

Funktionale Klassifikation von Phytoplankton-Gemeinschaften als innovative Erweiterung taxonomischer Bewertungsverfahren

Valerie Wentzky (Flintbek), Jörg Tittel, Dietrich Borchardt (Magdeburg), Christoph Jäger (Rosenheim), Jan Donner (Wienrode) und Karsten Rinke (Magdeburg)

Zusammenfassung

Die Charakterisierung und Quantifizierung von Phytoplankton-Gemeinschaften sind ein wesentlicher Aspekt der Gütebeurteilung von Standgewässern. In dieser Arbeit wird eine neue Herangehensweise hergeleitet und demonstriert, welche die klassische, taxonomisch-orientierte Methodik durch einen funktionalen Ansatz ergänzt, der auf den physiologischen und ökologischen Eigenschaften der Taxa (Traits) beruht. Kern des Ansatzes bildet der sogenannte Trait-Schlüssel, mit dem eine taxonomische Information in eine funktionale Information übersetzt werden kann. Die Aussagekraft und Potenziale des Verfahrens werden anhand von Langzeitdaten (50 Jahre) der Phytoplankton-Gemeinschaft der Rappbode-Talsperre exemplarisch demonstriert. Die Trait-basierte Analyse reduziert die Komplexität der Daten und ermöglicht eine quantitative Analyse der beobachteten Veränderungen auf der Basis von statistischen Methoden, die auf den klassischen taxonomischen Ansatz nicht anwendbar sind. Sowohl hinsichtlich der saisonalen Sukzession als auch der langfristigen Trends lassen die funktionalen Eigenschaften Rückschlüsse auf die maßgeblichen Umweltfaktoren zu. Für die wasserwirtschaftliche Praxis erweitert sich damit der Informationsgehalt und die Interpretierbarkeit der vorhandenen Daten. Diese Aufwertung der Ergebnisse kann ohne Mehraufwand erhalten werden. Von besonderem Interesse sind hierbei Kausalanalysen signifikanter Langzeittrends oder von sprunghaften Veränderungen in der Phytoplankton-Entwicklung, die hiermit in einen kausalen und systemanalytischen Zusammenhang gestellt werden können.

Schlagwörter: Taxonomie, Phytoplankton, Talsperre, Bewertung, Algen, Cyanobakterien

DOI: 10.3243/kwe2021.05.003

Abstract

Functional classification of phytoplankton communities as an innovative way to expand taxonomic analysis methods

Characterising and quantifying phytoplankton communities is a key element in assessing the lake quality. This article comes up with and demonstrates a new approach in which traditional taxonomy-based methodologies are complemented by a functional approach based on the taxa's physiological and ecological characteristics (traits). The centrepiece of this approach is a trait key that can translate taxonomic information into functional information. The meaningfulness and potential of this approach is demonstrated using long-term data (50 years) for a phytoplankton community in the Rappbode Reservoir. Trait-based analysis reduces data complexity and facilitates quantitative analysis of changes observed based on static methods that cannot be used for the traditional taxonomic approach. Functional traits relating to both seasonal succession and long-term trends allow conclusions to be drawn about key environmental factors. This expands the information available and the ability to interpret available data for use in real-world water management. These enhanced results can be achieved without additional effort. Causal analyses of significant long-term trends and rapid changes in phytoplankton trends are particularly interesting and can be placed in a causal and systematic relationship.

Key Words: taxonomy, phytoplankton, reservoir, analysis, algae, cyanobacteria

Einleitung

Das Phytoplankton (Algen und Cyanobakterien) ist die Basis der Nahrungsnetze unserer Binnengewässer. Seine Zusammensetzung und Häufigkeit wird deshalb im Rahmen des behördlichen Monitorings (z. B. im Sinne der EU-Wasserrahmenrichtli-

nie) und für wissenschaftliche Fragestellungen eingehend untersucht. Da es sich um stammesgeschichtlich sehr alte Organismen handelt (Cyanobakterien haben vor etwa 2,3 Mrd. Jahren die Erdatmosphäre mit Sauerstoff angereichert), ist die

Zahl der Taxa, die zum Phytoplankton gehören, sehr hoch. Im Zuge der Evolution haben sich immer wieder Phytoplankter aus unterschiedlichen Großgruppen (z. B. Grünalgen, Cryptomonaden, Goldalgen) in ähnliche Richtungen entwickelt. Sie ähneln sich in ihrem Habitus, tragen z. B. Flagellen oder bilden Kolonien, und besetzen daher auch ähnliche ökologische Nischen. Es ist häufig der Fall, dass im Plankton viele verschiedene Phytoplankton-Taxa gemeinsam auftreten und somit die taxonomische Diversität sehr hoch ist. Diese ungewöhnlich hohe Diversität im Phytoplankton inspirierte den berühmten Ökologen G. E. Hutchinson zur Formulierung des Paradoxons des Planktons [1]. Er warf die Frage auf, warum so viele Arten existieren können, obwohl doch alle um nur wenige Ressourcen konkurrieren, welche ihr Wachstum begrenzen können. Die im Paradoxon angesprochene taxonomische Diversität ist aber von der funktionalen Diversität zu unterscheiden. Letztere beschreibt die Mannigfaltigkeit der funktionalen Eigenschaften bzw. Lebensformtypen. Alle Arten, die zu einem Lebensformtypus, wie z. B. Stickstoff-Fixierer, gehören, haben die gleiche „Funktion“ im System und besetzen die gleiche oder zumindest eine ähnliche ökologische Nische. Eine hohe taxonomische Diversität ist nicht zwingend mit einer hohen funktionalen Diversität verbunden. Oft sind Artengemeinschaften sehr wohl auf ein verhältnismäßig enges funktionales Eigenschaftsspektrum optimiert, weisen aber trotz ihrer geringen funktionalen Diversität eine hohe taxonomische Diversität auf. In diesem Fall finden wir viele Arten mit einer ähnlichen ökologischen Strategie im Plankton. Es liegt auf der Hand, dass Planktologen deshalb großes Interesse haben, Phytoplankton-Gemeinschaften nicht nur taxonomisch zu beschreiben, sondern sie auch funktional zu charakterisieren.

Neben diesen wissenschaftlich angetriebenen Fragestellungen können funktionale Charakterisierungen der Artengemeinschaften auch für die Gewässerbewirtschaftung und die angewandte Limnologie wertvoll sein. Wir möchten in diesem Kontext drei Vorteile der funktionalen Klassifikation hervorheben:

- **Bioindikation und Zustandsbewertung:** Da die funktionalen Eigenschaften der Phytoplankton-Gemeinschaft aus der Anpassung an die steuernden Umwelteinflüsse resultieren, ist die funktionale Charakterisierung hervorragend zur Bioindikation geeignet. Das Bioindikationspotenzial geht über klassische Ansätze zur Trophieklassifikation oder Versauerung hinaus, denn es können auch Umweltfaktoren wie z. B. Fraßdruck und Lichtlimitation detektiert werden.
- **Ursachenidentifikation und Prozessanalyse:** Bei Veränderungen des ökologischen Zustandes des Gewässers geben Veränderungen in der funktionalen Zusammensetzung Hinweise auf die antreibenden Umweltfaktoren und kausalen Wirkungsketten.
- **Vorhersagbarkeit:** Während aggregierte Zustandsgrößen wie z. B. die Gesamtbiomasse des Phytoplanktons mittlerweile durch Seenmodelle einigermaßen befriedigend modelliert werden können, lässt sich die taxonomische Zusammensetzung notorisch schwer vorhersagen. Dem gegenüber ist die Vorhersage funktionaler Eigenschaften besser zugänglich. So ist bei abnehmender Lichtverfügbarkeit z. B. durch stärkere Durchmischung eine Zunahme von Arten zu erwarten, die an geringe Lichtintensitäten angepasst sind. Sie weisen einen steilen Anstieg ihrer Produktion (P) bei geringer Lichtintensität (I) auf (hohe Steigung der P-I-Kurve).

Funktionale Charakterisierungen umgehen somit das Problem des sogenannten Stellvertreterprinzips, welches besagt, dass zwei taxonomisch verschiedene Arten sich aufgrund sehr hoher funktionaler Ähnlichkeit gegenseitig ersetzen können.

Das Ziel dieser Arbeit ist (a) die Entwicklung eines übertragbaren Ansatzes zur funktionalen Charakterisierung von Phytoplankton-Gemeinschaften, (b) eine funktionale Charakterisierung der saisonalen Plankton-Sukzession in geschichteten Seen und (c) eine exemplarische Anwendung des funktionalen Ansatzes auf Langzeitbeobachtungen des Phytoplanktons in einem Gewässer, das in der Vergangenheit starke Veränderungen externer Einflussfaktoren und des ökologischen Zustandes erfahren hat.

Methodik und Datengrundlage

Zwei wesentliche methodische Voraussetzungen für diese Arbeit waren (i) eine Literaturstudie (Datensynthese), in der die funktionalen Eigenschaften möglichst vieler Phytoplankton-Arten zusammengetragen wurden und (ii) das Vorhandensein langjähriger und detaillierter Phytoplankton-Daten von einem limnologisch gut untersuchten Standgewässer.

Für die Datensynthese wurden funktionale Eigenschaften definiert, die sowohl morphologische (z. B. Zellgröße, Koloniebildung), physiologische (z. B. Stickstoff-Fixierung) als auch verhaltensbiologische Kriterien (z. B. Beweglichkeit, Taxis) beinhalten (*Tabelle 1*). Diese Eigenschaften werden unter Ökologen als „Traits“ bezeichnet und repräsentieren einen weitverbreiteten Ansatz, der zur Beschreibung von terrestrischen ebenso wie von aquatischen Systemen verwendet wird und gleichermaßen für Flora und Fauna anwendbar ist, sofern geeignete Trait-Definitionen vorliegen. Als Produkt der Datensynthese entstand ein Trait-Schlüssel. Er wurde genutzt, um die ökologischen Eigenschaften der über 100 Phytoplankton-Arten der Rappbode-Talsperre anhand der in *Tabelle 1* genannten Traits quantitativ zu beschreiben. Dieser Trait-Schlüssel ist ein Werkzeug, welches taxonomische Zugehörigkeit in funktionale Eigenschaften übersetzt. Da die Traits als numerische Variablen definiert werden, können analytische statistische Verfahren angewendet werden, die für taxonomisch ausgerichtete Daten nicht verfügbar sind und somit Trends, Verteilungen oder Brüche bestimmt werden. Für eine detaillierte Darstellung der Trait-Tabelle siehe [2].

Als Untersuchungsobjekt mit umfangreichen Untersuchungen zum Phytoplankton und einem soliden Langzeitmonitoring limnologischer Messgrößen wurde die Rappbode-Talsperre im Ostharz, Deutschlands größte Trinkwassertalsperre, ausgewählt. Für diese Talsperre liegen über mehr als 50 Jahre Beobachtungsdaten für das Phytoplankton sowie von grundlegenden limnologischen Messgrößen vor, z. B. Nährstoffe, pH-Wert, Sauerstoff und Temperatur [3]. Eine Besonderheit, die diesen Datensatz von anderen gut untersuchten Standgewässern in Deutschland unterscheidet (z. B. Bodensee), ist die tiefen aufgelöste Struktur der Daten, d. h. Proben wurden aus vielen unterschiedlichen Wassertiefen entnommen (in der Regel mindestens neun Tiefenstufen). Hinsichtlich der saisonalen Auflösung der Messgrößen erfolgten mindestens monatliche Probenahmen (Ausnahme: Winterverhältnisse, z. B. Eisbildung), über viele Jahre auch wöchentliche Beprobungen (Details siehe [2])

Traitname	Kategorie	Definition	Wertangabe
Zellgröße	Morphologisch	Volumen einer Einzelzelle	Numerisch (μm^3)
Fressbarkeit (für <i>Daphnia</i>)	Morphologisch & Verhalten	Konsumptionsrate durch <i>Daphnia</i> relativ zur Konsumption optimaler Beute	Numerisch im Intervall 0...1 (-)
Maximale Wachstumsrate	Physiologisch	Spezifische Wachstumsrate ohne Ressourcenlimitation oder Verluste	Numerisch (d^{-1})
Phosphataffinität	Physiologisch	Verhältnis von max. Wachstumsrate und Halbsättigungskonstante für P	Numerisch ($\text{L } \mu\text{mol}^{-1} \text{d}^{-1}$)
Lichtaffinität	Physiologisch	Initiale Steigung der P-I-Kurve	Numerisch ($\text{m}^2 \text{s d}^{-1} \mu\text{E}^{-1}$)
Mobilität	Morphologisch & Verhalten	Zelle durch Flagellum eigenbeweglich und zeigt Taxis (z. B. Phototaxis, Orientierung an Nährstoffgradienten)	Binär (0 od. 1)
Dichteregulation	Morphologisch & Verhalten	Aktive Dichteregulation und vertikale Positionierung durch Gasvakuolen	Binär (0 od. 1)
Mixotrophie	Physiologisch und Verhalten	Sowohl phototroph und heterotroph, Ingestion von Bakterien/Partikeln durch Phagotrophie	Binär (0 od. 1)
Si-abhängig	Physiologisch	Silikat-abhängiges Wachstum	Binär (0 od. 1)
N-Fixierung	Physiologisch	Nutzung von N_2 als Stickstoffquelle	Binär (0 od. 1)
Filamentös oder kolonial	Morphologisch	Zellen in Filamenten oder Kolonien	Binär (0 od. 1)

Tabelle 1: Beschreibung der Traits, d. h. der funktionalen Eigenschaften, im Phytoplankton, die in dieser Studie genutzt wurden. In Anlehnung an [3]; für weiterführende Details siehe [2]

Entwicklung einer „Trait“-basierten, funktionalen Charakterisierung für Phytoplankton

Für 131 Phytoplanktontaxa wurden die funktionalen Traits entsprechend Tabelle 1 durch numerische Werte definiert. Es ist wichtig zu verstehen, dass hierdurch ein vollständig quantitatives Bezugssystem entsteht, welches somit auch analytischen statistischen Verfahren zugänglich ist. Solche Traits, die durch „Ja“ oder „Nein“ charakterisiert werden, z. B. die Fähigkeit zur Stickstoff-Fixierung, werden durch eine binäre Variable (1 = ja, 0 = nein) dargestellt. Die quantitative Struktur dieser Charakterisierung ist ein entscheidender Fortschritt gegenüber früheren funktionalen Charakterisierungen, die eher auf Gruppierung ähnlicher Arten basierten und eine verbale Beschreibung dieser Artengemeinschaften bereitstellten [5], vergleichbar zur Pflanzensoziologie in der Botanik, gleichwohl diese Arbeiten selbstverständlich als wichtige Grundlagen für die Entwicklung quantitativer Konzepte gelten.

Im Trait-Schlüssel darf es keine Fehlwerte geben und jeder Trait muss für jede Art belegt werden. Dies ist bei den morphologischen oder verhaltensbiologischen Traits einfach, bei den physiologischen hingegen oft schwierig. So bedarf die Bestimmung z. B. der Phosphoraffinität oder Lichtaffinität aufwändiger Laborversuche, die nicht für alle 131 Taxa vorliegen. Dieses alte Problem in der funktionalen Charakterisierung wurde schließlich durch einen neuen Ansatz gelöst, welcher anhand der genetischen Verwandtschaft und durch allometrische Korrelation die benötigten Trait-Werte theoretisch herleitet [6]. Hierdurch können vorhandene Lücken im Trait-Schlüssel geschlossen werden. Für weitere Details der Entwicklung des Trait-Schlüssels siehe [2].

Traits können nicht beliebig in einer Phytoplankton-Art kombiniert werden. Die Verteilung der Traits über die taxonomischen Gruppen unterliegt physiologischen Zwängen. So wurde z. B. die Stickstoff-Fixierung lediglich innerhalb der Cyanobakterien evolviert; keine andere Algengruppe verfügt über

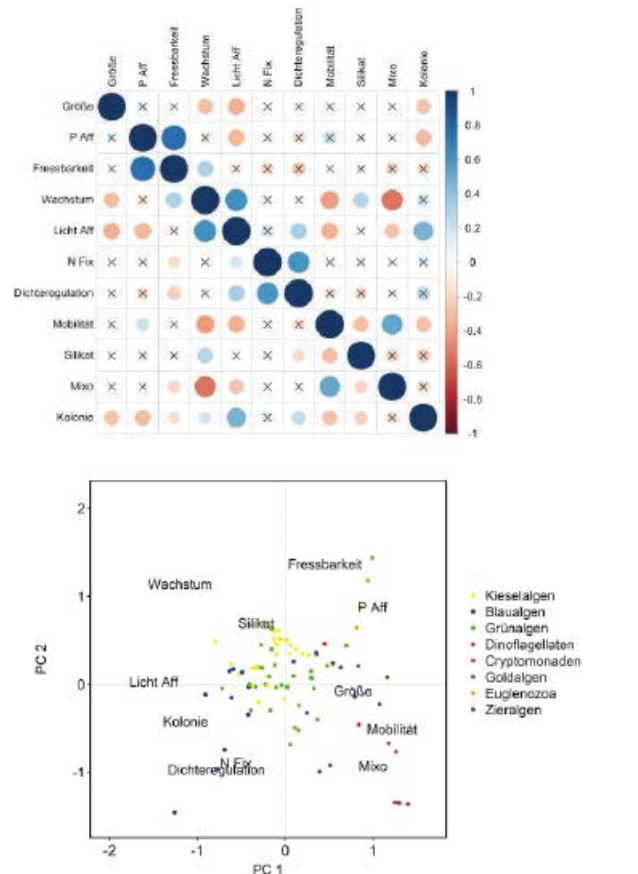


Abb. 1: Oben: Korrelationsmatrix der verwendeten Traits für alle Phytoplankton-Arten im Trait-Schlüssel ($n = 131$). Nicht-signifikante Korrelationen sind durch ein x markiert, die Stärke der Korrelation ist durch die Farbskala repräsentiert. Unten: Ergebnisse einer Hauptkomponentenanalyse (PCA) für die im Trait-Schlüssel enthaltenen 131 Arten für die ersten beiden Hauptkomponenten. Verändert aus [2]

das dafür notwendige genetische Repertoire. Kleinzellige Arten erreichen höhere Wachstumsraten, aber hohe Wachstumsraten treten nicht zusammen mit Mixotrophie auf. Hierdurch entstehen sogenannte Trade-offs, d. h. Kosten-Nutzen-Antagonismen. Einen Überblick über die Verteilung der Traits und die auftretenden Korrelationen ist in Abbildung 1 zu sehen. In der Hauptkomponentenanalyse zeigen sich ebenfalls die wichtigsten Trade-offs sowie auch entsprechende positive Assoziationen, z. B. Stickstofffixierung und Auftriebsregulation – beides Eigenschaften, die ausschließlich in Cyanobakterien auftreten. Schließlich zeigt sich auch, dass die taxonomische Zugehörigkeit zu einer bestimmten Großgruppe keine gute Vorhersage für deren funktionale Eigenschaften (Traits) ermöglicht. Die größte funktionale Diversität ist bei den Grünalgen festzustellen, welche bekanntermaßen auch die entscheidenden Schritte in der Evolution realisierten, um das Land zu erobern.

Saisonale Entwicklungen und Planktonsukzession

Die zeitliche Abfolge von Arten innerhalb eines Habitats und die sich daraus ergebende Dynamik der Artengemeinschaft wird als Sukzession bezeichnet. Planktische Lebensgemeinschaften zeichnen sich dadurch aus, dass sich Sukzessionsmuster jährlich wiederholen und sich somit im Vergleich zu anderen Ökosystemen verhältnismäßig stabile bzw. typische saisonale Sukzessionsmuster ergeben. Eine axiomatische, verbalisierte Beschreibung dieser Sukzessionsmuster ist im sogenannten „PEG-Modell“ beschrieben [7]. Durch eine Aggregation der Langzeitdaten auf tiefen-spezifische Monatsmittelwerte ließen sich saisonale Muster in der Rappbode-Talsperre gut in Form von sogenannten „Heatmaps“ darstellen (Abbildung 2). Zur Charakterisierung der Saisonalität eignet sich die Wassertemperatur. Die Rappbode-Talsperre ist im Mittel von Mai bis Oktober geschichtet und erreicht Oberflächentemperaturen von rund 20 °C, während das tiefe Hypolimnion Temperaturen um 6 °C aufweist (Abbildung 2a). In der ersten Jahreshälfte dominieren schnellwüchsige Arten, die eine hohe maxi-

male Wachstumsrate aufweisen (Abbildung 2b) und durch eine hohe Lichtaffinität (Abbildung 2c) sowie eine geringe Phosphoraffinität (Abbildung 2d) charakterisiert sind. Diese Artengemeinschaften repräsentieren Pioniergesellschaften, die schnell eine hohe Biomasse aufbauen, aber konkurrenzschwach sind und sich schlecht gegen Fraßdruck durch Räuber zur Wehr setzen können. Im Hochsommer dominieren dann Taxa vor allem im Epilimnion, die zwar langsam, aber mit geringeren Nährstoff-Konzentrationen wachsen können. Das zeigt sich in einer höheren Phosphoraffinität, während die Lichtaffinität und die maximalen Wachstumsraten der beteiligten Arten geringer sind. Die starke Musterbildung, die in Abbildung 2 zum Vorschein kommt und auch bei anderen funktionalen Eigenschaften sichtbar ist [2], verdeutlicht die außergewöhnlich hohe inter-annuelle Kongruenz in der Sukzession funktionaler Eigenschaften im Phytoplankton.

Langfristige Entwicklungen und Reaktion auf Umweltveränderungen

Durch ein verbessertes Abwassermanagement und die Einführung Phosphat-freier Waschmittel hatte sich die Nährstoffbelastung der Rappbode-Talsperre nach der politischen Wende stark vermindert (Abbildung 3). Die Talsperre wechselte vom eutrophen (Zeitraum 1970-1990, Gesamtphosphor ca. 0,15 mg L⁻¹) in den meso-/oligotrophen Zustand (Zeitraum 1996-2016, Gesamtphosphor < 0,02 mg L⁻¹). Mit der Reduktion des Gesamtphosphors verminderte sich ganzjährig auch die Verfügbarkeit des gelösten reaktiven Phosphors (SRP) (Abbildung 3).

Diese starke und zudem außergewöhnlich abrupte Veränderung der Trophie des Gewässers ließ erwarten, dass sich die funktionellen Eigenschaften der Phytoplanktongemeinschaften ebenfalls ändern. Die Überprüfung dieser Erwartung stellt einen gut geeigneten Anwendungsfall für die funktionelle Charakterisierung dar, um die Sensitivität dieses ökologisch-basierenden Klassifikationsansatzes zu testen.

Aufgrund der relativ hohen Phosphorversorgung in der eutrophen Phase ist das Phytoplankton im Frühjahr nur mit einer geringen Phosphoraffinität ausgestattet (Abbildung 4). Die Ressource Phosphor ist zu diesem Zeitpunkt noch kein limitierender Faktor, sondern die Organismen konkurrieren vielmehr um Licht (geringe mittlere Lichtintensität durch Durchmischung und Selbstbeschattung) und sind deshalb mit hohen

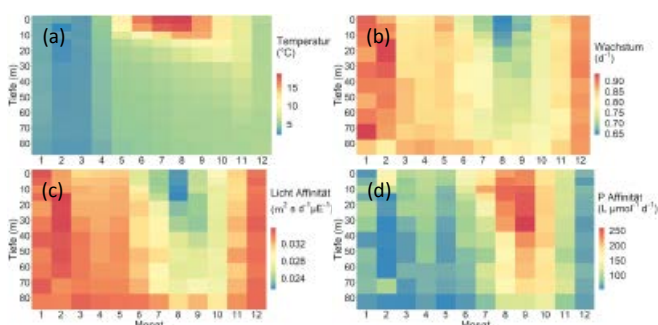


Abb. 2: Darstellung saisonaler Muster in sogenannten Heatmaps. In jeder Abbildung wird der saisonale Verlauf als Monatswert (x-Achse) gegen die Tiefe (y-Achse) dargestellt und der Wert der betreffenden Variablen ist farblich (Legende jeweils am rechten Rand) visualisiert. (a) Für eine bessere Interpretation und Zuordnung der räumlich-zeitlichen Verteilung der funktionalen Traits über die Saison ist die Temperatur als abiotischer Umweltfaktor dargestellt. In der Darstellung der (b) maximalen Wachstumsrate, (c) Lichtaffinität, und (d) Phosphataffinität sind typische Veränderungen der funktionalen Eigenschaften vom Frühjahr zum Sommer zu erkennen.

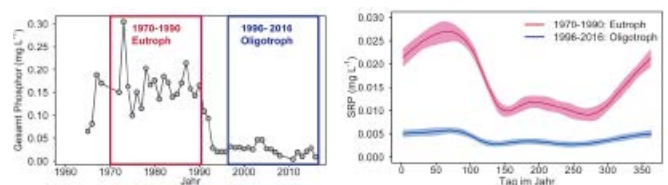


Abb. 3: Links: Gesamtposphorkonzentration während der Vollzirkulation in der Rappbode-Talsperre für den Zeitraum 1960–2019. Rechts: Saisonaler Verlauf des gelösten reaktiven Phosphors (SRP, entspricht dem Algen-verfügbaren P) für den eutrophen und oligotrophen Zeitraum (geglätteter Verlauf, der durch ein zyklisches GAM, Generalized Additive Model, mit Tagesnummer als unabhängige Variable statistisch errechnet wurde). Die Linien zeigen Mittelwerte ± Vertrauensbereiche für die eutrophe (rot) und mesotrophe/oligotrophe (blau) Phase.

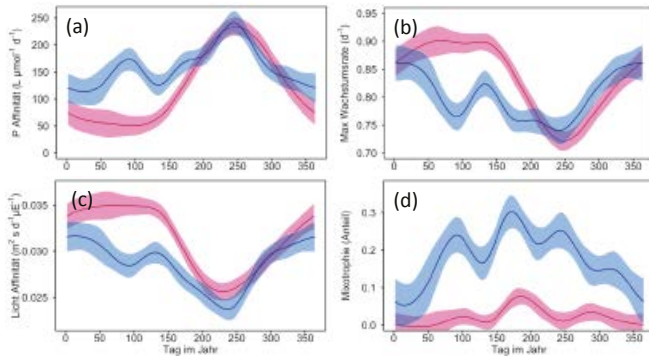


Abbildung 4 Saisonale Verläufe ausgewählter funktionaler Eigenschaften des Phytoplanktons für die eutrophe und oligotrophe Phase (geglätteter Verlauf, der durch ein zyklisches GAM mit Tagesnummer als unabhängige Variable statistisch errechnet wurde). Für eine Erläuterung der funktionalen Eigenschaften siehe Tabelle 1. (a) Phosphataffinität, (b) maximale Wachstumsrate, (c) Lichtaffinität, (d) Mixotrophie.

Lichtaffinitäten ausgestattet. Die Frühjahrgemeinschaft besteht aus Taxa, die eine hohe maximale Wachstumsrate aufweisen. Es setzen sich Taxa durch, welche die vorhandenen Ressourcen schnell in Biomasse umsetzen können (r-Strategen). Im Sommer werden die Nährstoffressourcen knapper. Das verursacht eine funktionale Neuausrichtung der Gemeinschaft auf Arten mit hoher Phosphoraffinität (Abbildung 4). Diese starken Konkurrenten um die Ressource Phosphor sind durch eine schlechte Lichtverwertung und geringere maximale Wachstumsraten gekennzeichnet (K-Strategen). Im Zuge der einsetzenden Herbstzirkulation werden Nährstoffe aus dem Hypolimnion wieder eingemischt und verfügbar. Die funktionale Ausrichtung des Sommer-Phytoplanktons verschwindet und kehrt zu einem Zustand zurück, der dem des Frühjahrs gleicht.

In der oligotrophen Phase ab 1996 zeigen sich deutliche Veränderungen in der funktionalen Ausrichtung der Gemeinschaft, die allesamt mit der nun geringeren Nährstoffkonzentration und einer damit einhergehenden Phosphorlimitation im Zusammenhang stehen. Bereits die Frühjahres-Gemeinschaft ist durch eine hohe P-Affinität charakterisiert (Abbildung 4). Die P-Affinität steigert sich zwar nochmal im Sommer, bleibt aber ganzjährig auf hohem Niveau. Dementsprechend dominieren in der gesamten Vegetationsperiode Arten mit geringer maximaler Wachstumsrate und geringer Lichtaffinität, die lediglich im Winter von schneller wachsenden Arten mit effizienterer Lichtausnutzung abgelöst werden. Die stärkste Änderung zeigt der Trait „Mixotrophie“. Er charakterisiert Algen, die Photosynthese betreiben und zusätzlich Bakterien aufnehmen können. In der oligotrophen Phase sind während der Vegetationsperiode nahezu 30 % der Phytoplankter mit diesem Trait ausgestattet (Abbildung 4). In der eutrophen Phase war diese Eigenschaft marginal. Es ist belegt, dass die Mixotrophie einen großen Konkurrenzvorteil unter P-limitierenden Bedingungen darstellt, da mit der Ingestion von Bakterien Phosphor assimiliert wird und für das Wachstum zur Verfügung steht. Auch andere Traits gewinnen oder verlieren an Bedeutung, so nimmt die im Sommer unter eutrophen Bedingungen ausgeprägte Fähigkeit zur Stickstoff-Fixierung unter oligotrophen Bedingungen ab. Für weitere Veränderungen der Gemeinschaft und ihrer funktionalen Eigenschaften siehe [2].



Abb. 5: Vergleichende Darstellung (eutrophe Phase und meso-/oligotrophe Phase) der elf funktionalen Traits zwischen Frühjahr (links) und Sommer (rechts) in Form von sogenannten Netzdiagrammen.

Insgesamt wird deutlich, dass sich die Algengemeinschaft auf veränderte Umweltbedingungen funktional neu ausrichtet, in diesem Beispiel auf die Veränderung der Nährstoffversorgung. In weniger gut untersuchten Gewässern können solche Reaktionen der funktionalen Ausrichtung genutzt werden, um Systemänderungen nicht nur detektieren, sondern auch in einem kausalen Zusammenhang interpretiert werden zu können. Dies ist insbesondere der Fall, wenn auch saisonale, d. h. intra-annuelle, Veränderungen aufgelöst und Veränderungen in der Planktonsukszession erkennbar werden. Diese intra-annualen Veränderungen sind auch in der Rappbode-Talsperre stark ausgeprägt. Eine vergleichende Betrachtung der funktionalen Zusammensetzung zwischen der eutrophen und meso-/oligotrophen Phase im Frühjahr und Sommer zeigt dies sehr deutlich (Abbildung 5).

Bei der Qualitätsüberwachung und im Management der Gewässer spielt das Phytoplankton eine zentrale Rolle. Dies wird auch in der aktuellen behördlichen Praxis entsprechend der

Anzeige

Unser Expertentipp



Kurs mit Zertifikat

Gewässerstruktur-Kartierkurs
23.-25. August 2021 in Siegburg
680,00 € / 570,00 €**



DWA-M 600

Begriffe aus Gewässerunterhaltung und Gewässerentwicklung
Juni 2018
126 Seiten, A4
ISBN Print: 978-3-88721-598-9
ISBN E-Book: 978-3-88721-599-6
114,50 € / 91,60 €*



DWA-M 611

Fluss und Landschaft - Ökologische Entwicklungskonzepte
Februar 2013; auf Aktualität geprüft 2017
238 Seiten, A4
ISBN: 978-3-941089-28-0
100,00 € / 80,00 €*

*! für fördernde DWA-Mitglieder
**! für DWA-Mitglieder

EU-Wasserrahmenrichtlinie [8] umgesetzt. Die zentrale Stellung des Phytoplanktons ist berechtigt, denn es bildet die Grundlage des Nahrungsnetzes. Das Phytoplankton ist primärer Symptomträger der Eutrophierung. Bei hoher Produktivität und/oder spezieller taxonomischer Komposition (z. B. toxische Cyanobakterien) kann es zu erheblichen Nutzungseinschränkungen kommen. Das bioindikative Potenzial des taxonomisch ausgerichteten Phytoplankton-Monitorings ließe sich aber in der Praxis mit wenig Aufwand steigern, wenn funktionale Eigenschaften berücksichtigt würden. Dies ist einfach umsetzbar, denn mittels des Trait-Schlüssels können taxonomische Informationen in funktionale Informationen übersetzt werden. Eine Integration funktionaler Aspekte in das Phytoplankton ist möglicherweise eine sinnvolle Erweiterung der bestehenden Praxis und sollte von wissenschaftlicher Seite weiterentwickelt und von behördlicher Seite geprüft werden.

Fazit

Die Charakterisierung und Quantifizierung des Phytoplanktons ist ein wesentlicher Aspekt bei der Gütebeurteilung von Standgewässern. Die funktionale Charakterisierung bietet einen aussagekräftigen Ansatz zur Interpretation der ökologisch wirksamen Umweltfaktoren. Dies beinhaltet folgende Vorteile:

- Der funktionale Ansatz ist quantitativ und erlaubt die Verwendung der vollen Bandbreite statistischer Auswertungsmethoden. Hierdurch können Veränderungen und Muster besser detektiert werden.
- Die funktionalen Eigenschaften (Traits) erlauben die Identifikation der dominierenden Treiber bzw. der relevanten Umweltfaktoren, ob z. B. die Gemeinschaft aktuell Nährstoff- oder Licht-limitiert ist. Auch eine Beurteilung des Sukzessionsstadiums ist möglich (frühe Phase und Dominanz von r-Strategen vs. späte Phase und Dominanz von K-Strategen).
- Der Trait-Ansatz ergänzt somit die taxonomische Charakterisierung des Phytoplanktons im Sinne der WRRL. Durch den Trait-Schlüssel können taxonomische Einheiten in funktionale Charakterisierungen übersetzt werden.
- Bei Veränderungen innerhalb der Artengemeinschaft erlauben funktionale Charakterisierungen Rückschlüsse auf die verursachenden Umweltfaktoren und daher eine neue Form der Bioindikation.
- Bei der Verwendung funktioneller Ansätze zeigen sich klare Musterbildung (z. B. saisonale Sukzession) und Reaktivität auf Veränderungen im Ökosystem. Dies eröffnet neue Möglichkeiten, um Verbesserungen bezüglich der Vorhersagbarkeit der Dynamik von Phytoplanktongemeinschaften zu erreichen.

Dank

Wir bedanken uns bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Förderung im Rahmen des Schwerpunktprogramms DYNATRAIT (SPP1704) unter den Förderkennzahlen JA 2146/2-1 und RI2040/2-1. Für die Bereitstellung von Monitoringdaten der Rappbode-Talsperre danken wir dem Talsperrenbetrieb Sachsen-Anhalt AöR und der Fernwasserversorgung Elbaue-Ostharz GmbH. Für die Unterstützung bei der Erarbeitung der Trait-Schlüssel danken wir Dr. Jorn Bruggeman

vom Plymouth Marine Lab. Die dargestellten Ergebnisse basieren auf der Veröffentlichung von Wentzky et al. [2]

Literatur

- [1] Hutchinson, G. E. (1961). *The paradox of the plankton*. The American Naturalist 95, S. 137-145
- [2] Wentzky, V. C., Tittel, J., Jäger, C. G., Bruggeman, J., Rinke, K. (2020). *Seasonal succession of functional traits in phytoplankton communities and their interaction with trophic state*. Journal of Ecology 108, S. 1649-1663
- [3] Wentzky, V. C., Tittel, J., Jäger, C. G., Rinke, K. (2018). *Mechanisms preventing a decrease in phytoplankton biomass after phosphorus reductions in a German drinking water reservoir—results from more than 50 years of observation*. Freshwater Biology 63, S. 1063-1076
- [4] Reynolds, C., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L., Melo, S. (2002). *Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton*. Journal of Plankton Research 24, S. 417-428
- [4] Reynolds, C., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L., Melo, S. (2002). *Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton*. Journal of Plankton Research 24, S. 417-428
- [5] Bruggeman, J. (2011). *A phylogenetic approach to the estimation of phytoplankton traits*. Journal of Phycology 47, S. 52-65.
- [6] Sommer, U., Gliwicz, Z., Lampert, W., Duncan, A. (1986). *The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in freshwaters*. Archiv für Hydrobiologie 106, S. 433-471
- [7] Europäische Union (2000). *Richtlinie 2000/60/EG zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Wasser-Rahmenrichtlinie – WRRL)*

Autor*innen

Dr. Valerie Wentzky

Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume
des Landes Schleswig-Holstein
Abteilung Gewässer, Dezernat Seen
Hamburger Chaussee 2
24220 Flintbek

E-Mail: v.wentzky@gmail.com

Dr. Karsten Rinke

Dr. Jörg Tittel
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH
UFZ, Department Seenforschung
Brückstraße 3a
39114 Magdeburg

Prof. Dr. Dietrich Borhardt

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH
UFZ, Department Aquatische Ökosystemanalyse
Brückstraße 3a
39114 Magdeburg

Dr. Christoph Jäger

Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstraße 1
83024 Rosenheim

Dr. Jan Donner

Fernwasserversorgung Elbaue-Ostharz GmbH
Wasserwerk Wienrode
Werkstraße 1
38889 Wienrode

