

Für Mensch & Umwelt

Umwelt 
Bundesamt

Wasserhygienetage Bad Elster 2023

Empfehlung zum Schutz vor Cyanobakterien-Toxinen

Jutta Fastner, Martin Welker

Übersicht

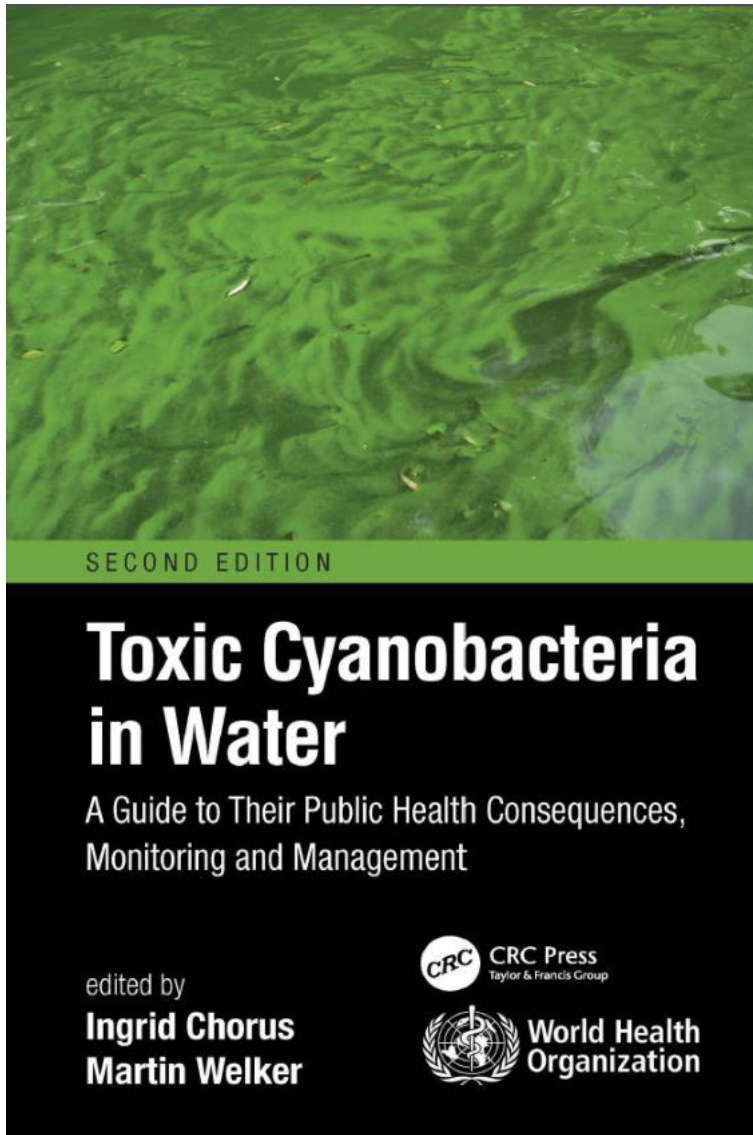
- **Warum sind Cyanotoxine für die Wasserhygiene relevant?**
- **Ableitung von Leitwerten und Grenzwerten**
- **Cyanotoxine im Trinkwasser**
- **Cyanobakterien und Cyanotoxine in Badegewässern**
- **Zusammenfassung**

Cyanotoxine und andere natürliche Toxine

Toxin	Quelle	LD ₅₀ µg/kg
Botulin	Bodenbakterien	0,004
Ciguatoxin 1	Dinoflagellaten	0,25
Saxitoxin	Cyanobakterien	8
Anatoxin-a(S)	Cyanobakterien	40
Microcystin-LR	Cyanobakterien	50
α-Amanitin	Knollenblätterpilz	100
Anatoxin-a	Cyanobakterien	250
Aconitin	Eisenhut	270
Microcystin-RR	Cyanobakterien	600
Strychnin	Brechnuss	980
Cylindrospermopsin	Cyanobakterien	2100
Rotenon	<i>Lonchocarpus</i> sp.	2650
Digitoxin	Fingerhut	3900
Atropin	Tollkirsche	30000

LD₅₀ für intraperitoneale Exposition; Quelle: Toxnet, National Library of Medicine

Cyanotoxine und Gesundheit



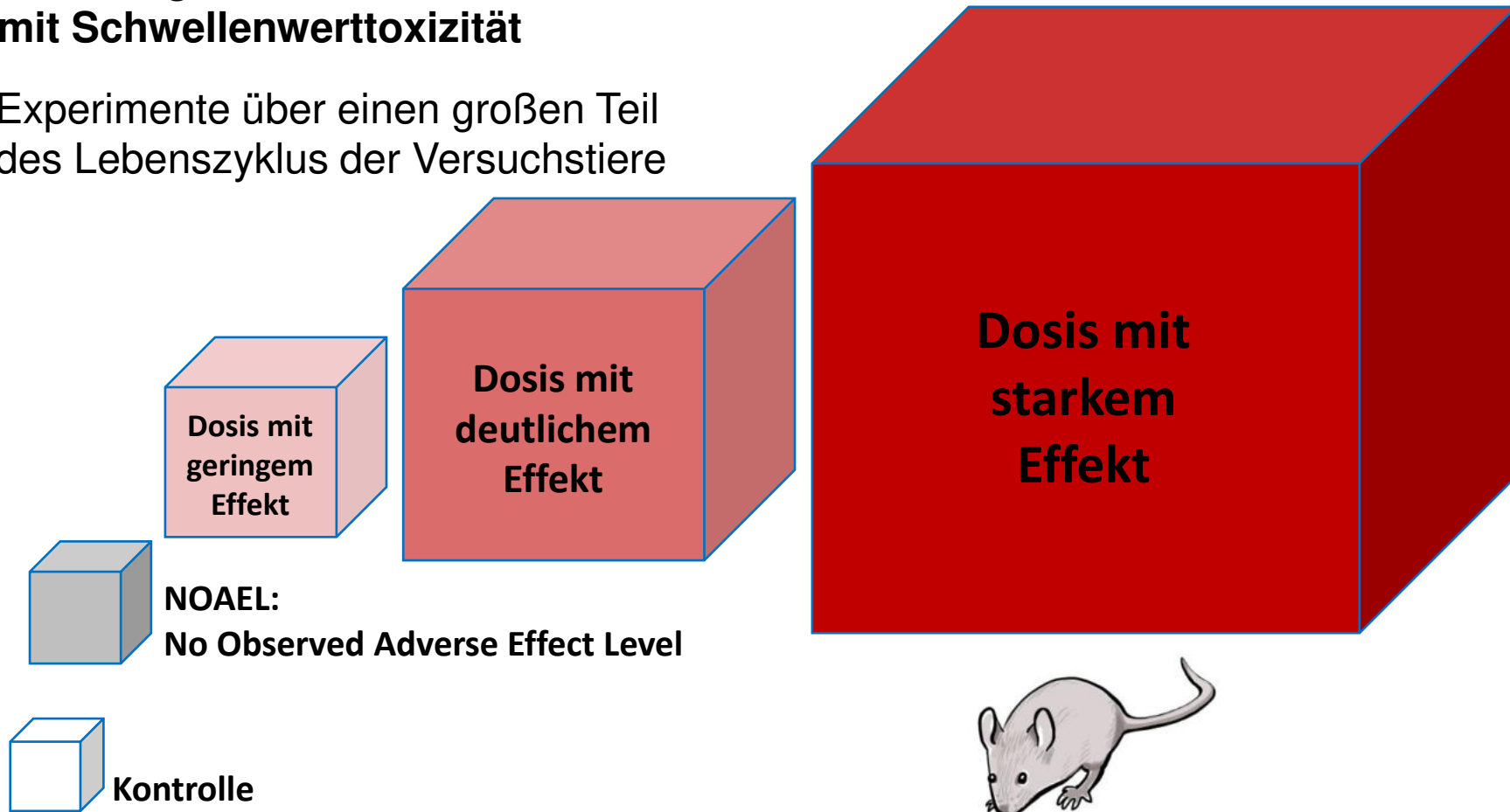
- **Cyanobakterien und Cyanotoxine sind eine potentielle Gesundheitsgefährdung**
- **Durch die Eutrophierung vieler Gewässer sind Massenentwicklungen von Cyanobakterien häufig**
- **Cyanotoxine können in Gewässern hohe Konzentrationen erreichen**
- **Exposition zu Cyanotoxinen vor allem durch**
 - **Trinkwasser**
 - **Badegewässer**
 - **Nahrung**

<https://www.who.int/publications/m/item/toxic-cyanobacteria-in-water---second-edition>

Ableitung von Grenzwerten aus toxikologischen Tierversuchen

Ableitung von Leitwerten für Substanzen mit Schwellenwerttoxizität

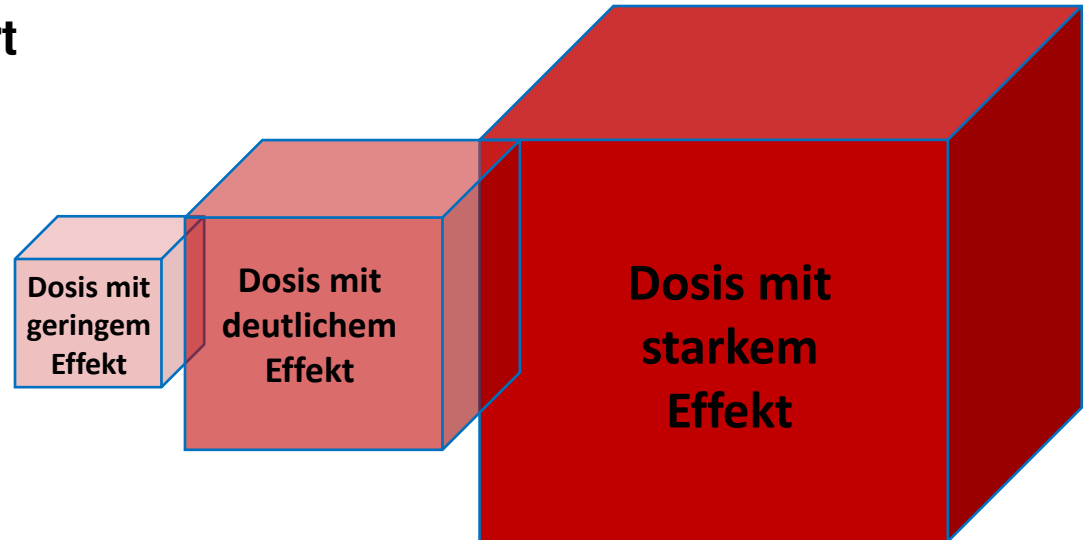
Experimente über einen großen Teil des Lebenszyklus der Versuchstiere



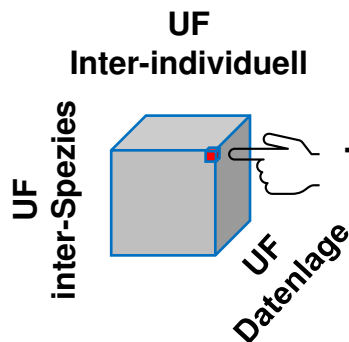
Ableitung von Grenzwerten aus toxikologischen Tierversuchen

Vom NOAEL zum Leitwert

Berücksichtigung von
Unsicherheitsfaktoren



Ausgangspunkt: NOAEL



$$\text{Tolerable Daily Intake (TDI)} = \text{NOAEL} / \text{UF}$$

UnsicherheitsFaktoren (UF):

Inter-Spezies Variabilität: x 10

Inter-individuelle Variabilität: x 10

Unsicherheit in den Daten: x 10

Kombinierter

Unsicherheitsfaktor:

$$10 \times 10 \times 10 = 1000$$

Vom NOAEL zum TDI zum Grenzwert

GW für lebenslange Exposition über Trinkwasser

Fawell J.K. et al. 1999.

The toxicity of cyanobacterial toxins in the mouse: I
Microcystin-LR



**NOAEL für MC-LR in
Mäusen:**
40 µg / kg b.w. × day

$$\text{TDI} = \text{NOAEL} / \text{UF} = 40 / 1000 = 0.04 \text{ µg / kg b.w. × day}$$

Umsetzung des TDI in Konzentration im Wasser

Angenommenes Körpergewicht (**b.w.**) für Erwachsene = 60 kg

Anteil (**P**) der Exposition durch Trinkwasser = 0.8

Täglicher Konsum (**C**) von Trinkwasser = 2 L

$$\text{GV}_{\text{chronic}} = \frac{\text{TDI} \times \text{b.w.} \times \text{P}}{\text{C}} = \frac{0.04 \times 60 \times 0.8}{2} \text{ µg/L} = 0.96 \text{ µg/L} \approx \underline{\underline{1 \text{ µg MC-LR/L}}}$$

Von der WHO empfohlene Leitwerte (Guideline Values)

Toxin/Parameter	Exposition	Leitwert µg/L	Leitwerttyp
Microcystin-LR	TW lebenslang	1	provisorischer LW
Microcystin-LR	TW kurzzeitig	12	provisorischer LW
Microcystin-LR	Badegewässer	24	provisorischer LW
Cylindrospermopsin	TW lebenslang	0.7	provisorischer LW
Cylindrospermopsin	TW kurzzeitig	3	provisorischer LW
Cylindrospermopsin	Badegewässer	6	provisorischer LW
Anatoxin-a	TW akut	30	gesundheitsbasierter Referenzwert
Anatoxin-a	Badegewässer	60	gesundheitsbasierter Referenzwert
Saxitoxin	TW akut	3	Leitwert
Saxitoxin	Badegewässer	30	Leitwert

jeweils die Summe
aller Strukturvarianten

Überschreiten des LW_{lebenslang} bis zu
14 Tagen innerhalb eines Jahres bis
zum LW_{kurzzeitig} tolerierbar

wegen des Unsicherheitsfaktors
von 1000 formal als „provisorisch“
eingestuft

Gesundheitsrisiken:

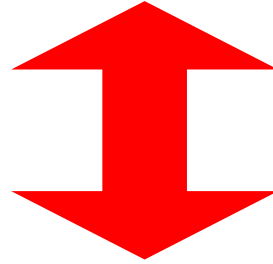
Betrachtung von Trinkwasser und Badegewässern

Trinkwasser

TrinkwV § 6 Chemische Anforderungen

*(1) Im **Trinkwasser** dürfen chemische Stoffe nicht in Konzentrationen enthalten sein, die eine Schädigung der menschlichen Gesundheit besorgen lassen.*

- **Keine Schädigungen bei lebenslangem Verzehr**



Badewasser

- **Badegewässer sind Teil der natürlichen Umwelt**
- **Die natürliche Umwelt ist voll von möglichen Gefahrenquellen**
- **Risiken können durch das individuelle Verhalten vermieden werden**

Cyanotoxine in der Gesetzgebung

EU Trinkwasserrichtlinie, Teil B „Chemische Parameter“

Microcystin-LR	1,0	µg/l	Dieser Parameter ist nur im Fall potenzieller Blüten in der Ressource zu bestimmen (ansteigende Cyanobakterienabundanz bzw. Massenentwicklungspotenzial).
----------------	-----	------	---

Warum nur MC-LR?

Wie sind andere Microcystine zu handhaben?

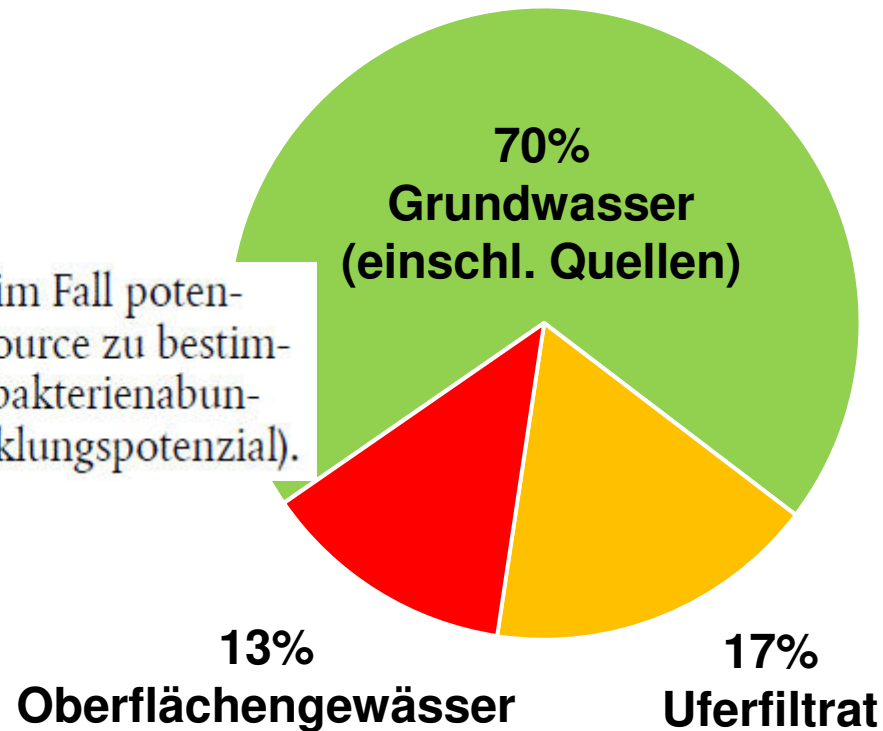
WHO: *The provisional GVs are based on toxicological data for MC-LR. [...] in the absence of oral toxicity data for other congeners, for assessing risk it is recommended that total MCs [...] be evaluated against the GVs.*

- **Für andere Varianten liegen schlicht keine Daten zur Ableitung von Leitwerten vor**
- **Alle Microcystine sind in der Überwachung als Summe zu berücksichtigen**

Trinkwasserquellen in Deutschland

TrinkwV zu MC-LR:

Dieser Parameter ist nur im Fall potenzieller Blüten in der Ressource zu bestimmen (ansteigende Cyanobakterienabundanz bzw. Massenentwicklungspotenzial).



Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/trinkwasser>

Belastung von Rohwasserquellen mit Microcystinen

Rohwasserquelle	Mögliche Belastung	Maßnahmen
Grundwasser	nicht gegeben	keine
Uferfiltrat	möglich, aber unwahrscheinlich	initiale Überwachung, geringe Intensität
Oberflächengewässer	möglich bis wahrscheinlich	kontinuierliche Überwachung höhere Intensität

Planktothrix rubescens in mesotrophen Gewässern

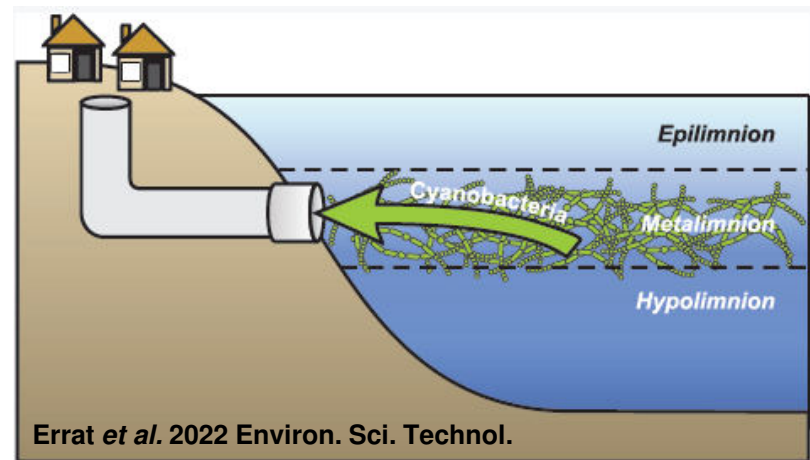
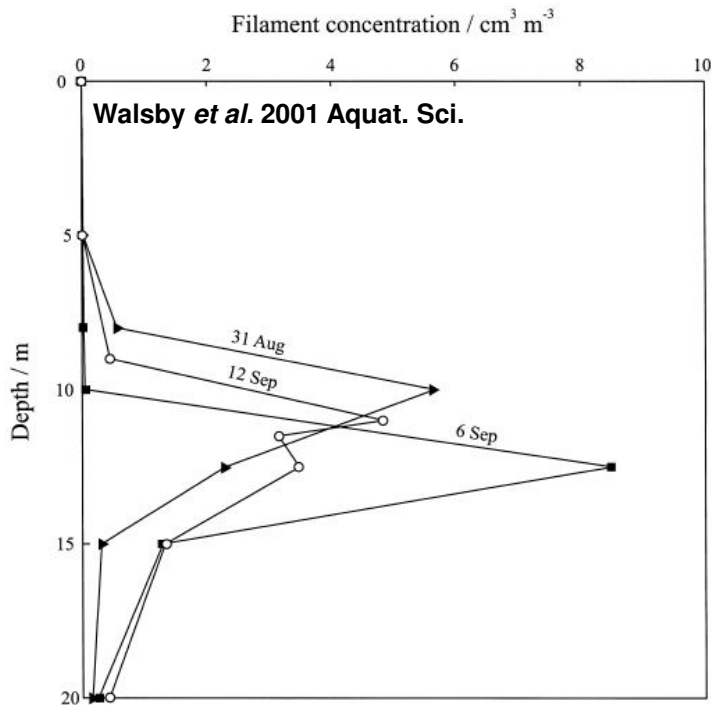
Populationen von *Planktothrix rubescens* können im Metalimnion Maxima ausbilden

Trotz hoher Sichttiefen sind hohe Konzentrationen an Microcystinen möglich



Die Lage des Entnahmehorizonts ist entscheidend zur Vermeidung von Microcystinen im Rohwasser

Alternative Entnahmehorizonte sind vorzuhalten



Verbreitung der Strukturvarianten von Microcystinen

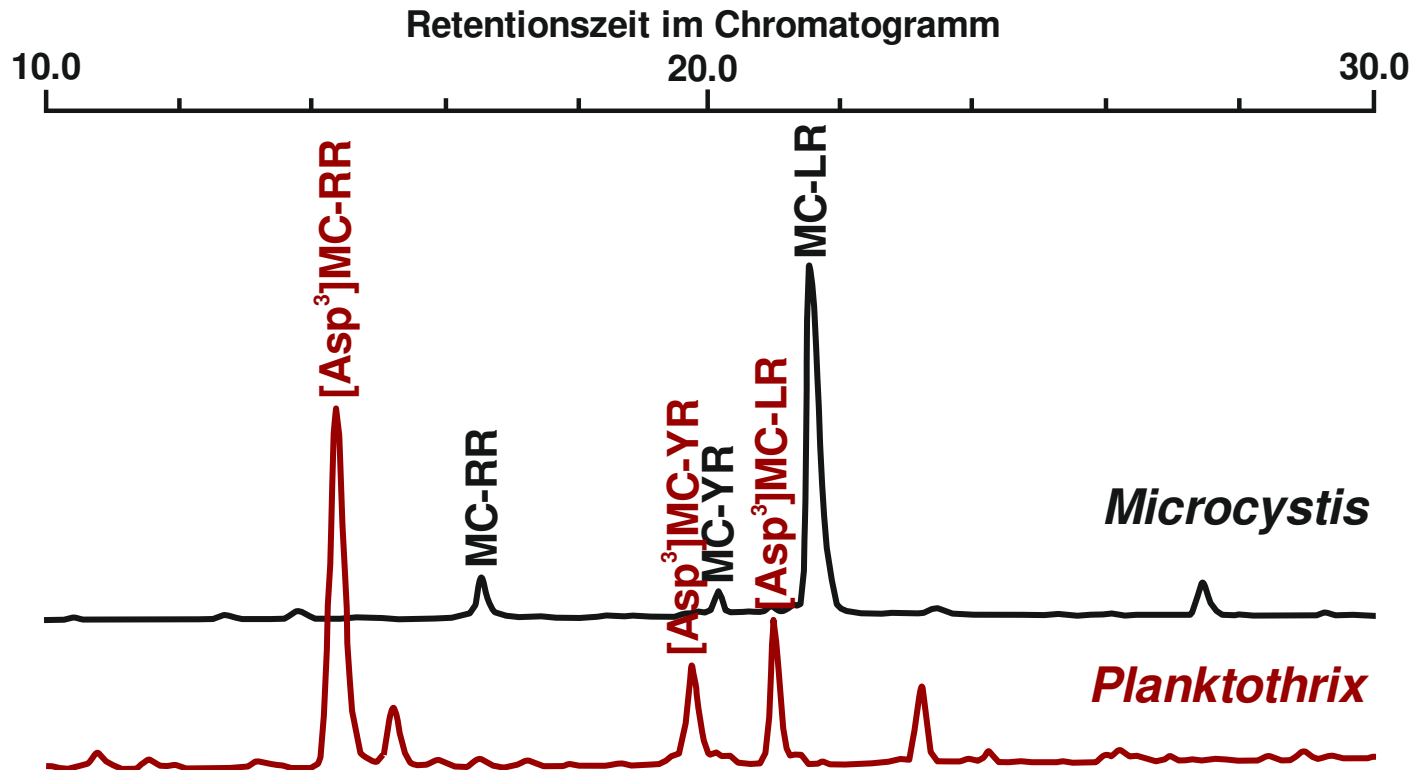
- **Über 200 Strukturvarianten von Microcystinen sind bekannt**
- **Aber nur 20 Varianten sind häufig**
- **Cyanobakterienarten oder –gattungen produzieren spezifische Varianten**

Art/Gattung	Methylierung	Variable Positionen
<i>Microcystis</i> sp.	[Masp ³ ,Mdha ⁷]	LR, RR, YR , LF, LA, LW
	[Dha ⁷]	LR, RR, YR
<i>Planktothrix agardhii</i>	[Asp ³]	LR, RR, YR , HtyR
	[Asp ³ ,Dhb ⁷]	LR, RR, YR, HtyR
<i>Planktothrix rubescens</i>	[Asp ³ ,Dhb ⁷]	LR, RR, HtyR
	[Asp ³]	LR, RR, HtyR
<i>Dolichospermum</i> sp.	[Masp ³ ,Mdha ⁷]	LR, RR, YR , LF, LA, LW

- **Ist die dominante Art/Gattung bekannt, können Strukturvarianten relativ gesichert vermutet werden**

Bestimmung von Microcystinen

Mit HPLC oder LC-MS werden einzelne Strukturvarianten erfasst



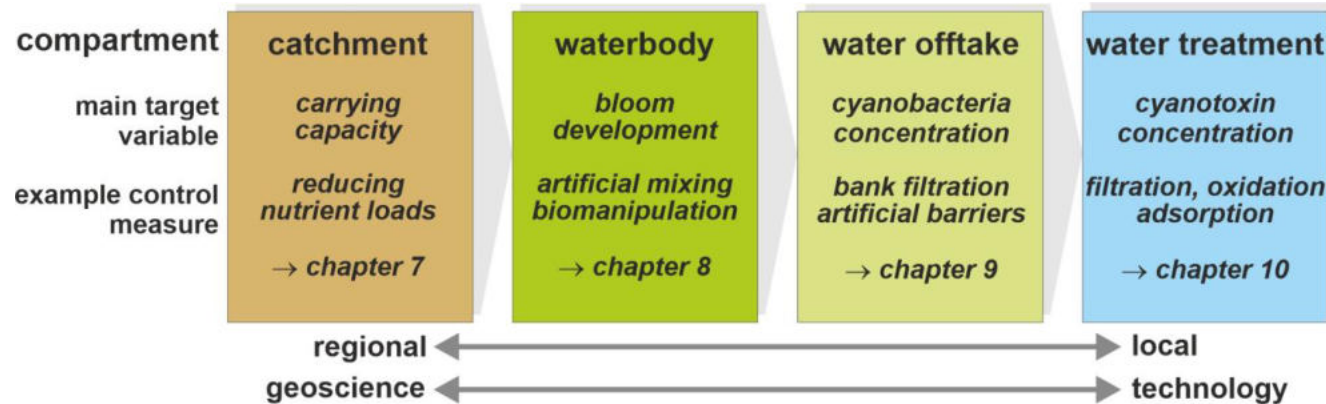
Summarische Erfassung ist mit ELISA möglich (mit höheren Bestimmungsgrenzen)

Überwachungsschema für Microcystine im Trinkwasser

Stufe	Analysen	Ergebnisse der Analysen	Maßnahmen
Allgemeine Einstufung	Saisonale Nährstoffgehalte Phytoplankton: BV und Zusammensetzung Tiefenprofile Chl-a	Trophie des Gewässers und des Potentials von Cyano-Blüten Tiefenprofile signalisieren tiefes Chl Maximum	Planung der risikobasierten Überwachung Intensivierung der Überwachung an Entnahmestellen
Erhöhte Aufmerksamkeit	Chl im Rohwasser Cyanobakterien im Rohwasser MC im Rohwasser	Chl im Rohwasser: <1 µg/L BV Cyanobakterien im Rohwasser: < 0,3 mm³/L MC im Rohwasser: <1 µg/L	Nutzung alternativer Entnahmestellen Optimierung der Aufbereitung (Fällung von Cyanobakterien) Erhöhung der Probenfrequenz
Erste Warnstufe	Chl im Rohwasser MC im Rohwasser MC im Trinkwasser	Chl im Rohwasser: > 1 µg/L MC im Rohwasser: >1 µg/L MC im Trinkwasser: < 1 µg/L	Kontrolle der Prozessschritte Ergänzende Schritte der Aufbereitung
Zweite Warnstufe	Chl im Rohwasser MC im Rohwasser MC an kritischen Prozessschritte MC im Trinkwasser	Chl im Rohwasser: > 1 µg/L MC im Rohwasser: >>1 µg/L MC im Trinkwasser: > 1 µg/L und < 12 µg/L	Benachrichtigung des GA über Beginn und Dauer der Überschreitung Kontrolle kritischer Prozessschritte
Alarmstufe	MC im Rohwasser MC an kritischen Prozessstellen MC im Trinkwasser	MC im Rohwasser: >12 µg/L MC im Trinkwasser: >12 µg/L	Information der Öffentlichkeit, Warnung vor Konsum des Wassers Klärung der Ursachen für Durchbruch Wenn nötig, Etablierung weiterer Aufbereitungsstufen

Umweltbundesamt 2023: Empfehlungen zum Schutz vor Cyanobakterientoxinen im Trinkwasser, *in Vorbereitung*

Cyanotoxine im Trinkwasser: Methoden und Maßnahmen zur Vermeidung



Chorus & McKeown
2021 TCIW

- Reduktion von Nährstoffeinträgen ins Gewässer (v.a. Phosphor)
- Erfassung des Potentials zur Ausbildung von Cyanobakterienblüten, inklusive tiefer Populationsmaxima
- Monitoring der Cyanobakterien im Umfeld der Entnahmestelle
- Nutzung alternativer Entnahmestellen
- Flockung/Fällung von Cyanobakterien aus dem Rohwasser
- Eliminierung von gelösten Microcystinen aus dem Rohwasser

Gesundheitsrisiken:

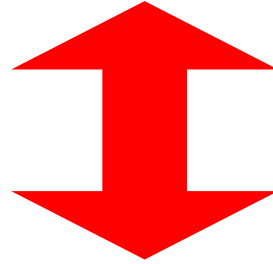
Betrachtung von Trinkwasser und Badegewässern

Trinkwasser

TrinkwV § 6 Chemische Anforderungen

*(1) Im **Trinkwasser** dürfen chemische Stoffe nicht in Konzentrationen enthalten sein, die eine Schädigung der menschlichen Gesundheit besorgen lassen.*

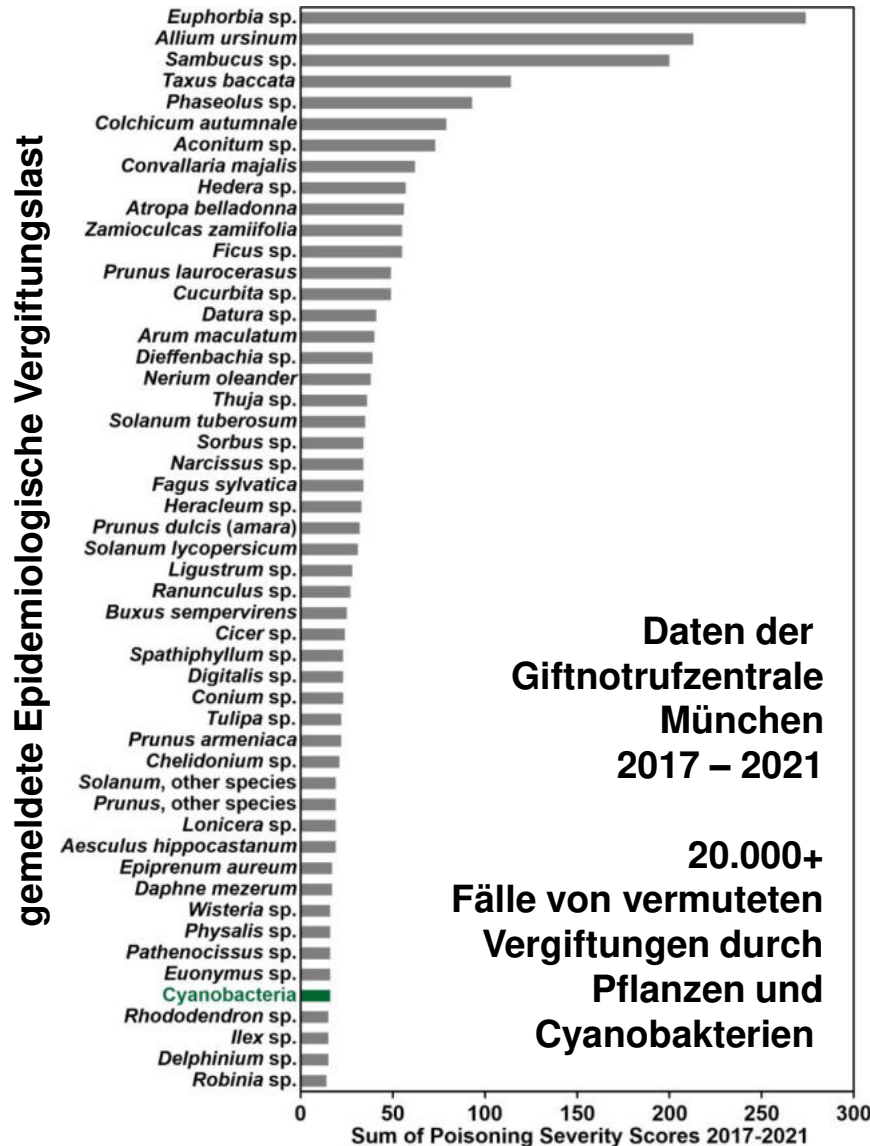
- **Keine Schädigungen bei lebenslangem Verzehr**



Badewasser

- **Badegewässer sind Teil der natürlichen Umwelt**
- **Die natürliche Umwelt ist voll von möglichen Gefahrenquellen**
- **Risiken können durch das individuelle Verhalten vermieden werden**

Vergiftungsfälle durch Pflanzen und Cyanobakterien



Vergiftungserscheinungen nach Kontakt zu Cyanobakterien sind

- selten: 0,1% der Fälle
- selbstlimitierend: nur milde oder moderate Beschwerden
- möglicherweise nicht ursächlich durch Cyanobakterien verursacht: unspezifische Symptome mit hoher Latenz

„die Natur ist nicht besonders wohlwollend“

(Scott & Rozin 2020. Nature Hum. Behav.)

Daten: Stefanie Geith & Florian Eyer
Universitätsklinikum r. d. Isar
TU München

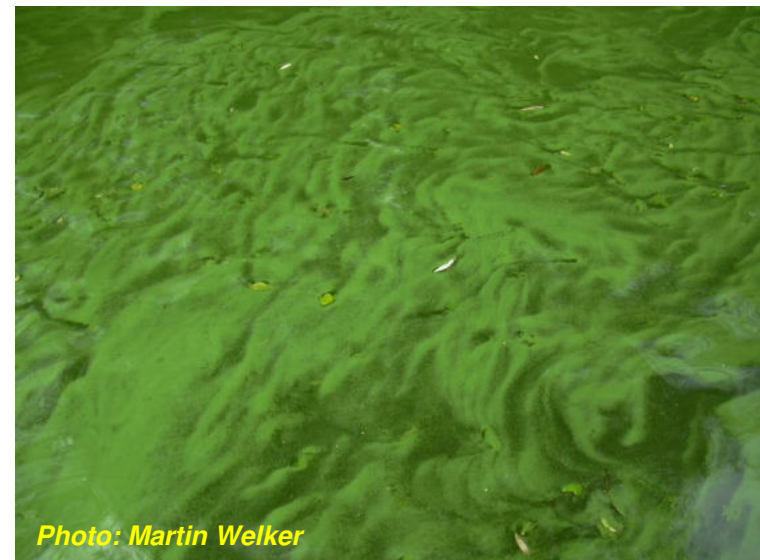
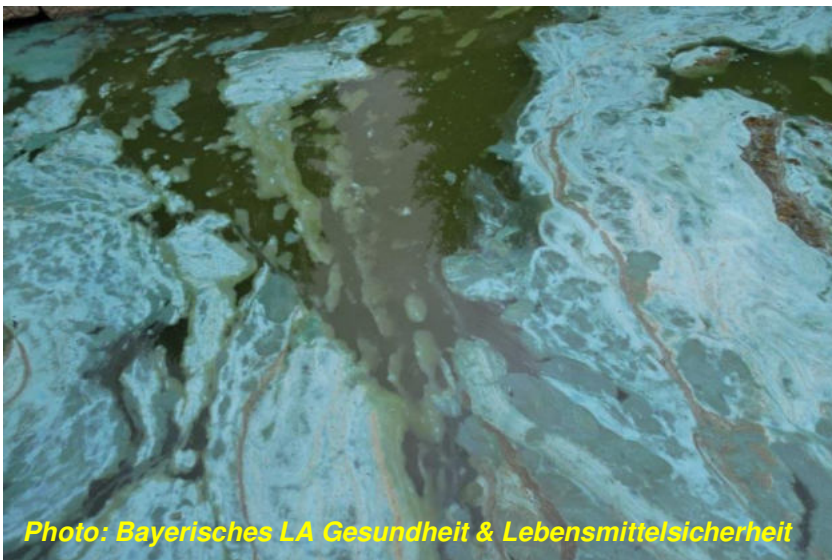
Vergiftungsfälle durch Cyanobakterien weltweit

WHO* „background documents on cyanobacterial toxins“:

- **Viele der Studien zu Vergiftungen sind älter**
 - wenig Erfahrung mit Cyanotoxinen bzw. diese noch nicht charakterisiert
- **In epidemiologischen Studien sind Effekte durch Cyanotoxine schwer von anderen Ätiologien abzugrenzen**
 - Viren und Bakterien können zeitgleich vorhanden sein
 - Negativ-Kontrollen fehlen manchmal
 - Aufnahmeraten können nur abgeschätzt werden
- **Beschrieben Symptome sind häufig unspezifisch bzw. nicht konsistent mit toxikologischen Studien**
 - Rolle von Cyanotoxinen bei gastrointestinale Beschwerden unklar
- **Weltweit sind bislang nur sehr wenige Einzelfälle von Vergiftungen durch Cyanotoxine nach dem Baden belegt**

* Verfügbar unter: <https://apps.who.int/iris/discover?query=cyanobacteria>

Cyanobakterien an Badestellen: nicht zu übersehen



Cyanobakterien an Badestellen: nicht zu übersehen



**Viele planktische
Cyanobakterien
können mit
Gasvesikeln den
Auftrieb regulieren**

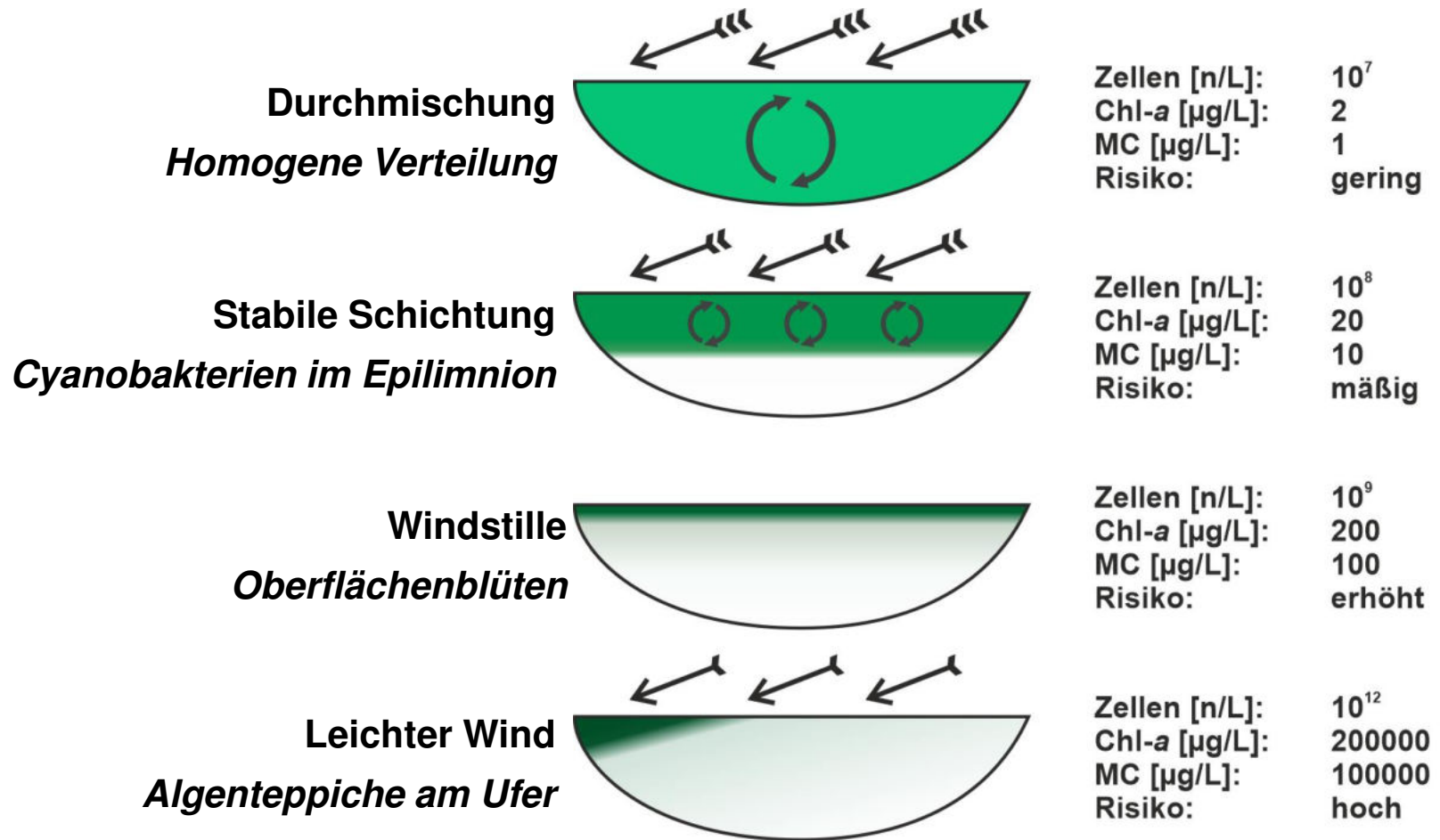


**Innerhalb weniger
Stunden ist eine
Microcystis-Blüte
„aufgerahmt“**



Aus Wei *et al.* 2019
SN Appl. Sci.

Bildung von Oberflächenblüten und Algenteppichen



Ibelings *et al.* 2021, TCiW

Empfehlung zum Schutz vor Cyanobakterien-Toxinen

Algenteppiche am Ufer:

für Kinder und bezüglich Badeunfällen besteht ein erhöhtes Risiko



Photo: Yona Tolman

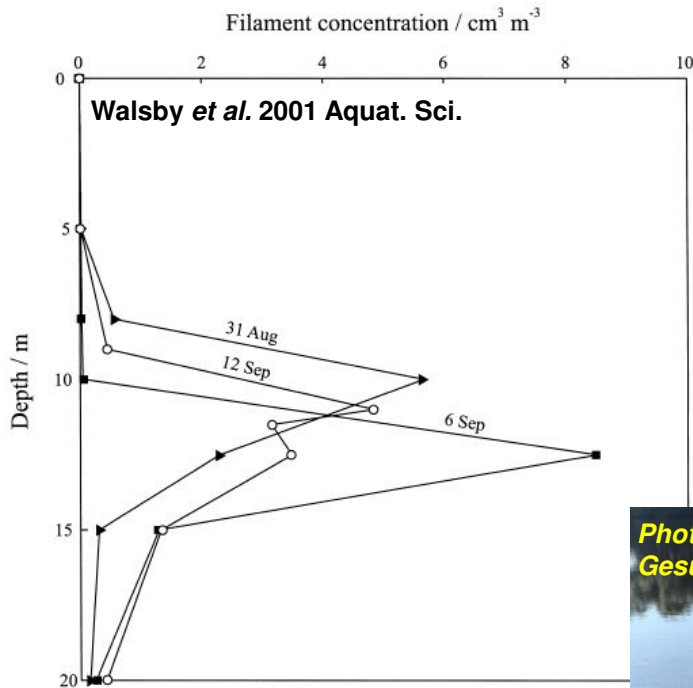
Kritische Toxinmengen können aufgenommen werden!

oder: wer ließe seine Kinder mit Knollenblätterpilzen spielen?



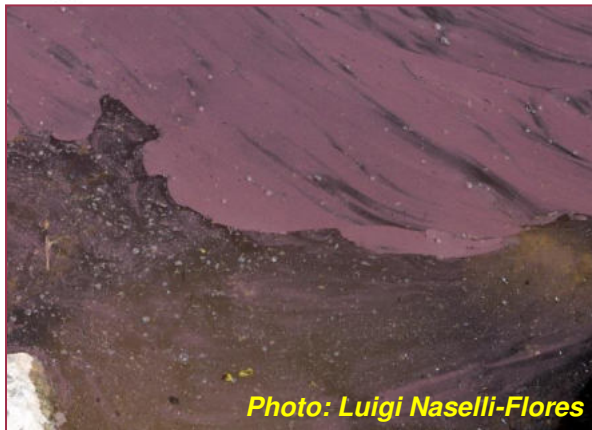
Photo: Dr. Martens

Oberflächenblüten in klaren Seen



Populationen von *Planktothrix rubescens* können im Metalimnion Maxima ausbilden

... und manchmal an die Oberfläche aufsteigen und dichte Blüten bilden



Überwachungsschema Badegewässer

Stufe	Einschätzung durch visuelle Prüfung	Maßnahmen	Ergänzende Analysen
Allgemeine Einstufung	Bestimmung der Trophie des Gewässers und des Vorkommens von Cyanobakterien	Planung der Überwachungshäufigkeit Informationsportale: Einschätzung zur erwarteten Qualität des Badegewässers	
Erhöhte Aufmerksamkeit	Sichttiefe im Gewässer <2m sichtbares Vorkommen von Cyanobakterien	Überwachungshäufigkeit ggf. verdichten Aktualisierung der Informationsportale Badestellen: Information zu Cyanobakterien	1-4 mm ³ /L Biovolumen Cyanobakterien oder 3-12 µg/L Chl-a Cyanobakterien
Erste Warnstufe	Schlieren, Oberflächenblüten, aber keine Algenteppeiche oder Deutliche Trübung und Sichttiefe <1m	Aktualisierung der Informationsportale Badestellen: Information zu Cyanobakterien und Empfehlung zur Kontaktvermeidung Erinnerung an Aufsichtspflicht	4-8 mm ³ /L Biovolumen Cyanobakterien oder 12-24 µg/L Chl-a Cyanobakterien oder 12-24 µg/L MC
Zweite Warnstufe	Größere Bereiche mit Algenteppeichen oder Sehr deutliche Trübung mit Sichttiefe < 0,5m	Aktualisierung der Informationsportale Badestellen: Warnhinweise zu Cyanobakterien Markierung betroffener Bereiche ggf. zeitweise Sperrung	>8 mm ³ /L Biovolumen Cyanobakterien oder >24 µg/L Chl-a Cyanobakterien oder >24 µg/L MC

Maßnahmen bei (zu erwartenden) Massenvorkommen von Cyanobakterien

- **Öffentliche Kommunikation**
- **leicht zugängliche und verständliche Website**
- **Informationen und Warnhinweise an Badestellen**
- **Nutzungseinschränkungen**

Mehrere Bedeutungen:

- **Vom Baden wird abgeraten**
- **Baden temporär verboten**
- **Das Baden ist grundsätzlich verboten, Zuwiderhandlung wird mit Bußgeld geahndet**



Fazit Überwachung Badegewässer

Stellen Cyanobakterienblüten in Badegewässern eine mögliche Gefährdung dar?

JA. Cyanotoxine sind hochpotent und können in hohen Konzentrationen auftreten

Besteht für die Bevölkerung ein erhöhtes Gesundheitsrisiko?

JEIN. Die Überwachung der Badegewässer und die gängigen Maßnahmen reduzieren offensichtlich effizient das Gesundheitsrisiko

Zusammenfassung

Das Gesundheitsrisiko durch Cyanobakterien und Cyanotoxine ist beherrschbar.

Durch wissenschaftliche Erkenntnisse, technische Möglichkeiten, Kommunikation und gesunden Menschenverstand.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

martin.welker@online.de – jutta.fastner@uba.de