

# Cyanobakterien-Monitoring in Berliner Badegewässern

Untersuchungsbericht zur  
Badesaison 2019



**Auftraggeber:**

Landesamt für Gesundheit und Soziales Berlin (LAGeSO)

**Auftragnehmer:**

Landeslabor Berlin Brandenburg  
Institut für Lebensmittel, Arzneimittel, Tierseuchen und Umwelt  
Fb IV-4 Umweltbezogener Gesundheitsschutz  
Invalidenstr. 60, 10557 Berlin

**Bearbeitung:**

[Redacted text block containing names and contact information]

[Redacted text block]

## INHALTSVERZEICHNIS

|          |                                                                                                |           |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>                                                                              | <b>8</b>  |
| <b>2</b> | <b>Messprogramm und Methodik</b>                                                               | <b>10</b> |
| 2.1      | Untersuchungsstellen und Messprogramm 2019                                                     | 10        |
| 2.2      | Prüfverfahren                                                                                  | 11        |
| <b>3</b> | <b>Ergebnisse und Diskussion</b>                                                               | <b>13</b> |
| 3.1      | Meteorologische Rahmenbedingungen und saisonaler Verlauf der Algenentwicklung und Toxinbildung | 13        |
| 3.1.1.   | Anatoxin-a in Seewasser und Makrophytenproben                                                  | 16        |
| 3.1.2    | Cyanobakterienfluoreszenz und Biovolumen                                                       | 18        |
| 3.2      | Planktische Cyanobakterien und Cyanotoxine an ausgewählten Berliner Badestellen                | 20        |
|          |                                                                                                |           |
|          |                                                                                                |           |
|          |                                                                                                |           |
|          |                                                                                                |           |
| 3.2.3.2  | Tegeler See                                                                                    | 33        |
|          |                                                                                                |           |
|          |                                                                                                |           |
|          |                                                                                                |           |
|          |                                                                                                |           |
|          |                                                                                                |           |
|          |                                                                                                |           |
|          |                                                                                                |           |
| <b>4</b> | <b>Zusammenfassung und Ausblick</b>                                                            | <b>61</b> |
|          | <b>Literatur</b>                                                                               | <b>63</b> |



|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| Badesaison im Vergleich der letzten 8 Jahre. | 27 |
|----------------------------------------------|----|

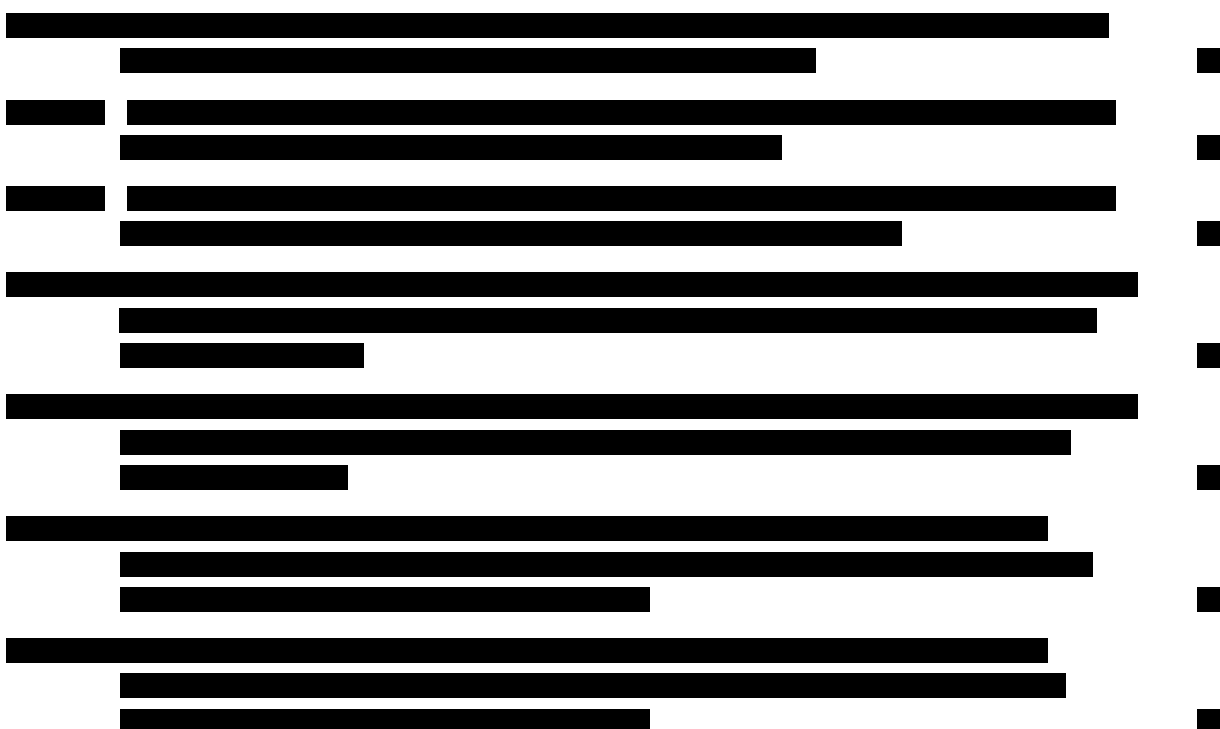


Abb. 24: Cyanobakterienspektrum und Biovolumen sowie MC-Konzentration (x-Achse) im Tegeler See, Badestelle B309 (neben Strandbad Tegel), zwischen April und September 2019. 33

Abb. 25: Median, Maximum und Minimum (n = 10) der Sichttiefe und Chl a-Konzentration im Tegeler See, Badestelle B309 (neben Strandbad Tegel), während der Badesaison im Vergleich der letzten 10 Jahre. 35

Abb. 26: Veränderungen des Cyanobakterienvolumens, der Zusammensetzung und der MC-Konzentration im Tegeler See, Badestelle B309 (neben Strandbad Tegel), seit 2012 (keine Messwerte in 2016, 2017). 35

Abb. 27: Konzentrationsverlauf einzelner Stickstoff- und der Phosphor-Spezies im Tegeler See, Badestelle B309 (neben Strandbad Tegel), während der Badesaison im Vergleich der letzten 10 Jahre. 36







**Verzeichnis der Abkürzungen:**

|                     |                                      |
|---------------------|--------------------------------------|
| Chl a               | Chlorophyll a                        |
| CYN                 | Cylindrospermopsin                   |
| MC                  | Microcystin                          |
| NH <sub>4</sub> -N  | Ammonium-Stickstoff                  |
| NO <sub>3</sub> -N  | Nitrat-Stickstoff                    |
| NO <sub>2</sub> -N  | Nitrit-Stickstoff                    |
| OWA                 | Oberflächenwasseraufbereitungsanlage |
| oPO <sub>4</sub> -P | ortho-Phosphat-Phosphor              |
| PC                  | Phycocyanin                          |
| PT                  | Gesamtphosphor                       |

**Messtellenummern:**

|      |                       |
|------|-----------------------|
|      |                       |
|      |                       |
|      |                       |
|      |                       |
| B309 | neben Strandbad Tegel |
|      |                       |
|      |                       |
|      |                       |
|      |                       |
|      |                       |
|      |                       |
|      |                       |
|      |                       |
|      |                       |
|      |                       |

---

# 1 Einleitung

Im Rahmen des vorbeugenden Gesundheitsschutzes wird die Richtlinie 2006/7/EG (EU-Amtsblatt, 2006) über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung nach den gesetzlichen Vorgaben der Badegewässerverordnung (BadegewässerV, 2008) in Berlin seit 2008 umgesetzt. Insbesondere soll eine potentielle Gefährdung der Bevölkerung durch mikrobielle Verunreinigungen und Cyanobakterientoxine rechtzeitig erkannt und eine kurzfristige Information der Öffentlichkeit ermöglicht werden. Die Überwachung einzelner Badegewässer mit einer Neigung zur Massenentwicklung von Cyanobakterien und dem Potential zur Toxinfreisetzung im Rahmen des hier dargestellten Cyanobakterienmonitoring folgt zudem den Vorgaben der UBA-Empfehlung zum Schutz von Badenden vor Cyanobakterientoxinen (Bundesgesundheitsblatt 2015, Abb. 1).

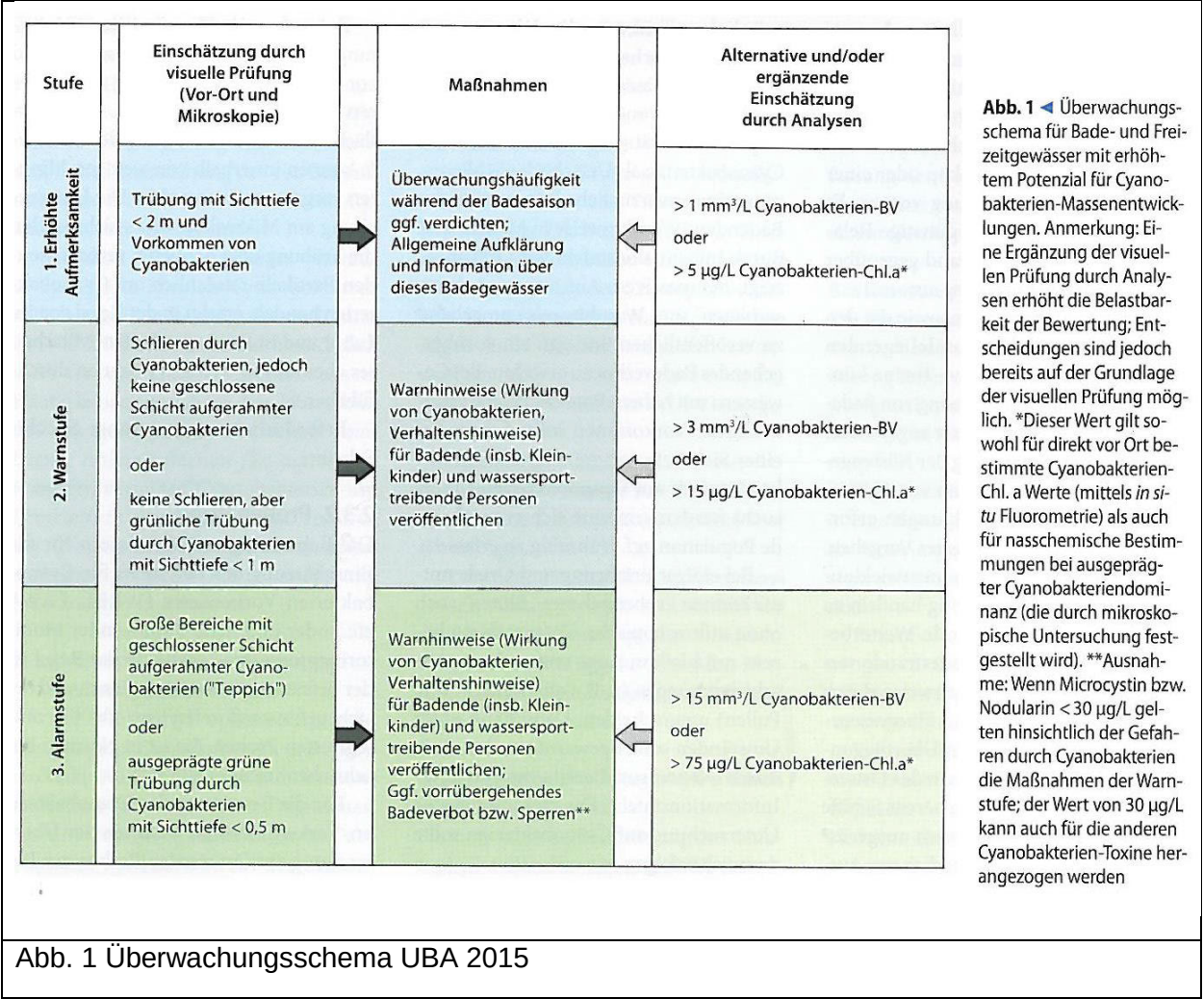
Das Cyanobakterienmonitoring umfasst in Ergänzung zu den Parametern der Routineüberwachung die Messung der Chlorophyll a (Chl a) - Konzentration als Algenbiomasse-Äquivalent, das Cyanobakterienbiovolumen und die Konzentration von Microcystin (MC) bzw. je nach Gattungsspektrum auch von anderen Cyanobakterientoxinen wie Cylindrospermopsin (CYN) und Anatoxin (ATX). Das Cyanobakterienmonitoring ist an jährlich wiederkehrenden Massenentwicklungen von planktischen und potentiell toxischen Cyanobakterien wie *Microcystis*, *Planktothrix*, *Aphanizomenon* und *Dolichospermum* ausgerichtet, welche sich häufig an der Oberfläche zu Algenteppichen verdichten und wechselnde Mengen von Microcystinen bzw. Cytotoxinen wie CYN produzieren.

Gemäß der aktuellen UBA-Empfehlung vom 8.Juli 2015 (Abb.1) sollten Auffälligkeiten während der Vor-Ort-Begehung und im mikroskopischen Bild bereits dazu führen, Warnstufen festzulegen und entsprechende Hinweise an die Öffentlichkeit zu erteilen bzw. ggf. von einer Nutzung des Badegewässers in belasteten Bereichen abzuraten. Ergänzend geht diese von einem Leitwert für Microcystin und andere Cyanobakterientoxine in Höhe von  $30 \mu\text{g L}^{-1}$  aus, der in Hinblick auf Kleinkinder unter der Annahme einer täglichen saisonalen Exposition und einer oralen Aufnahme von 100 mL nicht überschritten werden sollte.

Die Badegewässerrichtlinie sieht bisher keine Überwachung von benthischen Cyanobakterientaxa vor, die über ein ähnliches Toxinspektrum wie die planktischen Arten verfügen. Aufgrund des in den letzten Jahren bestehenden Trends zu hohen Sichttiefen in den Berliner Gewässern haben aber nicht nur Großpflanzen am Gewässergrund, sondern auch periphytische (zwischen Großpflanzen lebende), benthische (am Gewässergrund lebende) oder auch tychoplanktische (zeitweilig im Plankton erscheinende) Cyanobakterien zunehmend günstigere Bedingungen für eine Ausbreitung erhalten. Wenn diese - u.a. mit den Großpflanzen



(Makrophyten) - in Ufernähe verdriftet werden und toxinbildende Stämme beinhalten, können nach oraler Aufnahme ernste Probleme resultieren wie das Beispiel von Vergiftungsfällen bei Hunden am Tegeler See im Jahr 2017 zeigte. Das in diesem Zusammenhang nachgewiesene neurotoxische Anatoxin-a war auch im Untersuchungsjahr 2020 fester Bestandteil der Überwachung insbesondere am Tegeler See (Kooperation mit dem Umweltbundesamt).



Dieser Bericht fasst die Analysenergebnisse zum Vorkommen von Cyanobakterien und ihrer Toxine in Planktonproben zusammen und stellt diese den Vorjahresergebnissen vergleichend gegenüber. Die Ergebnisse innerhalb des Cyanobakterienmonitoring schreiben sich seit 1999 fort und sind in den jeweiligen Jahresberichten zusammengefasst [REDACTED]. Zusätzlich werden im aktuellen Bericht die Ergebnisse zu den ATX-Analysen (ATX) durch das Umweltbundesamt in Freiwasser- und Makrophytenproben im Vergleich zu mikroskopischen Befunden dargestellt.

## 2 Messprogramm und Methodik

## 2.1 Untersuchungsstellen und Messprogramm 2019

Tab. 1: Untersuchungsspektrum des Cyanobakterienmonitoring 2019 an Berliner Badestellen

| Messstellen-Nr.  | Probestelle                     | Chl a Labor | MC | CYN | Cyano-bakterien Biovolumen Freiwasser | Anatoxin-a LC-MS, Fremdvergabe Freiwasser, Schüttelprobe aus Makrophyten | mikroskopische Untersuchung auf benthische Cyanobakterien (halbquant.) Schüttelprobe aus Makrophyten |
|------------------|---------------------------------|-------------|----|-----|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ████             | ████████████████                | ██          | ██ |     | ██                                    | █                                                                        | █                                                                                                    |
| ████             | ██████████████                  |             |    |     |                                       | █                                                                        | █                                                                                                    |
| ████             | ██████████████                  | ██          | ██ |     | ██                                    |                                                                          |                                                                                                      |
| ████             | ██████████████                  | ██          | ██ |     | ██                                    |                                                                          |                                                                                                      |
| ████             | ████████████████                |             |    |     |                                       | █                                                                        | █                                                                                                    |
| ████             | ██████████████                  | ██          | ██ |     | ██                                    | █                                                                        | █                                                                                                    |
| B309             | Strandbad Tegel                 | 10          | 10 |     | 10                                    | 4                                                                        | 4                                                                                                    |
| B311             | Tegeler See, Fähre Scharfenberg |             |    |     |                                       | 4                                                                        | 4                                                                                                    |
| B312             | Tegeler See, Reiswerder         |             |    |     |                                       | 4                                                                        | 4                                                                                                    |
| B313             | Tegeler See, Saatwinkel         |             |    |     |                                       | 4                                                                        | 4                                                                                                    |
| B314             | Tegeler See, Reiherwerder       |             |    |     |                                       | 4                                                                        | 4                                                                                                    |
| ████             | ██████████████                  | ██          | ██ |     | ██                                    |                                                                          |                                                                                                      |
| ████             | ██████████████                  | ██          | ██ |     | ██                                    |                                                                          |                                                                                                      |
| ████             | ██████████████                  | ██          | ██ |     | ██                                    |                                                                          |                                                                                                      |
| ████             | ████████████████                |             |    |     |                                       | █                                                                        | █                                                                                                    |
| ████             | ██████████████                  |             |    |     |                                       | █                                                                        | █                                                                                                    |
| ████             | ██████████████                  | ██          |    |     | ██                                    |                                                                          |                                                                                                      |
| ████             | ██████████████                  | ██          | ██ | ██  | ██                                    | █                                                                        | █                                                                                                    |
| ████             | ██████████████                  | ██          | ██ |     | ██                                    |                                                                          |                                                                                                      |
| ████             | ██████████                      |             |    |     |                                       | █                                                                        | █                                                                                                    |
| ████             | ████████████████                | ██          | ██ | ██  | ██                                    |                                                                          |                                                                                                      |
| ████████████████ | ████████████████                | ██          | ██ | ██  | ██                                    | █                                                                        | █                                                                                                    |

Im Rahmen des Cyanobakterien-Monitoring 2019 wurden dreizehn Berliner Badestellen ab April an 10 Terminen untersucht. Hierbei wurden in der Regel die Chl *a* – Konzentration, die Artenzusammensetzung und das Biovolumen der planktischen Cyanobakterien sowie die Toxine MC bzw. auch CYN (an B926, B930a, B915) erfasst. Sofern aufgrund der Entwicklung der Vorjahre mit einem späten Auftreten der Cyanobakterien zu rechnen war, wurde die Biovolumenbestimmung erst ab Juli beauftragt (Tab. 1). Die Untersuchung auf ATX und auf Makrophyten-assoziierte Cyanobakterien erfolgte im Frühjahr 2019 4-malig an vierzehn Badestellen mit regelmäßigem Makrophytenvorkommen. ATX wurde sowohl aus

Freiwasserproben (Seewasser) als auch aus Makrophytenproben (Schüttelproben) durch das Umweltbundesamt analysiert. Zusätzlich wurden die „Schüttelproben“ mikroskopisch auf das Vorkommen von Makrophyten-assoziierten Cyanobakterien untersucht. Eine Übersicht zum Beprobungsumfang gibt Tab.1.

## 2.2 Prüfverfahren

### Chlorophyll a

Die Bestimmung der Chlorophyll a-Konzentration (Chl a) dient als annäherndes Maß für die Gesamtbiomasse des Phytoplanktons und hat sich weltweit als wichtigster Leitparameter für die Dichte einer Algengemeinschaft durchgesetzt. Die Analyse erfolgte nach DIN 38412 L16 und beruht auf der ethanolischen Heißextraktion des grünen Farbstoffs aus dem Filtrerrückstand einer Wasserprobe und der anschließenden Absorptionsmessung bei 665 nm, wobei auch Phaeopigmente miterfasst werden. Nach quantitativer Überführung des Chl-a in Phaeopigmente mittels Ansäuern und erneuter Messung bei 665 nm wird rechnerisch auf die ursprüngliche Chl-a-Konzentration der Wasserprobe rückgeschlossen.

### Toxine

Microcystin (MC) wurde als Summenparameter im ELISA-Test der Fa. Beacon bestimmt. Der ELISA-Kit weist eine 100%ige Empfindlichkeit gegenüber MC-LR auf, erfasst aber auch andere Strukturvarianten der Microcystine (MC-RR, MC-YR) und Nodularin. Die Nachweisgrenze beträgt  $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$ . Analysen erfolgten grundsätzlich durch Parallelansätze. Die Probenvorbereitung beinhaltete ein dreimaliges Einfrieren ( $-18^\circ\text{C}$ ) und Auftauen der Wasserprobe, wodurch die Zellen zerstört werden (Nachweis des intra- und extrazellulären Toxins). Anschließend wurden die Wasserproben über Whatman GF/F-GD1 Spritzenfilter filtriert. Die Analyse von Cylindrospermopsin (CYN) erfolgte ebenfalls enzymatisch mittels ELISA-Test der Fa. Beacon. Laut Herstellerangabe ist eine quantitative Bestimmung der CYN-Konzentration mit einer Bestimmungsgrenze von  $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$  möglich. Im Rahmen einer Methodenvvalidierung im Jahr 2007 zeigte sich für den zuvor angewendeten ELISA-Test der Fa. Abraxis (USA) eine Kreuzreaktivität für Deoxy-CYN. Die Struktur von Deoxy-CYN ist mit derjenigen von CYN bis auf die fehlende Sauerstoffgruppe identisch. Für beide Verbindungen ist von einer analogen humantoxikologischen Wirkung auszugehen (Seifert et al., 2007). Die Durchführung des ELISA-Tests erscheint daher auch bei der Erfassung mehrerer Strukturvarianten hinsichtlich einer Beurteilung der Badegewässerqualität sinnvoll. Das ELISA-Testprinzip ist bei beiden Herstellern (Fa. Abraxis und Fa. Beacon) gleich.

---

Die Analyse von Anatoxin-a (ATX) im Freiwasser und in den Schüttelproben erfolgte mittels LC-MS/MS durch das Umweltbundesamt.

Zugleich wurde CYN mittels LC-MS/MS durch das Umweltbundesamt ausgewertet (hier nicht dargestellt).

### Makrophytenentnahme/Herstellung der Schüttelproben

Die Makrophytenentnahme erfolgte an ausgewählten Entnahmestellen (Tab.1). Hierzu wurde der Flachwasserbereich und Spülsaum an der Badestelle besammelt und - sofern vorhanden - Quellmoos oder anderes submerses Pflanzenmaterial entnommen und in eine 500 mL PE-Flasche abgefüllt. Waren an der Badestelle keine Makrophyten vorhanden, wurden auch angrenzende Bereiche bis zu 20 m einbezogen. Im Labor wurde das Frischgewicht der Makrophyten bestimmt. Die Makrophytenprobe wurde dann definiert mit Seewasser aufgefüllt und für 20 Minuten über Kopf gedreht (Fa. Gerhardt). Aus der Schüttelprobe wurde eine Teilmenge abgefüllt und für die mikroskopische Untersuchung mit Lugol fixiert. Die verbleibende Schüttelprobe (Makrophyten mit Seewasser) wurde zur ATX-Messung an das UBA übergeben. Parallel wurde jeweils eine Freiwasserprobe (Seewasser) durch das UBA analysiert. Die Analysenergebnisse wurden bereits gesondert an den Auftraggeber überliefert.

### Mikroskopische Cyanobakterienuntersuchung

Die Bestimmung der Artenzusammensetzung und des Biovolumens der planktischen Cyanobakterien wurde nach mind. 12 h Sedimentation in Utermöhlkammern an den mit Lugol'scher Lösung fixierten Wasserproben durchgeführt. Die Auszählung und Vermessung erfolgte nach der Utermöhl-Methode (DIN EN 15204:2006) auf Artniveau. Die Schüttelproben wurden in Hinblick auf *Tychonema*-ähnliche Cyanobakterien mikroskopisch ausgewertet (zumeist auf Ordnungsniveau, d.h. in diesem Fall Oscillatoriales) und die Ergebnisse auf das Frischgewicht der Makrophytenprobe bezogen.

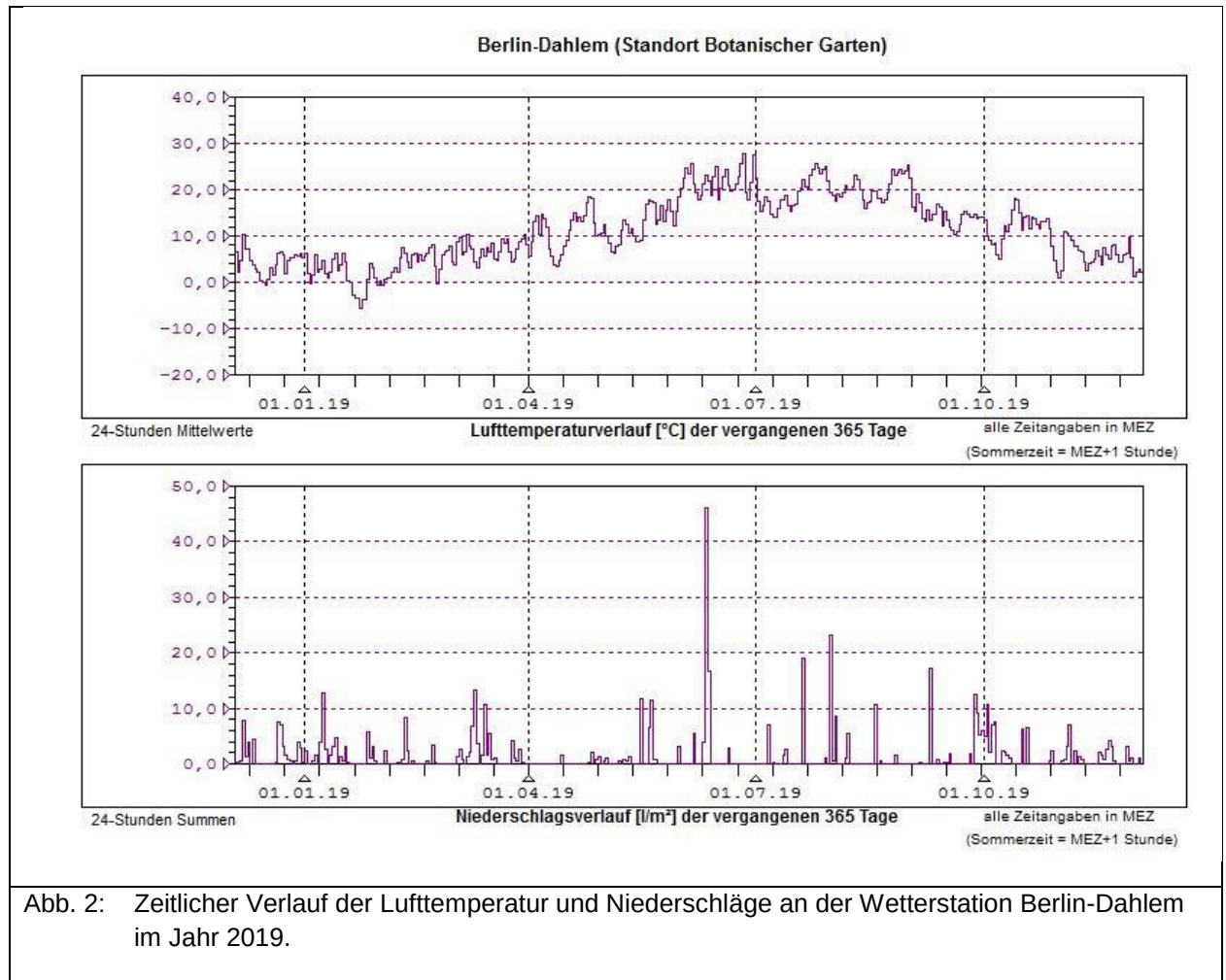
### Fluoreszenzmessung Chlorophyll a und Phycocyanin

Die Vor-Ort-Messung der Chlorophyll a-, Phycoerythrin und Phycocyanin-Fluoreszenz wurde mit einer Multiline I / Hawk-Sonde der Fa. Chelsea realisiert. Die Ergebnisse wurden bereits während der Badesaison 2019 überliefert und sind in den Abb. 6-7 dargestellt.



### 3 Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Meteorologische Rahmenbedingungen und saisonaler Verlauf der Algenentwicklung und Toxinbildung



Nach einem milden Winter mit einer kurzen Frostperiode im Januar stiegen die Lufttemperaturen ausgehend von ca. 10 °C Ende März weiter an und überschritten bereits im April kurzzeitig die 20 °C Marke. Nach einer Abkühlung im Mai etablierten sich im Juni über mehrere Wochen hochsommerliche Temperaturen, die meist um 25 °C oszillierten, aber auch häufig die 30 °C Grenze überschritten. Die Wassertemperaturen wiesen im April eine große Spannweite zwischen 9 °C (Tegeler See, Reiswerder) und in Einzelfällen bis maximal 20,5 °C (Ziegeleisee Lübars) auf. Anfang Juni erwärmten sich die Wasserkörper weiter auf Maxima von zunächst 26,8 °C (UHV, Breitehorn) bzw. 27,7 °C (B950, Krumme Lanke) zum Ende des Monats.

---

### 3.1.1 Anatoxin-a in Seewasser und Makrophytenproben

Im Berichtsjahr 2019 wurden Seewasser- und Makrophytenproben ab Mitte April viermalig von allen Badestellen am Tegeler See von Land durch das LLBB entnommen. [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED] Das Seewasser und die ausgeschüttelten Makrophyten (Schüttelproben) wurden durch das Umweltbundesamt auf ATX und CYL analysiert. Positive ATX-befunde sind in Abb. 3 - 4 dargestellt.

In Wasserproben wurde ATX nur zweimalig in messbarer Konzentration von  $0,25 \mu\text{g L}^{-1}$  bzw.  $1 \mu\text{g L}^{-1}$  jeweils am Tegeler See (Sonderbeprobung Neheimer Str. und neben Strandbad, 09.05.19) nachgewiesen. In den zugehörigen Schüttelproben lag die Konzentration bei  $0,006 \mu\text{g g}^{-1}$  FG und stellte zugleich das Maximum der Proben vom Tegeler See dar. Die hier gemessene, maximale ATX-Konzentration lag trotz erneuter Vergiftungsfälle bei Hunden sehr weit unter der angenommenen letalen Dosis von  $0,25 \text{ mg kg}^{-1}$  Hund. Es ist vorstellbar, dass sich größere Ansammlungen der potentiell toxischen Cyanobakterien außerhalb der Badestellen in schwer zugänglichen Uferbereichen befanden oder Hunde besonders sensibel auf das Toxin reagieren. Insgesamt wurde ATX nur in 7 Schüttelproben in messbarer Konzentration nachgewiesen (Abb. 4); u.a. in den Freibädern Plötzensee, Halensee und Heiligensee zu jeweils einem Termin. Aber mit max.  $0,009 \mu\text{g g}^{-1}$  FG war der Abstand zur letalen Dosis auch in diesen Proben sehr groß. Zudem wurden hier mikroskopisch keine benthischen (bzw. tychoplanktischen) Oscillatoriales als potentielle ATX-Produzenten nachgewiesen.

Oscillatoriales, welche Merkmale der Gattung *Tychonema* aufwiesen, wurden v.a. in den Schüttelproben des Tegeler See gefunden (Abb. 5), allerdings teils bei einer ATX-Konzentration unter der Bestimmungsgrenze (B314, 27.05.19). In guter Übereinstimmung zu den o.g. ATX-Befunden wurde eine hohe Zelldichte am 09.05.2019 in den Makrophytenproben von der Sonderstelle Neheimer Str. und der Badestelle neben dem Strandbad Tegel ermittelt. Die Zelldichte der Cyanobakterien schwankte in den Schüttelproben des Tegeler See insgesamt zwischen  $1782 \text{ c g}^{-1}$  FG (B314, Reiherwerder, 16.05.19) und  $379247 \text{ c g}^{-1}$  FG (B309, neben Strandbad Tegel, 09.05.19). Insgesamt waren die Badestellen am Tegeler See 2019 sehr gut beräumt und ließen kaum Reste von Großpflanzen erkennen.

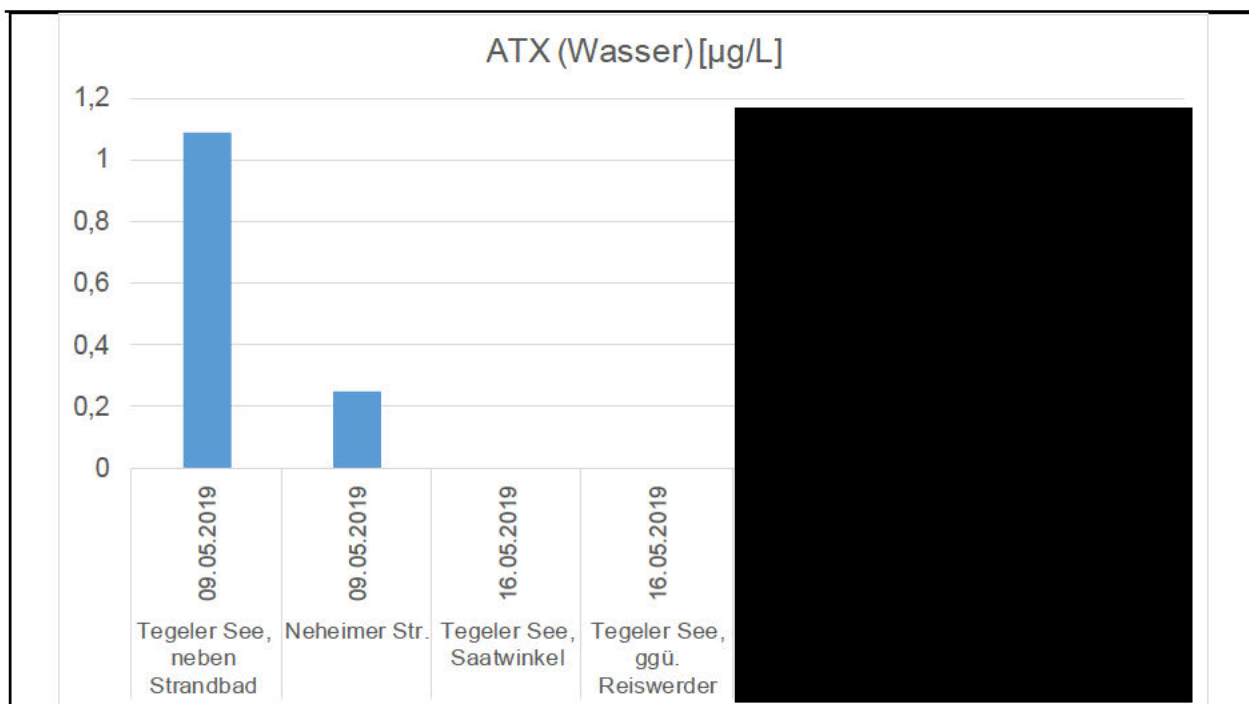


Abb. 3: Anatoxin-a > 0,2  $\mu\text{g/L}$  (Bestimmungsgrenze) in Seewasser ausgewählten Badestellen im Zeitraum April bis Juni 2019.

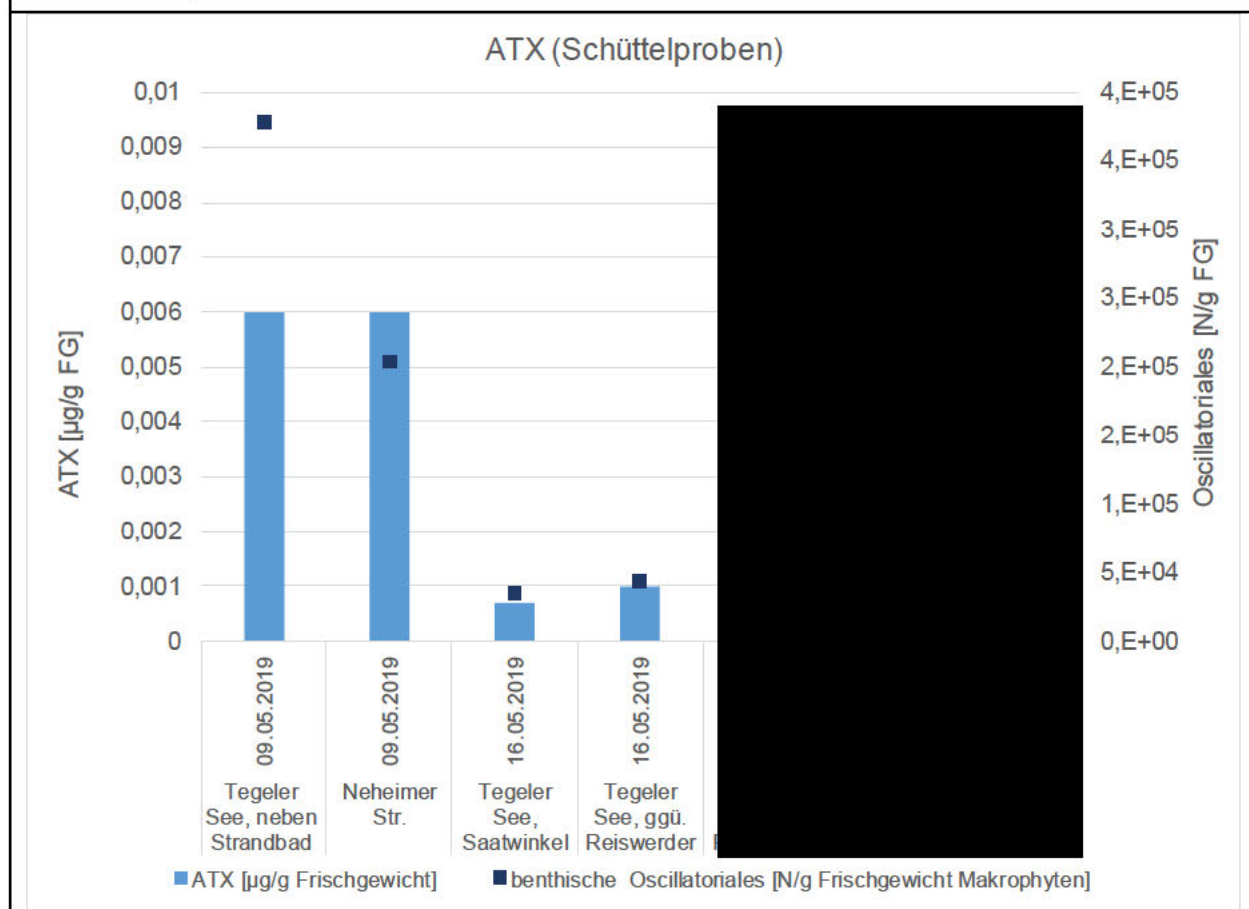
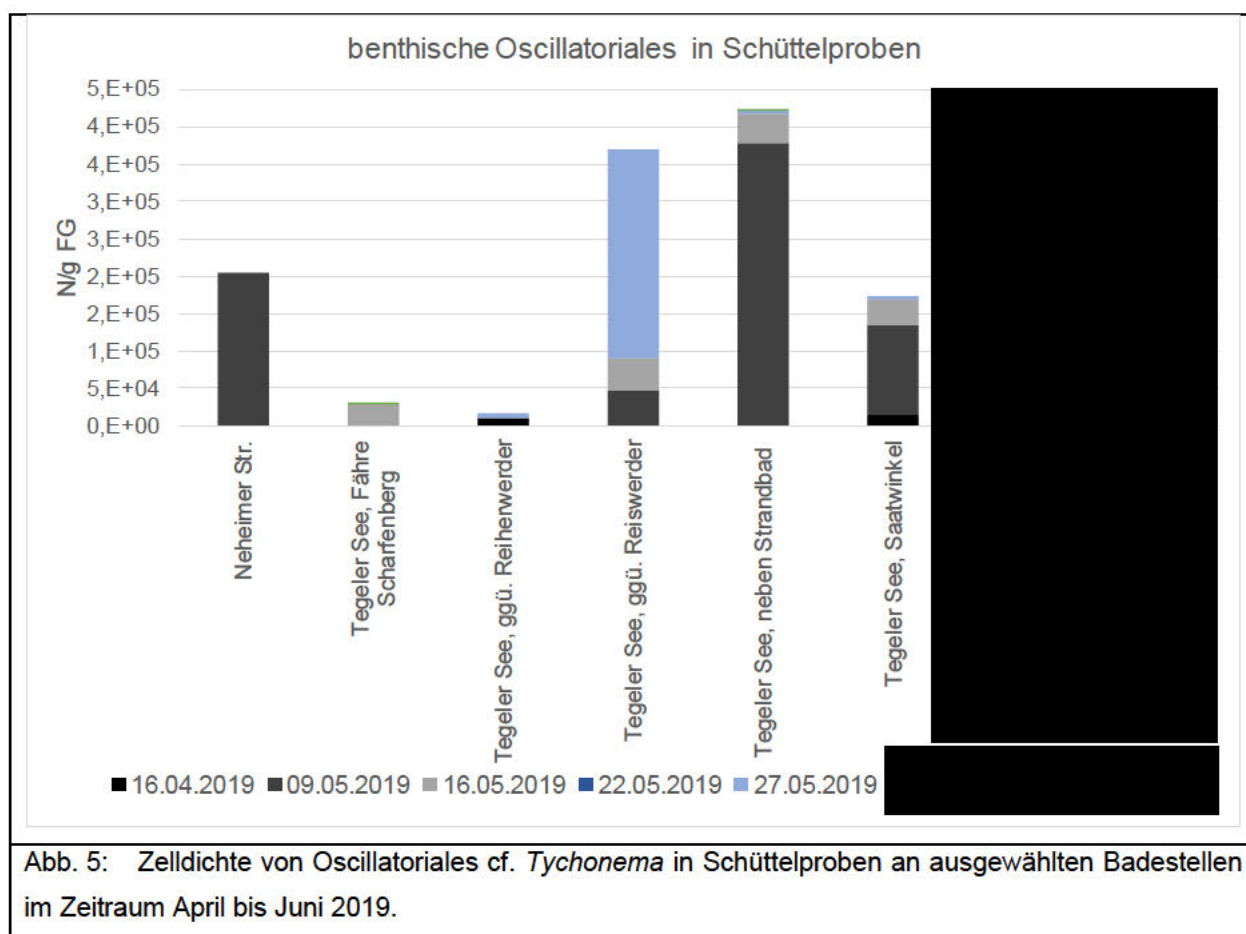
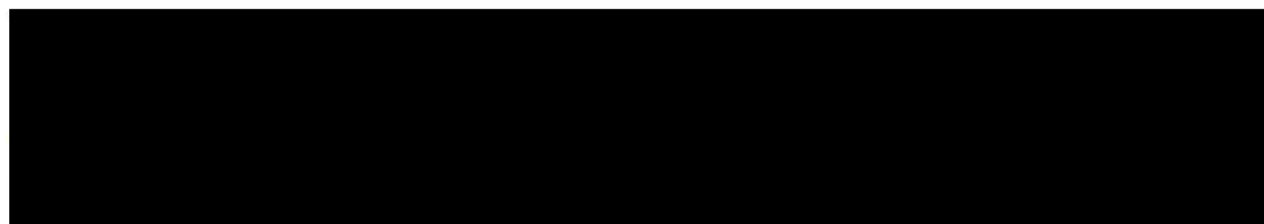


Abb. 4: Anatoxin-a in Schüttelproben (bezogen auf das Frischgewicht der Makrophyten) und Zelldichte von Oscillatoriales cf. *Tychonema* an ausgewählten Badestellen im Zeitraum April bis Juni 2019.



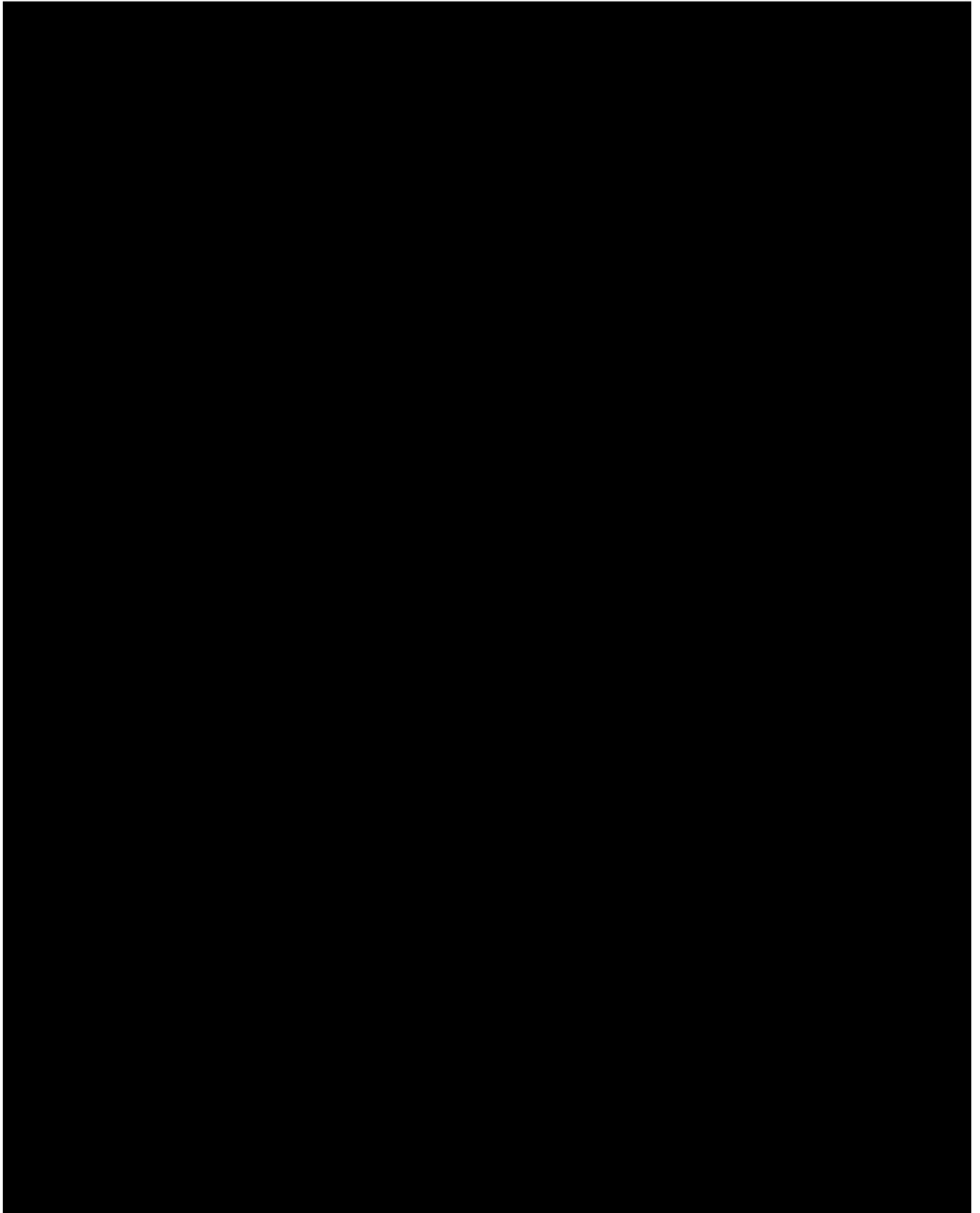
### 3.1.2 Cyanobakterienfluoreszenz und Biovolumen

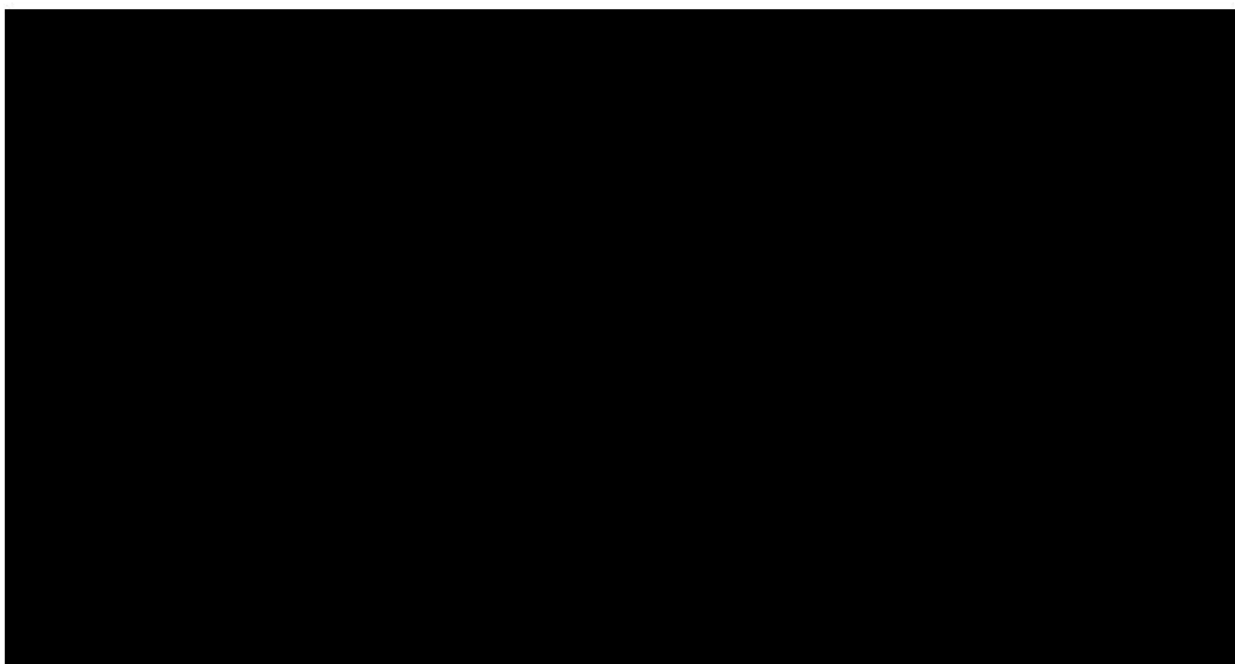
Die einzelnen Algenklassen besitzen für die Lichtabsorption unterschiedliche Pigmentproteinkomplexe in den Photosystemen. Bei den Cyanobakterien sind neben dem Chl a die wichtigsten Photosynthesepigmente Phycocyanin, Allophycocyanin und Phycoerythrin. Letztere liegen als „akessorische“ Pigmente in reihenartigen oder kugeligen Körpern, den sog. Phycobilisomen, vor und sind Bestandteil des Lichtsammelsystems. Durch die spezifische Pigmentierung der Algenklassen ergeben sich unterschiedliche Fluoreszenzanregungsspektren für eine messbare Fluoreszenzemission, was bei der Vor-Ort-Fluoreszenzmessung ausgenutzt wird. Neben Cyanobakterien besitzen auch die Cryptophyta (Schlundflagellaten) Phycocyanine und Phycoerythrine. Aus Abb. 6 - 7 ergibt sich eine recht gute Übereinstimmung zwischen dem Pigment Phycocyanin und dem Biovolumen der Cyanobakterien (Korrelationskoeffizient 0,7).





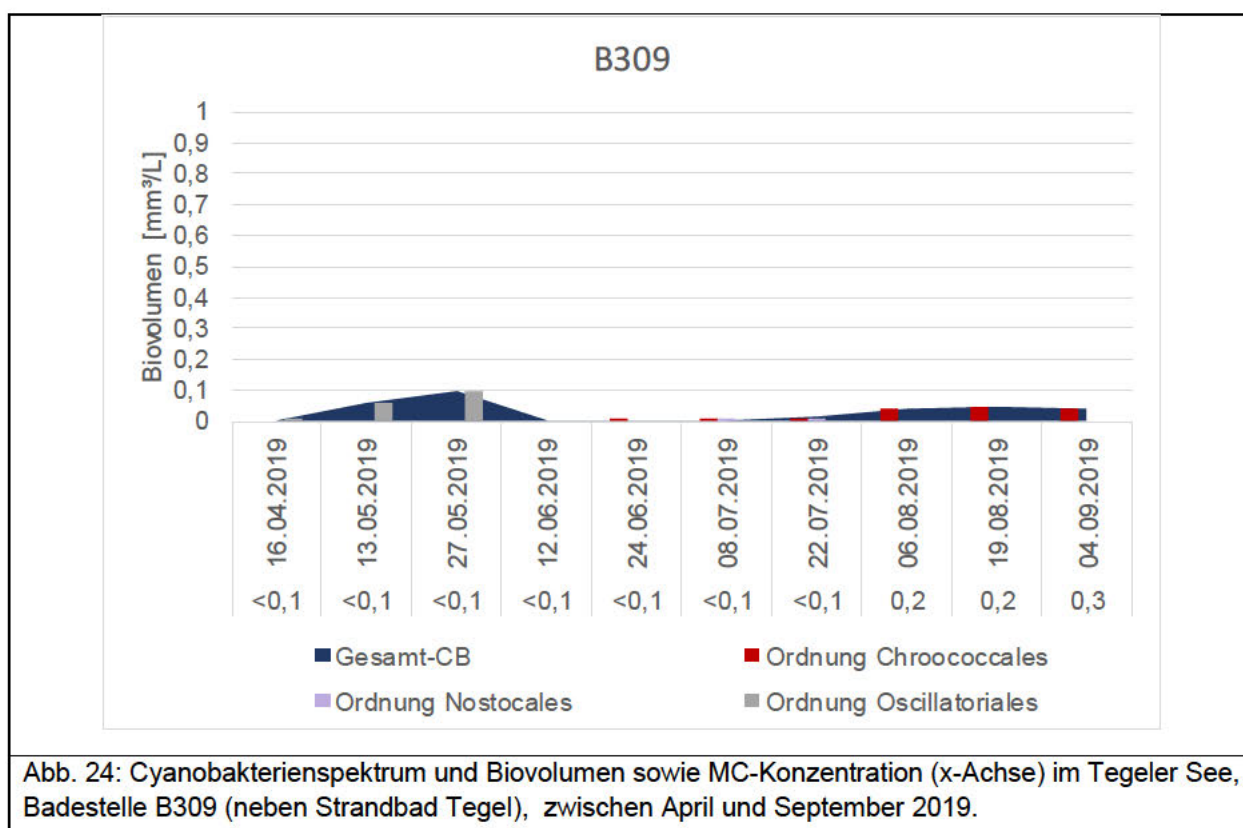
## 3.2 Planktische Cyanobakterien und Cyanotoxine an ausgewählten Berliner Badestellen





### 3.2.3.2 Tegeler See

Der Tegeler See war in den Jahren 2016 und 2017 nicht Bestandteil des Cyanobakterien-Monitorings, da planktische Cyanobakterien in den Jahren zuvor keine signifikanten Biovolumina bildeten und in der Badesaison 2015 zu keinem Zeitpunkt in quantitativen Mengen nachgewiesen wurden.



Auch im aktuellen Berichtsjahr war die Menge der Cyanobakterien im Plankton bei einem Biovolumen von dauerhaft  $< 0,1 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$  marginal und die MC-Konzentration blieb nahe an oder unter der Bestimmungsgrenze (Abb.24). In der Badesaison 2018 hatten sich *Microcystis aeruginosa* und *Dolichospermum* ab Mitte August kurzzeitig stärker als üblich vermehrt. Erstere war auch 2019 ab Juni vereinzelt im Plankton vertreten.

Im Frühjahr 2019 wurden im Seewasser vereinzelt oder in geringer Menge Oscillatoriales der Gattung *Tychonema* nachgewiesen, die als Tychoplankter zeitweilig im Plankton vorkommen können und im Verdacht stehen, das neurotoxische Anatoxin-a (ATX) zu produzieren.

In den parallel entnommenen Makrophytenproben (Vgl. 3.1.1) wurde diese Cyanobakteriengattung im Zeitraum 16.04.2019 bis 27.05.2019 in höherer Dichte als in den Wasserproben nachgewiesen. Die gemessene ATX-Konzentration lag trotz erneuter Vergiftungsfälle bei Hunden sehr weit unter der angenommenen letalen Dosis von  $0,25 \text{ mg kg}^{-1}$  Hund. Es ist vorstellbar, dass sich größere Ansammlungen der potentiell toxischen Cyanobakterien außerhalb der Badestellen in schwer zugänglichen Uferbereichen befanden oder Hunde besonders sensibel auf das Toxin reagieren.

### **Langjährige Tendenz**

Im Zuge der langjährigen Phosphateleminierung durch die OWA Tegel, welche bis 2017 in PT-Konzentrationen von  $\leq 0,03 \text{ mg L}^{-1}$  resultierte und durch klimatische Veränderungen begünstigt, befindet sich der Tegeler See seit Jahren im mesotrophen Zustand. Gleichzeitig stabilisiert sich zunehmend eine Makrophytendominanz gegenüber dem Phytoplankton, wobei auch Cyanobakterien am Gewässergrund Matten bilden oder sich zwischen den Großpflanzen ansiedeln können. Das Phytoplankton entwickelte in den letzten 10 Jahren eine geringe Biomasse, welche meist deutlich unter  $10 \mu\text{g Chl a L}^{-1}$  (Saisonmittel) lag. Dies bewirkte eine immer stärkere Aufklärung, wobei die mittlere Sichttiefe langjährig zwischen 230 cm und 350 cm schwankte und die Maxima mitunter 500 cm erreichten (Abb. 25). Seit 2018 wird der Tegeler See im Frühjahr von Land beprobt und die Sichttiefen teilweise geschätzt. Aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit wurden in diesem Bericht aber die Sichttiefen von der Beprobung der tiefsten Stelle herangezogen.

Die aktuellen Ergebnisse reihen sich sehr gut in die dargestellten Langzeitdatenreihen ein. Lediglich in den Jahren 2017 und 2018 zeigten die Trophieparameter Sichttiefe und Chl a sowie Gesamtposphor als steuernder Faktor (Abb. 27) eine Verschlechterung. Zugleich hatten planktische Cyanobakterien in der Badesaison 2018 nach langer Zeit wieder ein signifikantes Biovolumen gebildet (Abb. 26). Dabei war die Gattung *Microcystis* vorherrschend.

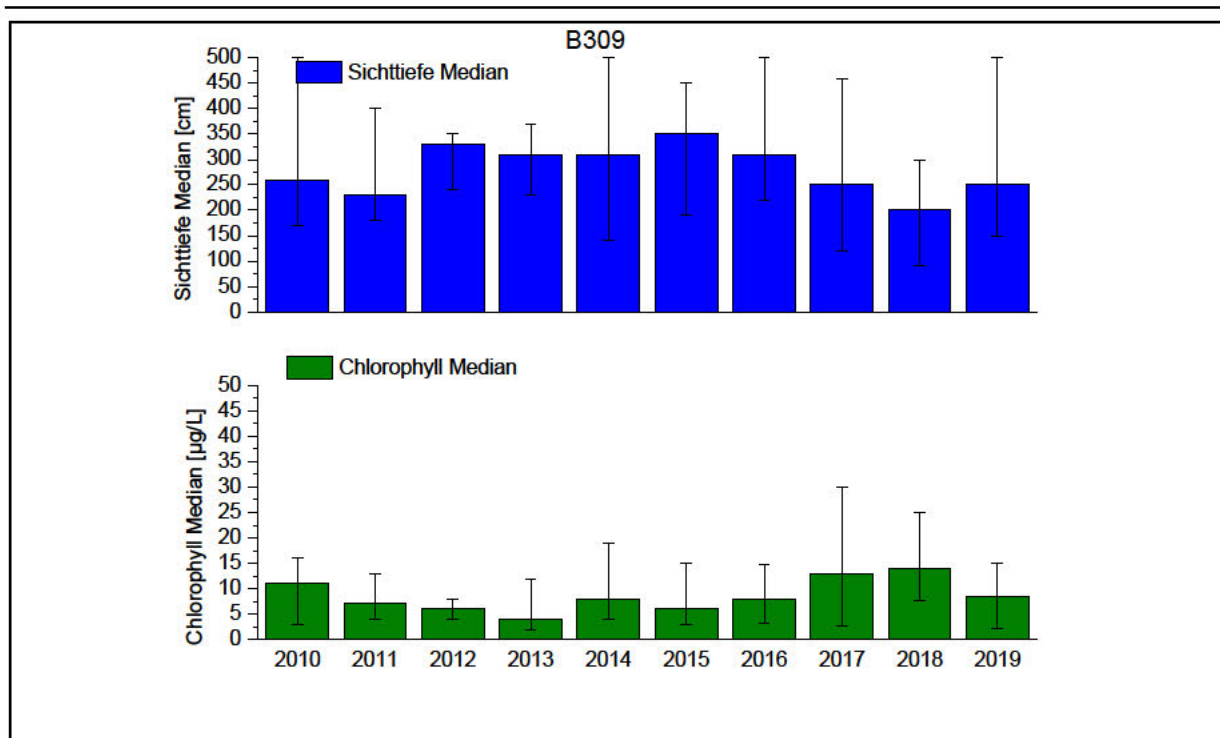


Abb. 25: Median, Maximum und Minimum (n=10) der Sichttiefe und Chl a-Konzentration im Tegeler See, Badestelle B309 (neben Strandbad Tegel), während der Badesaison im Vergleich der letzten 10 Jahre.

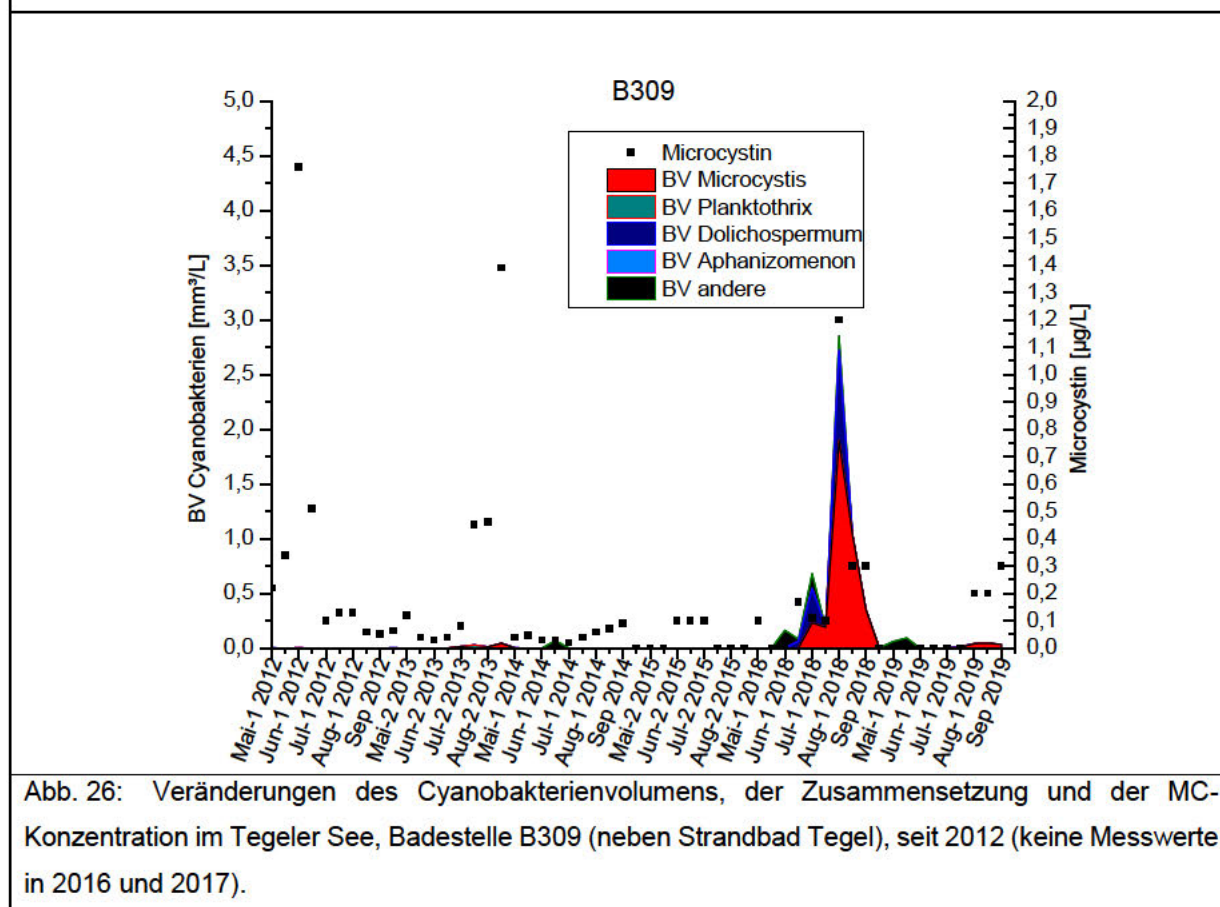
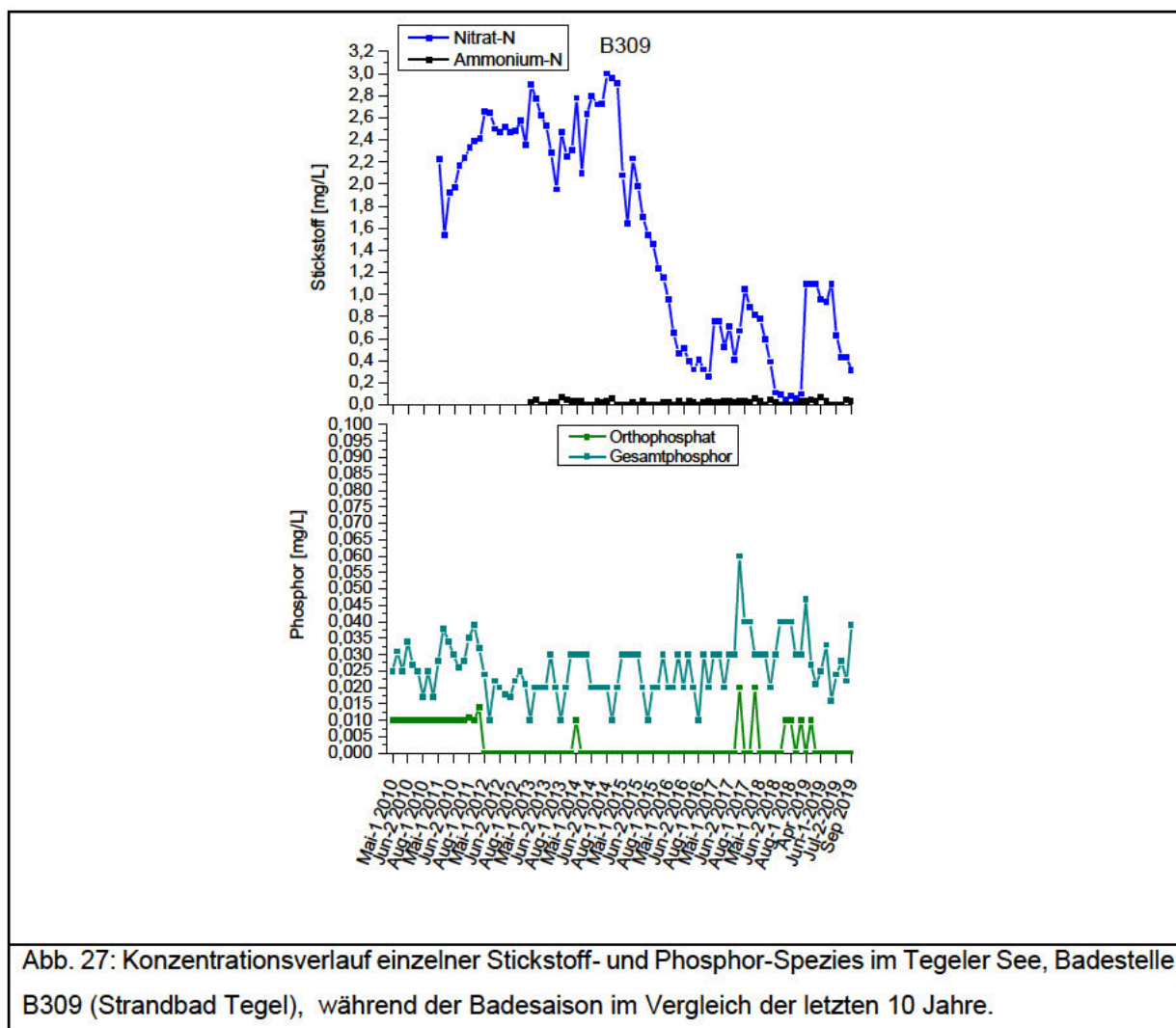


Abb. 26: Veränderungen des Cyanobakterienvolumens, der Zusammensetzung und der MC-Konzentration im Tegeler See, Badestelle B309 (neben Strandbad Tegel), seit 2012 (keine Messwerte in 2016 und 2017).



Nitratstickstoff wurde im Tegeler See langjährig auf sehr hohem Konzentrationsniveau bis zu  $3,0 \text{ mg NO}_3\text{-N L}^{-1}$  gehalten, bewegt sich aber seit 2017 auf Höhe von ca.  $1,2 \text{ mg NO}_3\text{-N L}^{-1}$ . Mit einer Ausnahme lag die Konzentration von Gesamtphosphor in dieser Saison wie in den Jahren vor 2017 bei  $0,03 \text{ mg P L}^{-1}$ . Die aktuelle Trophieeinstufung gemäß LAWA-Empfehlung 2014 ergibt einen mesotrophen (m2)-Zustand.

---

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Entwicklung der planktischen Cyanobakterien war während der Badesaison 2019 – vermutlich aufgrund der relativ instabilen Wetterlage – an der Mehrzahl der Badestellen wesentlich moderater als im Vorjahr. An vielen Badestellen des Monitoring bildeten Cyanobakterien keine signifikanten Biovolumina: [REDACTED]

Im Tegeler See war die Menge der planktischen Cyanobakterien bei einem steten Biovolumen unter  $0,1 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$  marginal.

Die Konzentration der Toxine MC, CYN und ATX blieb an allen untersuchten Badestellen während der gesamten Saison weit unter dem UBA-Leitwert von  $30 \mu\text{g L}^{-1}$ , welcher selbst bei täglicher Exposition als unbedenklich gilt.

Da Cyanobakterien in der Planktongesellschaft ein sehr artenreiches Konsortium stellen, das



viele potentielle Toxinbildner beinhaltet und die auslösenden Faktoren für die Toxinproduktion zu komplex oder noch nicht ausreichend erforscht sind, ist eine regelmäßige Überwachung sehr wichtig. Zudem können Zellwandbestandteile und andere Zellinhaltsstoffe als die Toxine bei Badegästen zu Hautirritationen etc. führen. Die Fluoreszenzmessung vor Ort soll einen ersten Anhaltspunkt für ein erhöhtes Cyanobakterienvorkommen liefern. Nach den diesjährigen Ergebnissen traten Biovolumina über  $3 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ , welche nach UBA-Schema der 2. Warnstufe entsprechen (Abb.1), in der Regel ab einer Phycocyaninkonzentration von  $20 \mu\text{g L}^{-1}$  auf.



Die Untersuchung von ATX und der Nachweis von benthischen bzw. tychoplanktischen Cyanobakterien wurde auch im Frühjahr 2019 an ausgewählten Badestellen v.a. am Tegeler See durchgeführt. Trotz erneuter Vergiftungsfälle bei Hunden wurde ATX in den Wasserproben nur zweimalig in messbarer Konzentration (max.  $1 \mu\text{g L}^{-1}$  Tegeler See, 09.05.19) nachgewiesen. In den ausgeschüttelten Makrophytenproben lag die maximale Konzentration unter  $0,01 \mu\text{g g}^{-1}$  FG und war damit sehr weit von der angenommenen letalen Dosis von  $0,25 \text{ mg kg}^{-1}$  entfernt. Es ist vorstellbar, dass sich größere Ansammlungen der potentiell toxischen Cyanobakterien außerhalb der Badestellen in schwer zugänglichen Uferbereichen befanden oder Hunde besonders sensibel auf das Toxin reagieren.

Im Vergleich zum Vorjahr zeigte v.a. der Trophieparameter Phosphor, welcher in der Saison 2018 in den Gewässern Großer Müggelsee sowie in den Berliner Flussverläufen von Dahme und Havel über das Niveau der Vorjahre angestiegen war, einen Rückgang. 





---

---

---

---

---

---

## Literatur

- BadegewässerV, 2003. Verordnung über die Qualität der Badegewässer Berlin, v. 2.7.1998, GVBl. 1998, S. 222, geändert am 27.12.2003, GVBl 59(44), S. 585.
- 2006 – 2008. Blaualgenmonitoring in Berliner Badegewässern. Berichte im Auftrag des LAGeSo, Berlin.
- DEV, 1985. Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser- Abwasser- und Schlammmuntersuchung. DIN 38412/L16. 1985. Bestimmung des Chlorophyll a-Gehaltes von Oberflächenwasser. VCH, Weinheim, Loseblattsammlung.
- , 2009 – 2019. Blaualgenmonitoring in Berliner Badegewässern. Bericht im Auftrag des LAGeSo, Berlin.
- Kim, B. H., Lee, W. S., Kim, Y.-O., Lee, H.-O. & Han, M.-S., 2005. Relationship between akinete germination and vegetative population of *Anabaena flos-aquae* (Nostocales, Cyanobacteria) in Seokchon reservoir (Seoul, Korea). *Archiv für Hydrobiologie* **163**, 49–64.
- ■■■■ 1999 – 2005. Blaualgenmonitoring und Microcystin-Konzentration in Berliner Badegewässern. Berichte im Auftrag des LAGeSi, Berlin.
- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), 2014. Trophieklassifikation von Seen. Richtlinie zur Ermittlung des Trophie-Index nach LAWA für natürliche Seen, Baggerseen, Talsperren und Speicherseen. 34 Seiten.
- Ramm, J., 2014. Occurrence and life-cycle strategies of bloom-forming Nostocales (cyanobacteria) in deep lakes in Northern Germany and in Lake Kinneret, Israel. Dissertation der Fakultät für Umweltwissenschaften der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg, 129 Seiten.
- Richtlinie 2006/7/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Februar 2006 über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung und zur Aufhebung der Richtlinie 76/160/EWG. Amtsblatt der Europäischen Union L 64/37.
- Rücker, J., Wiedner, C., Nixdorf, B., Ramm, J. & Gonsiorczyk, T., 2012. Lebenszyklus von Nostocales – eine spezifische dynamische Komponente zur Vorhersage von Cyanobakterienblüten in Seen und Staugewässern (Fachlicher Schlussbericht BMBF-FKZ: 02WT0985 und 02WT0986), 52. Bad Saarow, Neuglobsow.
- Seifert, M., McGregor, G., Eaglesham, G., Wickramasinghe, W. Shaw, G., 2007. First evidence for the production of cylindrospermopsin and deoxy-cylindrospermopsin by the freshwater benthic cyanobacterium, *Lyngbya wollei* (Farlow ex Gomont) Zpeziale and Dyck. *Harmful algae* 6(1): 73-80.
- Umweltbundesamt (UBA), 2015. Empfehlung zum Schutz von Badenden vor Cyanobakterien-Toxinen. Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz 8: 908-920.