

Indikator-Factsheet: Cyanobakterienbelastung von Badegewässern

Verfasser*innen:	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) i. A. des Umweltbundesamtes / KomPass, FKZ 3711 41 106 Neufassung: i. A. des Umweltbundesamtes / KomPass, FKZ 3720 48 101 0	
Mitwirkung:	für 2015 und 2019: Umweltbundesamt (UBA), Abteilung II.3 Trinkwasser- und Badebeckenwasserhygiene (Dr. Ingrid Chorus) Umweltbundesamt (UBA), Fachgebiet II 3.3 Trinkwasserressourcen und Wasseraufbereitung (Dr. Jutta Fastner) für 2023: Brockmann Consult GmbH (Jorrit Scholze, Kerstin Stelzer) Universität Kiel (Dr. Katja Kuhwald, Prof. Dr. Natascha Oppelt) im Rahmen des UBA FKZ 3719 48 1010	
Letzte Aktualisierung:	07.02.2014	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler)
	01.08.2017	Ingrid Chorus, UBA II 3
	23.01.2019	Umweltbundesamt (Gabriele Schönwiese): Kleinere redaktionelle Anpassung, Nummerierung des Indikators geändert (zuvor GE-I-6)
	30.05.2022	Brockmann Consult GmbH (Jorrit Scholze, Kerstin Stelzer), Christian Albrechts Universität (Katja Kuhwald): Neuentwicklung des Indikators auf der Grundlage von Fernerkundungsdaten
	26.07.2022	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler): Redaktionelle Anpassungen; Nummerierung des Indikators geändert (vormals GE-I-5)
	26.10.2022	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler): Einarbeitung von Anregungen zur perspektivischen Weiterentwicklung im Rahmen der abschließenden Sitzung der LAWA Kleingruppe Klimaindikatoren am 24.10.2022
	06.11.2023	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler): Aktualisierung der Links
Nächste Fortschreibung:	ab sofort für 2027	Einer Erweiterung der Seenanzahl für die Berichtsfortschreibung 2027 ist möglich. Die aktuelle Auswahl der Seen wurde im Rahmen des DASIF Vorhabens (FKZ 3719481010) getroffen und beinhaltet Seen mit einer guten in situ-Messgrundlage. An den ausgewählten Seen wurde das Vorhaben getestet und durchgeführt. Für eine Fortschreibung kann die Auswahl der Seen ausgeweitet werden. Bei der Auswahl der Seen sollte auch berücksichtigt werden, dass Cyanobakterienbelastungen beispielsweise auch für Trinkwassertalsperren von großer Relevanz sein können, da sie die Trinkwassernutzung beeinträchtigen können bzw. aufwändige Aufbereitung erforderlich machen. Zudem sollte nicht außer Acht gelassen werden, dass Cyanobakterienbelastungen auch für die Gewässerökosysteme selbst ein Problem darstellen.

I Beschreibung

Interne Nr. GE-I-6	Titel: Cyanobakterienbelastung von Badegewässern
Einheit: Anzahl	<p>Kurzbeschreibung des Indikators: Anzahl der Seen, die sich den Kategorien der Blaualgenbelastung (keine Belastung, mittlere Belastung und hohe Belastung) zuordnen lassen Für die Kategorisierung der Belastung durch Blaualgen wird das Saisonmittel (Juli bis September) der Häufigkeit des Vorkommens von Cyanobakterien in einem See berechnet. Um Cyanobakterien zu detektieren, wird ein binärer Cyanomarker ermittelt, der eine Anzeige für das Vorkommen von Phycocyanin ist.</p> <p>Berechnungsvorschrift: <u>Schritt 1:</u> Saisonmittel der Häufigkeit des Vorkommens von Cyanobakterien = Summe aller zwischen Juli und September gemessenen Vorkommen von Cyanobakterien / Anzahl der gültigen Satellitenüberflüge für jeden See Bedingung für eine valide Aufnahme ist: Mindestens 30 % der Pixel innerhalb der Seefläche müssen valide sein. Ein Pixel wird als valide angesehen, wenn es nicht durch äußere Bedingungen beeinflusst ist (Wolken, Wolkenschatten, Überstrahlung vom Land). Bedingung für Vorkommen von Cyanobakterien: Mindestens 30 % der validen Pixel weisen einen positiven Cyanomarker auf. Die gemessene Chlorophyll-a Konzentration des Seemittelwertes aus den Fernerkundungsdaten muss höher als 10 µg/L sein (unterhalb dieser Schwelle ist die Cyanobakterien-Erfassung mit einer hohen Unsicherheit behaftet und wird daher hier nicht berücksichtigt).</p> <p><u>Schritt 2:</u> Einteilung der Seen in die Belastungsstufen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Geringe Belastung: Es gibt keine Indikation von Cyanobakterien im See. • Mittlere Belastung: An höchstens 20 % aller validen Überflüge gibt es eine Cyanobakterien Indikation im See. • Hohe Belastung: An über 20 % aller validen Überflüge gibt es eine Cyanobakterien Indikation im See. <p><u>Schritt 3:</u> Alle berücksichtigten Seen, die sich einer Belastungsstufe zuordnen lassen, werden aufaddiert. Für den Indikator wurden Seen und Talsperren aus den folgenden Regionen berücksichtigt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alpen und Alpenvorland: BY: Ammersee, Starnberger See, Walchensee BW/BY: Bodensee • Zentrale Mittelgebirgsregion: RP: Laacher See BY: Großer Brombachsee SN: Talsperre Bautzen • Norddeutsches Tiefland: BE: Großer Müggelsee MV: Müritztal, Kummerower See NI: Steinhuder Meer SH: Großer Plöner See, Dobersdorfer See SN: Speicher Witznitz ST: Arendsee

Interpretation des Indikatorwerts:	Je höher der Indikatorwert ist, desto mehr Seen werden der jeweiligen Belastungsstufe zugeordnet. Je höher die Belastungsstufe ist, desto häufiger lassen sich in relevantem Umfang Cyanobakterien nachweisen.
---	--

II Einordnung

Handlungsfeld:	Menschliche Gesundheit
Themenfeld:	Gesundheitliche Auswirkungen von verminderter Badewasserqualität
Thematischer Teilaspekt:	Gesundheitliche Beeinträchtigungen durch vermehrtes Auftreten potenziell toxischer Cyanobakterien
DPSIR:	Impact (Risiko)

III Herleitung und Begründung

Referenzen auf andere Indikatorenssysteme:	keine bekannt
Begründung:	<p>Gesundheitliche Relevanz von Cyanobakterien:</p> <p>Die Zunahme der Belastung von Badegewässern mit Cyanobakterien ist ein im Zusammenhang mit dem Klimawandel viel diskutiertes Gesundheitsrisiko. Nicht nur in zahlreichen Binnengewässern, sondern auch in der Ostsee sind hohe Cyanobakterien-Zelldichten zeitweilig ein Problem (UBA 2009: 6).</p> <p>Viele Cyanobakterien enthalten sogenannte Cyanotoxine. Als Folge eines Kontakts mit Cyanobakterien sowohl nach dem Verschlucken von Wasser als auch beim direkten Hautkontakt mit belastetem Wasser sind lokale Symptome wie Haut-/Schleimhautreizungen, Bindehautentzündungen, Ohrenschmerzen und allergische Reaktionen bekannt. Insbesondere besteht auch die Besorgnis schwerwiegenderer gesundheitlicher Beeinträchtigungen wie Gastroenteritiden, Atemwegserkrankungen und Leberveränderungen bei Aufnahme höherer Mengen stark toxinhaltiger Cyanobakterien; auch können akut lebensbedrohliche Intoxikationen insbesondere durch Neurotoxine aus Cyanobakterien (die als Ursache des raschen Verendens von Hunden und Wildtieren bekannt sind) nicht ausgeschlossen werden. Aus der Sicht des Gesundheitsschutzes kommt den systemischen Wirkungen der Cyanotoxine nach oraler oder inhalativer Aufnahme die größte Bedeutung zu. Hohe Konzentrationen können insbesondere eine Gefährdung sein für:</p> <ul style="list-style-type: none"> • im Uferbereich der Badestellen spielende Kleinkinder und Kinder im Grundschulalter, da sie beim Krabbeln oder Toben im Flachwasserbereich unbeabsichtigt auch größere Wassermengen aufnehmen können, • die Ausübenden von Wassersportarten wie Surfen und Wasserskifahren und hier insbesondere für Ungeübte, da diese die Cyanobakterien verstärkt oral oder aspirativ aufnehmen können. <p>Die UBA-Empfehlung (UBA 2015) rät daher grundsätzlich vom Baden in Gewässern ab, deren Wasser deutlich sichtbar durch Cyanobakterien getrübt ist oder gar Schlieren an der Wasseroberfläche aufweist (die Empfehlungen sind allerdings derzeit aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse in Überarbeitung). Ähnliche Richtlinien gibt es in zahlreichen anderen Staaten (Chorus 2012).</p> <p>Das Cyanobakterien-Vorkommen kann im Gewässer räumlich und zeitlich aufgrund biotischer und abiotischer Einflüsse ein äußerst heterogenes Verteil-</p>

	<p>lungsmuster annehmen, insbesondere für die Arten und Gattungen, die aufgrund ihres Gehalts an Gasvakuolen an der Wasseroberfläche zu sogenannten „Wasserblüten“ auftreiben oder „aufrahmen“. Diese „Blüten“ können windabhängig in bestimmten Gewässerbereichen akkumulieren, jedoch auch bei Wechsel der Windrichtung rasch wieder verdriftet werden. Somit beeinflussen auch physikalische Gewässereigenschaften wie die Morphologie und die Lage der Badebereiche das potenzielle Gesundheitsrisiko durch toxische Cyanobakterien (UBA 2015).</p> <p>Ursachen von Cyanobakterienbelastung:</p> <p>Grundsätzlich ist das Vorkommen von Cyanobakterien eine multifaktoriell gesteuerte Größe, bei der auch zahlreiche Rückkoppelungen eine Rolle spielen. Das Vorkommen von Cyanobakterien und die Dichte der Cyanobakterien-Zellsuspension werden in erster Linie von der Konzentration an Pflanzennährstoffen (i. d. R. Gesamtphosphor) bestimmt. Untersuchungen des UBA (Chorus et al. 2011) ergaben, dass bei Konzentrationen von Gesamt-P > 50-90 µg/l die Abundanz und die Biomasse der in Deutschland besonders häufig vorkommenden Gattungen <i>Microcystis</i>, <i>Planktothrix</i>, <i>Anabaena</i> und <i>Aphanizomenon</i> signifikant erhöht sind, unterhalb von Konzentrationen von 25 µg/l und Sichttiefen von mehr als zwei Metern dagegen Cyanobakterien nur selten in potenziell gesundheitsrelevanten Mengen vorkommen. Eutrophe Seen neigen jedoch nicht zwangsläufig zur Massenvermehrung von Cyanobakterien („Wasserblüten“). Im Gegensatz zu planktondominierten eutrophen Seen ist der Phosphor in makrophytenreichen eutrophen Seen überwiegend in den Wasserpflanzen gebunden und damit für die Cyanobakterien nicht verfügbar. Auch kann der Phosphor zeitweilig verstärkt zur Dominanz anderer (gesundheitlich weniger relevanten) Phytoplankton-Arten führen, bei ausgeprägter Durchmischung des Gewässers z. B. von Kieselalgen. Ob hohe Nährstoffkonzentrationen zu hoher Biomasse anderer Phytoplankton-Arten oder eher zu Massenentwicklungen von Cyanobakterien führen, hängt von hydrophysikalischen und biotischen Bedingungen ab. Aufgrund der großen Bedeutung des Phosphorgehalts für das Vorkommen von Cyanobakterien wird dieser Parameter als Teil B zur Erleichterung der Interpretation im Indikator mitgeführt.</p> <p>Die Witterungsbedingungen sind neben den Nährstoffkonzentrationen eine weitere entscheidende Größe für das Vorkommen von Cyanobakterien. Sie wirken indirekt, indem sich bei stärkerer Sonneneinstrahlung und höheren Temperaturen die thermische Schichtung des Gewässers deutlich früher im Frühjahr und insgesamt ggf. auch stabiler ausprägt (s. auch Indikator WW-I-6 des DAS-Handlungsfelds „Wasserhaushalt / Wasserwirtschaft“). Es zeichnet sich ab, dass die Schichtung im Zuge des Klimawandels früher im Frühjahr beginnt. Dies kann dazu führen, dass Cyanobakterien früher im Laufe des Sommers zu höheren Biomasse-Maxima kommen, da viele Arten unter diesen eher langsam wachsenden Phytoplanktern charakteristischerweise etliche Wochen zur Ausbildung von Massenentwicklung benötigen. Aufgrund der Witterungsabhängigkeit der Entwicklung wird ein Zusammenhang zwischen Klimaveränderung, Wassererwärmung und gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch Cyanobakterien diskutiert.</p> <p>Empirischen Beobachtungen von Expert:innen bestätigen, dass sich eindeutige Seentypen-unabhängige Muster in der Entwicklung von Cyanobakterien derzeit nicht erkennen lassen. In Abhängigkeit von den morphometrischen und topographischen Bedingungen, dem Trophiegrad, dem Bewuchs, der Nutzung (u. a. Befischung und Badebetrieb) und weiteren Faktoren sind bei den Seen sowohl die Artenzusammensetzung als auch die Zelldichten im Jahresverlauf sehr unterschiedlich. Eine Ausnahme ist das in Rheinland-Pfalz beobachtbare auffällige Muster, dass die Cyanoalgenblüten teilweise um Monate früher einsetzen und mitunter bis in den späten Herbst andauern (Oehms 2012).</p>
--	--

	<p>Erfassung von Cyanobakterien:</p> <p>Cyanobakterien werden nur an wenigen Seen erfasst und häufig nicht in ausreichender Frequenz. Hinzu kommt, dass die Cyanobakterienblüten innerhalb der Seen sehr unterschiedlich sein kann, denn sie können verdriften, absinken oder auch wieder aufschwimmen. Es ist von vielen Faktoren abhängig, ob Cyanobakterienvorkommen mittels in situ-Messungen tatsächlich erfasst werden.</p> <p>Bei der Erfassung von Cyanobakterienblüten mittels Satellitenfernerkundung ist zu unterscheiden, ob es sich um im Wasser befindliche oder aufgeschwemmten Cyanobakterien handelt. Beide Formen des Vorkommens unterscheiden sich deutlich in ihrer Erfassbarkeit und Methodik. Dies betrifft sowohl die Auswahl möglicher Sensoren als auch der anzuwendenden Algorithmen. Aufgeschwemmten Cyanobakterien verhalten sich im Reflexionsspektrum ähnlich wie ein Vegetationsspektrum, d. h. deutlich ansteigende Reflexion vom sichtbaren Rot zum NIR und unterscheiden sich somit deutlich von einem Reflexionsspektrum einer Wasseroberfläche. Daher können aufgeschwemmte Cyanobakterien mit einem Band im nahen Infrarot und einem im sichtbaren Rot erfasst werden. Viele räumlich hoch aufgelösten und sehr hoch aufgelöste Sensoren besitzen diese Bandkombination und können ein detailliertes Bild der räumlichen Strukturen einer Blüte geben. Die fernerkundliche Erfassung von im Wasser befindlichen Cyanobakterien basiert hingegen auf dem spektralen Verhalten von Phycocyanin, das im Gegensatz zu Chlorophyll-a ein deutlicheres Absorptionsmaximum bei 620 nm aufweist. Gleichzeitig gibt es ein Absorptionsminimum bei 650 nm und bei 700 nm. Eine deutliche Ausprägung dieser Absorptionsmerkmale bedarf einer gewissen Mindestkonzentration von Cyanobakterien.</p> <p>Indikatorberechnung:</p> <p>Mittelwertbildungen von Absolutwerten über mehrere Seen hinweg sind hier – wie bei anderen Seen-Indikatoren nicht sinnvoll, da sich die Seen individuell stark unterscheiden. Daher wird zu Generierung der Indikatorwerte jeder See für jedes Jahr kategorisiert und jährlich die Zahl der Seen in den drei Kategorien aufaddiert.</p>
<p>Einschränkungen:</p>	<p>Das Auftreten von Cyanobakterien ist stark multifaktoriell verursacht. Neben einem klimawandelbedingten Temperaturanstieg spielt insbesondere der Nährstoffstatus eine entscheidende Rolle. Wobei dieser wiederum auch von einer Veränderung der Witterungsverhältnisse beeinflusst werden kann. Ein direkter Zusammenhang zwischen Klimawandel und dem Auftreten von Cyanobakterien(-blüten) ist nur dann zu erwarten, wenn andere Einflussgrößen (insbesondere die Nährstoffbelastung) unverändert bleiben.</p> <p>Zudem kann derzeit nicht eingeschätzt werden, ob und wie sich die Toxingehalte einer Population im Zuge des Klimawandels ändern, d. h. es möglicherweise zu einer Zunahme oder Abnahme der Toxinkonzentrationen bei gleichbleibender Cyanobakterienbiomasse kommt, da die Steuergrößen des Toxingehalts einer Population noch unbekannt sind.</p> <p>Eine Risikoabschätzung für Badende auf der Grundlage von Erhebungen zum Vorkommen von Cyanobakterien ist vor dem Hintergrund der eingeschränkten toxikologischen und epidemiologischen Datenlage nur mit großen Unsicherheiten möglich.</p> <p>Bei der Erfassung von Cyanobakterien durch die Fernerkundung ist kein Rückschluss auf den Toxingehalt möglich. Das vermehrte oder verminderte Vorkommen von Cyanobakterien in einem See ist kein Zeichen für zu- oder abnehmende Badequalität.</p> <p>Die Güte der Erfassbarkeit von im Wasser befindlichen Cyanobakterien ist stark abhängig von den Sensoreigenschaften. Um die Absorptionsmerkmale von Phycocyanin mit einem optischen Sensor erfassen zu können und von</p>

	<p>Chlorophyll-a zu unterscheiden, muss der entsprechende Sensor über schmale Aufnahmekanäle an den entsprechenden Wellenlängenbereichen verfügen. Insbesondere ein entsprechendes Band bei 620 nm ist nur bei wenigen Sensoren verfügbar, die speziell für Wasseranwendungen konzipiert sind. Die räumliche Auflösung liegt bei den betreffenden Sensoren bei 300 m und ist somit nur für größere Seen geeignet. Bei räumlich höher aufgelösten Sensoren sind meist breitere Aufnahmekanäle vorhanden und der Bereich um 620 nm nicht explizit mit einem eigenen Band abgedeckt. Dies erschwert die spektrale Erfassung mit diesen Geräten.</p> <p>Im Hinblick auf die zeitliche Auflösung gibt es Einschränkungen durch Bewölkung, Nebel oder bei Eisbedeckung. Eine gültige Aufnahme des Sees und die Berechnung von Cyanobakterien sind in diesen Fällen nicht möglich.</p>
<p>Erläuterungen zur Nutzung von Fernerkundungsdaten:</p>	<p><u>Grundlagen Gewässerfernerkundung:</u></p> <p>Entscheidend für die Gewässerfernerkundung sind alle optisch wirksamen Prozesse im Wasser, die durch Streu- und Absorptionseigenschaften des Wassers und der Wasserinhaltsstoffe hervorgerufen werden. Das daraus resultierende spezifische Reflexionsverhalten des Wassers wird durch Satellitensensoren in verschiedenen Wellenlängen gemessen. Optisch aktive Inhaltsstoffe sind dabei Schwebstoffe (organisch und anorganisch), Chlorophyll-a in Algen und gelöste Gelbstoffe. Die Inhaltsstoffe haben jeweils spezifische optische Eigenschaften, d. h. ein charakteristisches Streu- und Absorptionsverhalten in den verschiedenen Wellenlängen.</p> <p><u>Datengrundlage:</u></p> <p>Für alle Seen liegen Datenreihen mit einer räumlichen Auflösung von 300 m für die Jahre 2002-2011 und 2016-2020 und mit einer Wiederholrate von 1-2 Tagen vor. Die zeitliche Auflösung wird zusätzlich vom Wetter am Aufnahmezeitpunkt beeinflusst und kann die zeitliche Auflösung verringern.</p> <p><u>Validierungsarbeiten mit in-situ Messungen:</u></p> <p>Zur Validierung der Cyanobakterien-Indikation aus Satellitendaten wurden über den LAWA Expertenkreis Seen Ansprechpersonen aus Ländern und wissenschaftlichen Einrichtungen angefragt, um Messdaten aus den Monitoringprogrammen bereitzustellen. Für die Validierung wurden die Messungen ausgewählt, die am nächsten zur Wasseroberfläche durchgeführt wurden (zumeist 0 m oder 0,5 m) und innerhalb von 1-2 Tagen vor oder nach der Satellitenaufnahme stattfanden. Für die Definition einer Cyanobakterienblüte (in-situ) wurden folgende Kriterien ausgewählt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Das Gesamtbiovolumen setzt sich aus mehr als 50 % Cyanobakterienbiovolumen zusammen. • Die Chlorophyll-a Konzentration der Messung ist höher als 10 µg/L.
<p>Rechtsgrundlagen, Strategien:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel 2008 (DAS) • Richtlinie 2006/7/EG über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung und zur Aufhebung der Richtlinie 76/160/EWG (Badegewässer-Richtlinie) • Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz) (WHG)
<p>In der DAS beschriebene Klimawandelfolgen:</p>	<p>DAS, Kap. 3.2.1: Gefährdung der Gesundheit und Gesundheitsschäden durch vermehrte Blaualgenblüten (Cyanobakterien) an der Ostseeküste und in Binnenseen infolge der Anreicherung mit Nährstoffen bei zugleich milden Temperaturen</p>
<p>Ziele:</p>	<p>Badegewässer-Richtlinie, Artikel 8: (1) Deutet das Profil des Badegewässers auf ein Potenzial für eine Massenver-</p>

	<p>mehring von Cyanobakterien hin, so wird eine geeignete Überwachung durchgeführt, damit Gefahren für die Gesundheit rechtzeitig erkannt werden können</p> <p>(2) Kommt es zu einer Massenvermehrung von Cyanobakterien und wird eine Gefährdung der Gesundheit festgestellt oder vermutet, so werden unverzüglich angemessene Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Vermeidung einer Exposition gegenüber dieser Gefahr ergriffen, einschließlich der Information der Öffentlichkeit.</p> <p>WHG, § 27 Bewirtschaftungsziele für oberirdische Gewässer: (1) Unveränderte oberirdische Gewässer sind so zu bewirtschaften, dass „ein guter ökologischer und ein guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht werden.“ (2) Stark veränderte oberirdische Gewässer sind so zu bewirtschaften, dass „ein gutes ökologisches Potenzial und ein guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht werden.“</p>
Berichtspflichten:	Berichterstattung zur Wasserrahmenrichtlinie

IV Technische Informationen

Datenquelle:	Fernerkundungsdaten: <ul style="list-style-type: none"> • MEdium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS); European Space Agency (ESA) • Ocean and Land Colour Instrument (OLCI); Copernicus Sentinel data processed by ESA 	
Räumliche Auflösung:	flächenhaft	NUTS: nicht relevant
Geographische Abdeckung:	Ausgewählte Seen in den drei Hauptnaturräumen Norddeutsches Tiefland, Mittelgebirge sowie Alpen und Alpenvorland	
Zeitliche Auflösung:	jährlich, seit 2002	
Beschränkungen:	In den Jahre 2012-2015 sind keine Satellitendaten vorhanden, aufgrund fehlender verwendbarer Satellitensensoren.	
Verweis auf Daten-Factsheet:	GE-I-6_Daten_Cyanobakterien.xlsx	

V Zusatz-Informationen

Glossar:	<p>Cyanotoxine: Cyanotoxine sind Wirkstoffe, die von Cyanobakterien gebildet werden und die sehr unterschiedliche und z. T. stark toxische Wirkungen entfalten können. Es handelt sich insbesondere um hepato- und neurotoxische Oligopeptide und Alkaloide. Zu vielen Substanzen aus Cyanobakterien steht eine Strukturaufklärung noch aus und für zahlreiche Inhaltsstoffe sind die Wirkungen erst in Ansätzen untersucht worden. Für die Badewässer in Deutschland sind aufgrund ihres häufigen Vorkommens die Microcystine von besonderer Bedeutung. Sie bilden konstitutionelle Zellbestandteile, sind also immer in den Zellen der toxinbildenden Genotypen enthalten und werden nicht nur unter bestimmten Wachstumsbedingungen gebildet.</p> <p>Wasserblüten: Von Wasserblüten, Blaualgenblüten oder auch im allgemeinen Sprachgebrauch vereinfacht Algenblüten spricht man dann, wenn bei massenhaftem Auftreten von Cyanobakterien diese an der Wasseroberfläche akkumulieren. Infolge der Wasserblüte färbt sich die Wasseroberfläche (je nach dominierender Art) grün, in besonderen Fällen auch blau oder rot, das Wasser wird trüb und „wolkig“.</p>
-----------------	--

	<p>Cyanomarker: Der Cyanomarker wird durch das Vorkommen von Phycocyanin in Fernerkundungsdaten indiziert. Der Cyanomarker zeigt an, dass Phycocyanin in der oberen Wassersäule dominant ist.</p> <p>Aufnahmekanäle: Die spektrale Auflösung der Sensoren wird über die Aufnahmekanäle definiert. Ein Aufnahmekanal zeichnet die eingehende Strahlung einer bestimmten Zentralwellenlänge mit einer bestimmten Bandbreite auf.</p>
<p>Weiterführende Informationen:</p>	<p>Chorus I. (Hg.) 2012: Current approaches to Cyanotoxin risk assessment, risk management and regulations in different countries. UBA-Texte 63/2012, Dessau-Roßlau, 147 S. www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/4390.html</p> <p>Chorus I. & Schauser I 2011: Oligotrophication of Lake Tegel and Schlachtensee, Berlin: Analysis of system components, causalities and response thresholds "OLIGO". UBA-Texte 45/2011, Dessau-Roßlau, 157 S. www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien-e/4144.html</p> <p>Huber V., Wagner C., Gerten D., Adrian R. 2012: To bloom or not to bloom: contrasting responses of cyanobacteria to recent heat waves explained by critical thresholds of abiotic drivers. <i>Oecologia</i> 169(1): 245-256.</p> <p>Illies J. 1978: Limnofauna Europaea: Eine Zusammenstellung aller die europäischen Binnengewässer bewohnenden mehrzelligen Tierarten mit Angaben über ihre Verbreitung und Ökologie. Stuttgart, 532 S.</p> <p>Kutser T. 2004: Quantitative detection of chlorophyll in cyanobacterial blooms by satellite remote sensing. <i>Limnology and Oceanography</i>, 49(6): 2179-2189.</p> <p>Kutser T. 2009: Passive optical remote sensing of cyanobacteria and other intense phytoplankton blooms in coastal and inland waters. <i>International Journal of Remote Sensing</i>, 30(17): 4401-4425.</p> <p>Lunetta R. S., Schaeffer B. A., Stumpf R. P., Keith D., Jacobs S. A., Murphy M. S. 2015: Evaluation of cyanobacteria cell count detection derived from MERIS imagery across the eastern USA. <i>Remote Sensing of Environment</i>, 157: 24-34.</p> <p>Matthews M. W., Bernard S., Robertson L. 2012: An algorithm for detecting trophic status (chlorophyll-a), cyanobacterial-dominance, surface scums and floating vegetation in inland and coastal waters. In: <i>Remote Sensing of Environment</i>, 124: 637-652.</p> <p>Mischke U. & Nixdorf B. (Hg.) 2008: Gewässerreport (Nr. 10): Bewertung von Seen mittels Phytoplankton zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie. BTUC-AR 2/2008, 263 S.</p> <p>Oehms M. 2012: Überwachung der Badegewässer seit Inkrafttreten der novellierten EG-Badegewässerrichtlinie mit ihrer Überführung in nationales Recht durch die Landesverordnung über die Qualität und die Bewirtschaftung der Badegewässers (Badegewässerverordnung) vom 22. Februar 2008. Vermerk des Landesamts für Wasserwirtschaft des Landes Rheinland-Pfalz vom 16.07.2012. Unveröffentlicht.</p> <p>Simis S.G.H., Peters S.W.M, Gons H.J 2005: Remote sensing of the cyanobacterial pigment phycocyanin in turbid inland water. In: <i>Limnol. Oceanogr.</i>, 50(1), 2005: 237-245.</p> <p>UBA – Umweltbundesamt 2015: Empfehlung zum Schutz von Badenden vor Cyanobakterien-Toxinen. <i>Bundesgesundheitsbl</i> 2015 58: 908-920. doi: 10.1007/s00103-015-2192-8</p> <p>UBA 2009: Klimawandel und Gesundheit: Informations- und Überwachungssysteme in Deutschland - Ergebnisse der internetbasierten Studie zu Anpassungsmaßnahmen an gesundheitliche Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland. <i>Umwelt & Gesundheit</i> 03/2009, Berlin.</p> <p>Wagner C. & Adrian R. 2009: Cyanobacteria dominance: Quantifying the effects of climate change. <i>Limnol. Oceanogr.</i>, 54(6, part 2): 2460-2468.</p>

	Weyhenmeyer G.A., Adrian R., Gaedke U., Livingstone D. M., Maberly S.C. 2002: Response of phytoplankton in European lakes to a change in the North Atlantic Oscillation. Verhandlungen Internationale Vereinigung Limnologie 28: 1436-1439.
--	---

VI Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeiten

Aufwands-schätzung:	Daten-beschaffung:	1	nur eine datenhaltende Institution
	Datenverar-beitung:	3	Satellitenbildauswertung
	<u>Erläuterung:</u> Der Indikator basiert auf Satellitenbildauswertungen, die spezifischen techni-schen Sachverstand erfordern. Die Auswertungen müssen separat beauftragt werden.		
Datenkosten:	keine		
Zuständigkeit:	Umweltbundesamt, Abteilung II.3		
	<u>Erläuterung:</u> keine		

VII Darstellungsvorschlag

