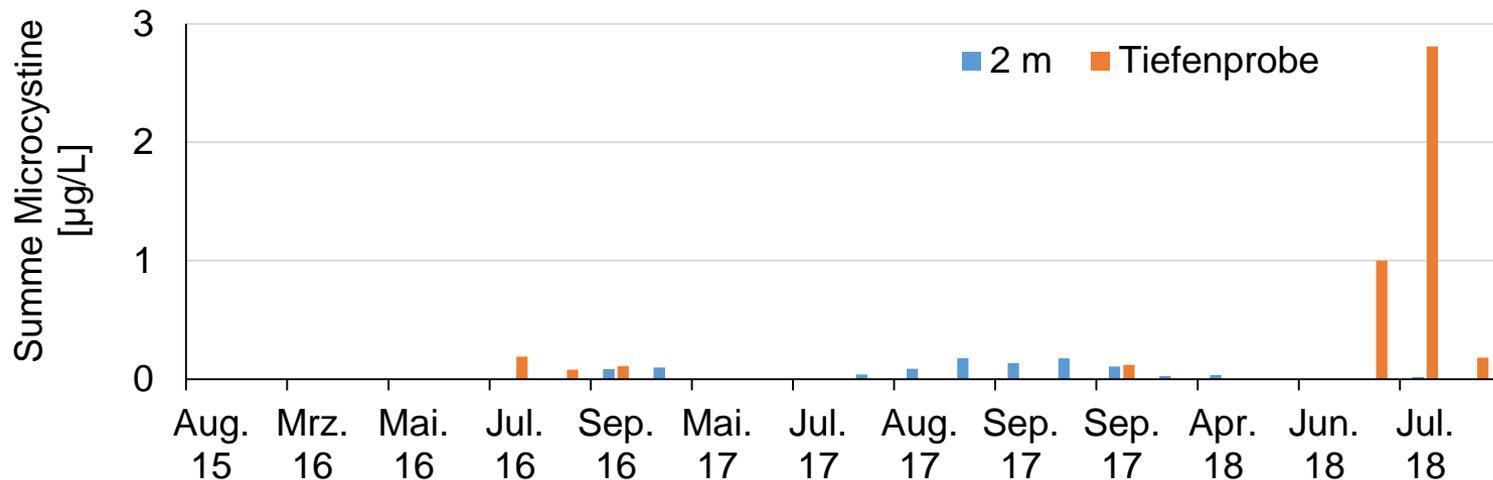


Abb.: Sp. Radeburg II, Juni 2017

Microcystine: TS Saidenbach

Cyanotoxinanalytik

- Mesotrophe Trinkwassertalsperre mit geringem Cyanobakterien-Aufkommen



- Tiefenprobe (ca. 10 m, Metalimnion) wurde anhand des FluoroProbe-Tiefenprofils ausgewählt
- In Tiefenproben vor allem *Planktothrix rubescens*
- Signal für Standard für [Asp3,Dhb7]-MC-RR, aber bei gleichem Massenübergang werden auch [Asp3]-MC-RR und [Dha7]-MC-RR erfasst

Saxitoxin, Anatoxin und Cylindrospermopsin

Untersuchung der polaren Toxine STX, ATX und CYN erfordert zusätzliche analytische Methoden

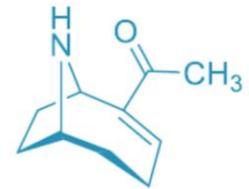
Cylindrospermopsin

- Gelegentliche Nachweise (intra- und extrazellulär) in Gewässern unterschiedlicher Trophie



Anatoxin

- Wenige intrazelluläre Nachweise in den eutrophen Brauchwasserspeichern Quitzdorf und Radeburg II

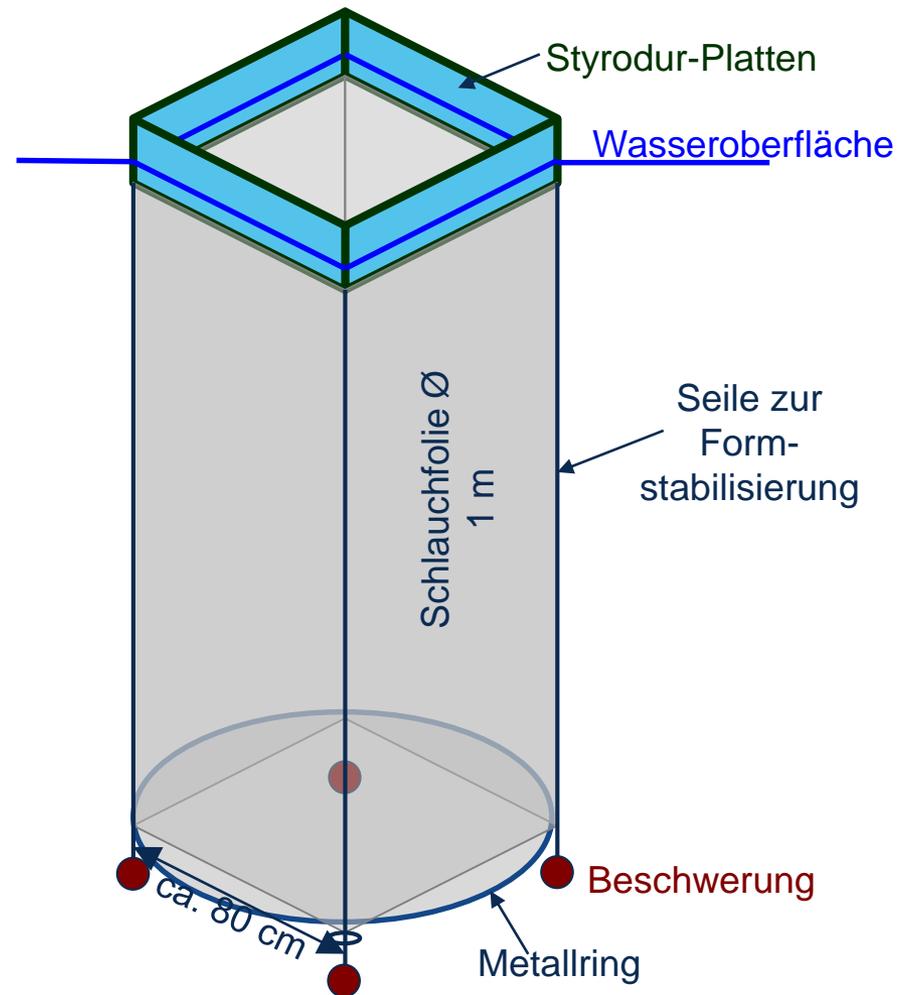


Saxitoxin

- Analytische Probleme
- Keine Nachweise mittels LC-MS/MS
- ELISA: wenige Nachweise im Speicher Radeburg II
7.05.2018: 1,36 µg/L intrazell., 0,03 µg/L STX extrazell.

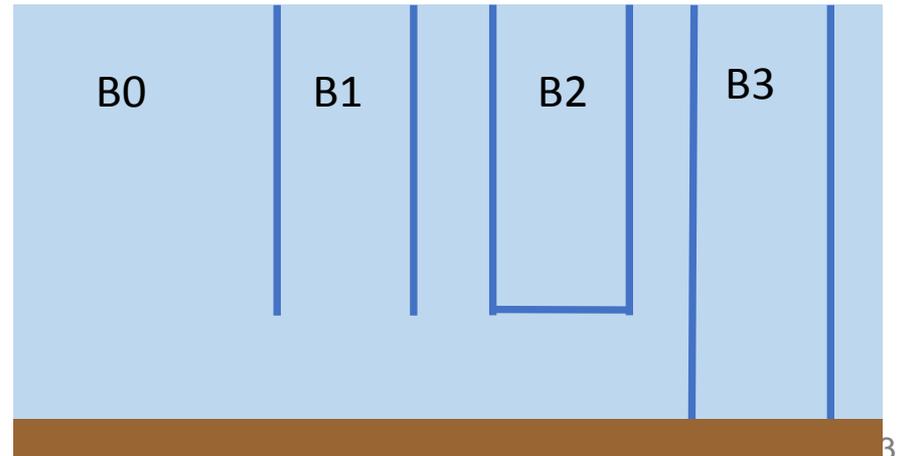
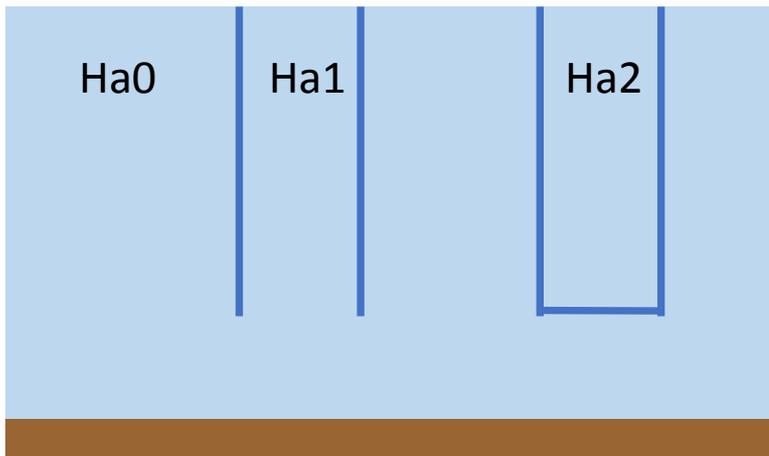
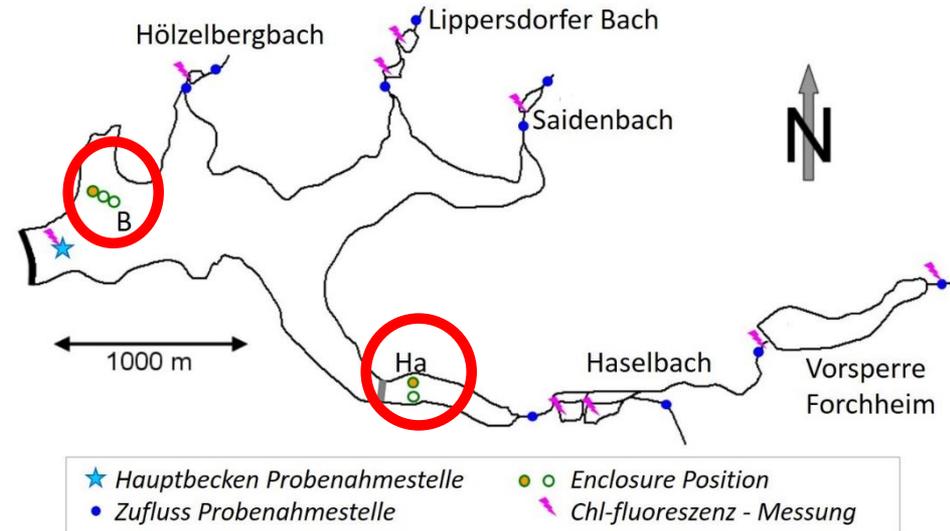


Enclosure - Aufbau



Fragestellung: In welchen Refugien werden CB-Entwicklungen initiiert?

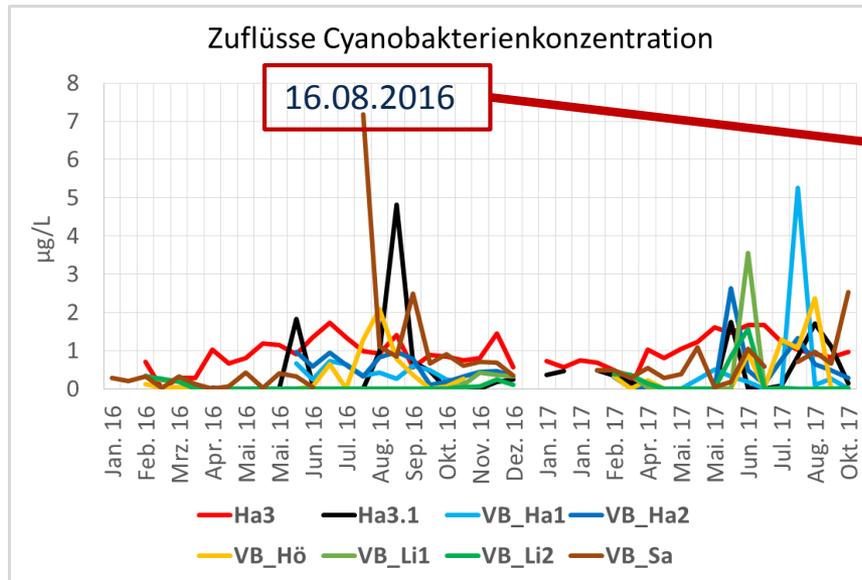
- Enclosures in verschiedenen Teilen der TS
- Enclosures unterschiedlicher Ausführung



Enclosure-Versuche in der TS Saidenbach

Stabile, länger anhaltende thermische Schichtung begünstigt Cyanobakterien in geschichteten Gewässern

Durchmischung unter bestimmten Bedingungen sinnvoll?



Anabaena sp., *Microcystis sp.*

- gleiche Arten in TS Saidenbach wie in VB Saidenbach

→ CB aus Vorbecken???

Cyanobakterien-Entwicklung aus dem Sediment (v.a. im Frühjahr) und durch Einträge aus den Vorsperren (Sommer)

Modifizierte, angepasste Bewirtschaftung der Vorsperren

| | | Radeburg II |
|--------------|-------------------------|-------------|
| Meteorologie | Niederschlag | |
| | Niederschlag_5 | |
| | Niederschlag_10 | |
| | Globalstrahlung | |
| | Globalstrahlung_5 | + |
| | Globalstrahlung_10 | + |
| | Lufttemperatur | + |
| | Lufttemperatur_5 | + |
| | Lufttemperatur_10 | + |
| Physik | Wassertemperatur | + |
| | Sauerstoffkonzentration | |
| | Sauerstoffsättigung | |
| | pH-Wert | + |
| | Leitfähigkeit | + |
| | Trübung (FAU) | |
| | Sichttiefe | + |
| Chemie | DOC | + |
| | SAK | + |
| | Silikat | + |
| | Chlorid | |
| | Nitrat | + |
| | Ammonium | + |
| | Sulfat | + |
| | Phosphat, gelöst | |
| | Phosphor, gesamt | + |

Daten 2016/2017

Signifikanzniveau:

| | | | |
|----------------|---------------|---------------|--------------|
| $p \leq 0.001$ | $p \leq 0.01$ | $p \leq 0.05$ | $p \leq 0.1$ |
|----------------|---------------|---------------|--------------|

Speicher Radeburg II

- Einfluss zahlreicher Faktoren
- sehr variable Cyanobakterien-Population

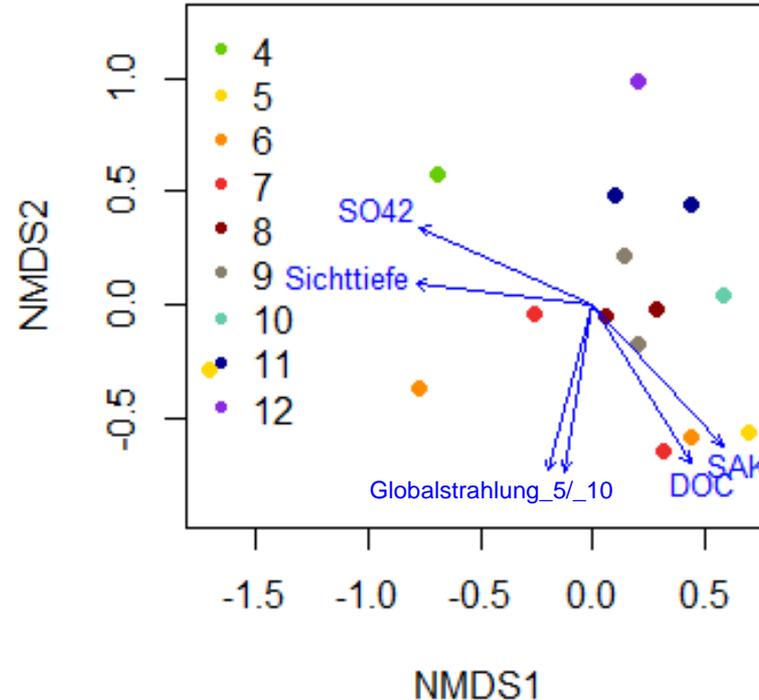


Abb.: Nichtmetrische Multidimensionale Skalierung (NMDS) auf Grundlage der Biovolumina der Cyanobakterien-Arten.

| | | Radeburg II |
|--------------|-------------------------|-------------|
| Meteorologie | Niederschlag | |
| | Niederschlag_5 | |
| | Niederschlag_10 | |
| | Globalstrahlung | |
| | Globalstrahlung_5 | + |
| | Globalstrahlung_10 | + |
| | Lufttemperatur | + |
| | Lufttemperatur_5 | + |
| | Lufttemperatur_10 | + |
| Physik | Wassertemperatur | + |
| | Sauerstoffkonzentration | |
| | Sauerstoffsättigung | |
| | pH-Wert | + |
| | Leitfähigkeit | + |
| | Trübung (FAU) | |
| | Sichttiefe | + |
| Chemie | DOC | + |
| | SAK | + |
| | Silikat | + |
| | Chlorid | |
| | Nitrat | + |
| | Ammonium | + |
| | Sulfat | + |
| | Phosphat, gelöst | |
| | Phosphor, gesamt | + |

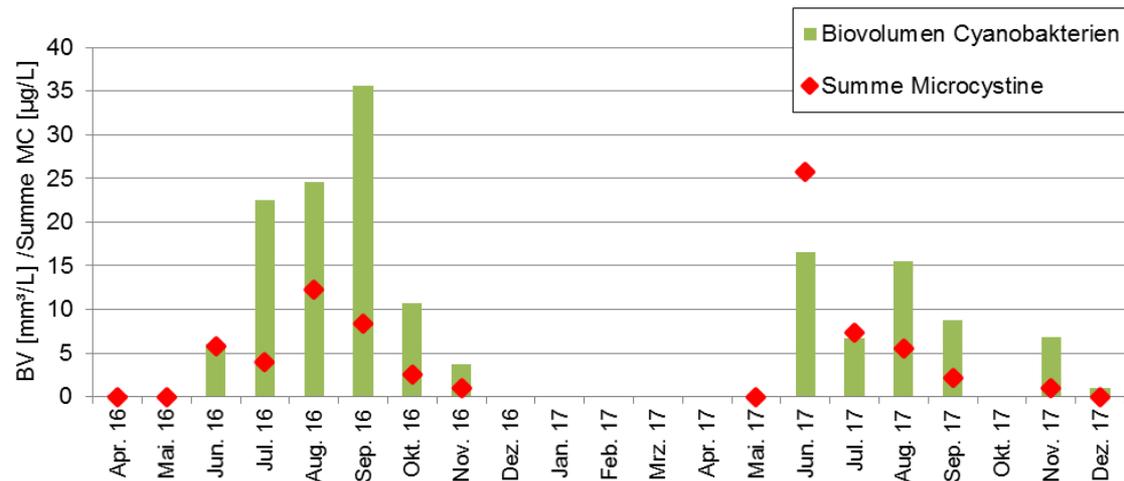
Daten 2016/2017

Signifikanzniveau:

| | | | |
|----------------|---------------|---------------|--------------|
| $p \leq 0.001$ | $p \leq 0.01$ | $p \leq 0.05$ | $p \leq 0.1$ |
|----------------|---------------|---------------|--------------|

Speicher Radeburg II

- Einfluss zahlreicher Faktoren
- sehr variable Cyanobakterien-Population
- Microcystinkonzentration aus Cyanobakterien-Biovolumen nicht ableitbar



| | | Gottleuba |
|--------------|-------------------------|-----------|
| Meteorologie | Niederschlag | |
| | Niederschlag_5 | |
| | Niederschlag_10 | |
| | Globalstrahlung | |
| | Globalstrahlung_5 | |
| | Globalstrahlung_10 | |
| | Lufttemperatur | |
| | Lufttemperatur_5 | |
| | Lufttemperatur_10 | |
| Physik | Wassertemperatur | + |
| | Sauerstoffkonzentration | + |
| | Sauerstoffsättigung | |
| | pH-Wert | |
| | Leitfähigkeit | |
| | Trübung (FAU) | |
| | Sichttiefe | |
| Chemie | DOC | |
| | SAK | |
| | Silikat | |
| | Chlorid | |
| | Nitrat | |
| | Ammonium | |
| | Sulfat | |
| | Phosphat, gelöst | |
| | Phosphor, gesamt | |

Daten 2016/2017

Signifikanzniveau:

| | | | |
|----------------|---------------|---------------|--------------|
| $p \leq 0.001$ | $p \leq 0.01$ | $p \leq 0.05$ | $p \leq 0.1$ |
|----------------|---------------|---------------|--------------|

Talsperre Gottleuba

- Geringe Variabilität der Population
- v. a. autotrophes Picoplankton und *Planktothrix rubescens*
- Abundanzen steigen mit Wassertemperatur im Metalimnion

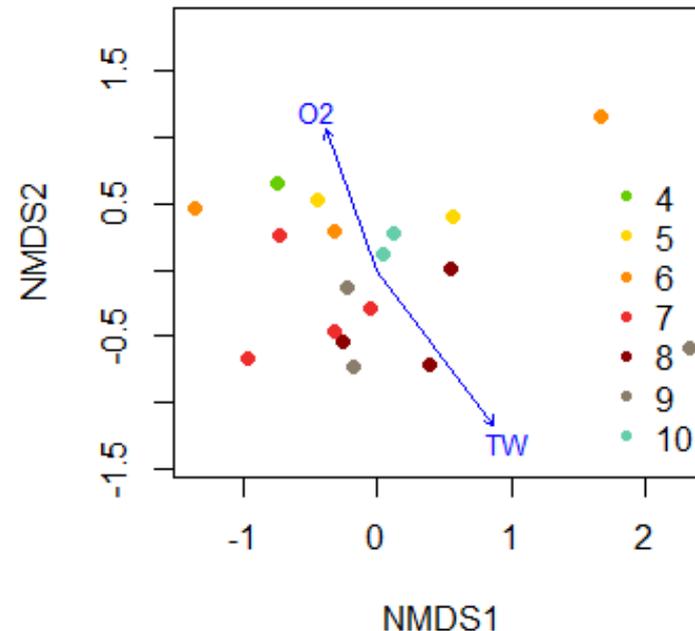


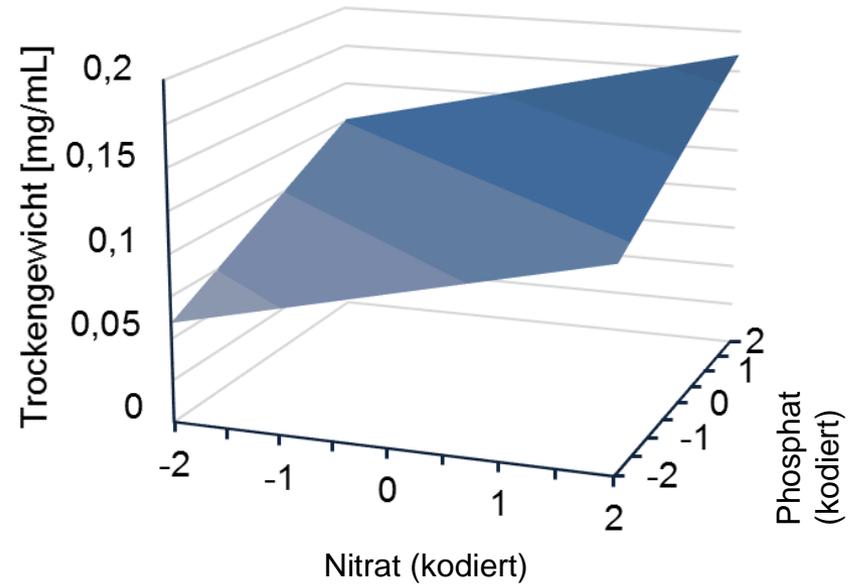
Abb.: Nichtmetrische Multidimensionale Skalierung (NMDS) auf Grundlage der Biovolumina der Cyanobakterien-Arten.

Einflussfaktoren auf CB-Entwicklungen

Laborversuche

Erhöhte Nährstoffverfügbarkeit erhöht Wachstum

Konkurrenzverhalten bei Anwesenheit mehrerer Stämme



Einflussfaktoren auf Wachstum und Toxinbildung sind Stamm-spezifisch

Klimafaktoren (Temperatur, Licht, atm. CO₂,) zeigen **keine einheitliche Auswirkung** auf Wachstum oder Toxinbildung in Laborversuchen

→ *einige Stämme profitieren von klimawandelbedingten Änderungen*

- I) Kontinuierliches Monitoring (z. B. Temperatur, Trübung)
 - Für eine Vorhersage von CB-Massenentwicklungen sind Messungen in hoher zeitlicher Auflösung notwendig

- II) Vor-Ort-Analysenmethoden (Chlorophyll a)
 - FluoroProbe zur Erfassung der Cyanobakterien
 - Anwendungsempfehlung

- III) Quantitative Methoden (Cyanotoxin-Bestimmung)
 - ELISA zur Quantifizierung der Microcystine
 - Anwendungsempfehlung



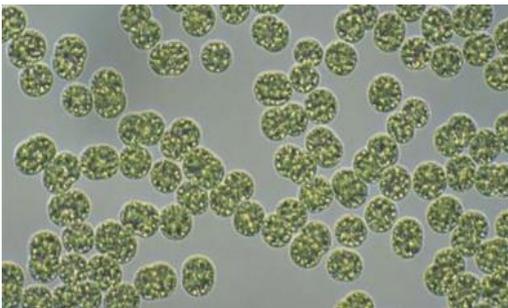


Eutrophe Brauchwasserspeicher

- Wiederholte sommerliche CB/CT-Entwicklungen wahrscheinlich
→ *CB-Population und Toxinbildung sind gewässerspezifisch*
- Erhebliche Blüten → Schutz der Nutzer (z. B. Sperrung/Abtrennung Badestellen, Aufbereitung ...)
- Verminderung der Nährstoffeinträge (punktförmige/diffuse Quelle)
- P im Sediment → über viele weitere Jahre stetige Nährstoffquelle, bei Sedimentberäumung: belastete Sedimente *komplett* entfernen
- Phosphatfällung → nicht nachhaltig
- Künstliche Durchmischung in Flachseen → ungeeignet
- Ultraschall nicht effizient; Algizide / Cyanozide (H_2O_2) Verzögerung der CB-Entwicklung, zudem Schäden für Ökosystem

Meso- und oligotrophe Trinkwassertalsperren

- Geringe Abweichungen der P-Einträge können erhebliche Auswirkungen auf die Phytoplanktonentwicklung und –artenzusammensetzung haben.
- Einige CB profitieren von den vom Klimawandel verursachten Veränderungen des thermischen Regimes (Eisbedeckung, Dauer der Zirkulations- und Stagnationsphasen, Schichtungsstabilität)
- CB-Vorkommen: **A: Koloniebildende CB**
 B: Picoplanktische CB
 C: *Planktothrix rubescens*



Microcystis aeruginosa



Planktothrix rubescens



Callieri, Freshwater Reviews (2007) 1, pp. 1-2

Picophytoplankton cells from Lake Maggiore

Meso- und oligotrophe Trinkwassertalsperren

A: Koloniebildende CB

- Bewirtschaftung der Vorsperren (P-Einträge, CB)
- Wildbettabgaben aus dem Epilimnion
- Vermeidung anoxischer Verhältnisse
- Biomanipulation, Entfernung von Aufräumungen ...

B: Picoplanktische CB

- Gut angepasst an niedrige Nährstoffkonzentrationen
- Keine Toxinbildung

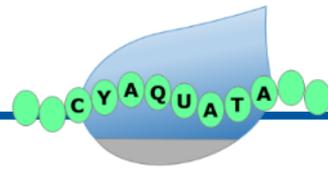
C: *Planktothrix rubescens*

- Angepasst an Metalimnion mesotropher Gewässer

**Talsperren spezifisch – Randbedingungen / Ereignisse /
Maßnahmen oft nicht übertragbar**

- Änderung Entnahmehorizont
- Abtrennung der Filamente mittels Flockung/Filtration gut möglich

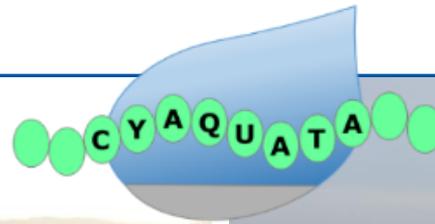




Trinkwasseraufbereitung

- Aktuell keine Gefährdung im Bereich Trinkwassertalsperren erkennbar, aber Potential nicht auszuschließen
- Die herkömmliche Aufbereitung von TS-Wasser (Flockung – Filtration – Desinfektion) ist für die Entfernung von CB und Microcystinen ausreichend
- Kritisch: Wasserwerksschlämme, (CT-Freisetzung?); Oxidation (Zelllyse)
- Hohe Gehalte an polaren Toxinen (Saxitoxine, Anatoxin und Cylindrospermopsin) → weitführende Aufbereitung
- Zur Sicherung der Wasserqualität kann Aktivkohle vorgehalten werden (auch für Geruchsstoffe)

TS Gottleuba



TS Quitzdorf



Foto: H. Börnick



Foto: H. Börnick

VIELEN DANK!



TS Neunzehnhain

Foto: H. Börnick



TS Saidenbach

Quelle: <http://www.ev-borstendorf.de/>

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Europäische Union

Europa fördert Sachsen.



Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung

Das LC-MS/MS-System wurde mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung sowie des Freistaates Sachsen gefördert.