



Bayerisches Landesamt
für Wasserwirtschaft

A large, stylized blue wave graphic that curves from the bottom left towards the top right, partially obscuring the title and footer text.

Ökologische Typisierung des Phytoplanktons

Informationsberichte Heft 3/05

Ökologische Typisierung des Phytoplanktons

Informationsbericht des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft – ISSN 0176-4217

Heft 3/05

München, 2005 – ISBN 3-937911-04-9

61 Seiten, 12 Abbildungen, 18 Tabellen

Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Lazarettstraße 67, D-80636 München,
eine Behörde im Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt,
Gesundheit und Verbraucherschutz

Autoren: Dr. Jochen Schaumburg, LfW
Dipl.-Biol. Manfred Colling, Unterschleißheim
Dipl.-Ing. Ilona Schlößer, LfW
Dipl.-Biol. Bärbel Köpf, LfW
Dr. Folker Fischer, LfW

Layout, Redaktion: Dipl.-Biol. Friederike Bleckmann, LfW

Nachdruck und Wiedergabe – auch auszugsweise – nur mit Genehmigung des Herausgebers

Vorwort

Ökologische Gewässerbewertungen basieren auf der Messung chemisch-physikalischer Umweltbedingungen und vor allem auf der Interpretation des Vorkommens von Gewässerorganismen. Das langjährig eingeführte und damit bekannteste Beispiel ist die Beschreibung der Sauerstoffzehrenden organischen Fließgewässerbelastung durch das Saprobien-system.

Das Erfordernis, die vorkommenden Arten anhand ihrer ökologischen Präferenzen differenzierter bewerten und damit die Gewässerverhältnisse besser beschreiben und bewerten zu können, ist stetig gestiegen. Die Bewertungsverfahren sind daher ständig weiter zu entwickeln. Zudem verlangt die Einführung der EG-Wasserrahmenrichtlinie künftig Gewässerbewertungen in erster Linie auf ökologischer Grundlage, so dass den Bewertungsverfahren heute eine noch höhere Bedeutung zukommt.

Das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft hat diesen Erfordernissen Rechnung getragen, indem seit mehreren Jahren die autökologischen Erkenntnisse zu den in unseren Gewässern vorkommenden Arten in Datenbanken gesammelt wurden, um mit Hilfe dieser Datenbasis bestehende Bewertungsverfahren weiter zu entwickeln.

In logischer Folge erscheint nach den Arbeiten zur ökologischen Typisierung der aquatischen Makrofauna (Informationsbericht 4/96) und zur Trophie-Kartierung von aufwuchs- und makrophyten-dominierten Fließgewässern (Informationsbericht 4/98) mit dem jetzt vorgelegten Bericht die ökologische Typisierung von Phytoplankton mit der dazugehörigen Datenbank sowie Anwendungsbeispielen aus der Praxis. Damit sind die Grundlagen für neue ökologische Bewertungsverfahren für wesentliche für die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie bedeutsamen Organismengruppen geschaffen.

Wir wünschen den im angewandten Gewässermonitoring tätigen Fachleuten, dass diese Grundlagen sie in ihrer täglichen Arbeit weitreichend unterstützen können. Wir würden uns freuen, wenn wir auch mit dieser Veröffentlichung einen weiteren Beitrag zur ökologischen Bewertungen der Gewässer leisten können.

Den Autoren dieser sehr mühevollen Entwicklungsarbeit sei ein besonderer Dank ausgesprochen.

München im Juli 2005

i. A.



Dipl.-Ing. M. Becker
Vizepräsident

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	7
1 Einleitung	9
1.1 Gewässerbewertung durch Phytoplankton-Untersuchungen	9
1.2 Ziel der Bearbeitung	10
2 Ausgangssituation	11
2.1 Phytoplankton-Befunde bayerischer Gewässer	11
2.2 Taxonomisch-systematische Grundlagen	12
3 Literaturdatenbank Phytoplankton	13
3.1 Vorgehensweise	13
3.2 Struktur der Literaturdatenbank	14
3.3 Repräsentanz der verschiedenen Algentaxa und -gruppen	15
4 Ökologische Typisierung der Taxa	17
4.1 Aufbau des Einstufungskatalogs	17
4.2 Gruppen- bzw. artspezifische Betrachtung der trophischen Valenzen	19
5 Auswertung der Phytoplankton-Befunde	21
5.1 Anwendung des Einstufungskataloges	21
5.2 Seen-Typisierung unter Berücksichtigung der Trophie	22
5.2.1 Verfahrensansatz	23
5.2.2 Datengrundlage	24
5.2.3 Gesamtbiomassen und Verteilung der Algenklassen	28
5.2.4 Anteile Trophie anzeigender Taxa	30
5.2.5 Typisierung der Seen auf der Basis von Trophie-Indikatoren unter Berücksichtigung der Biomasse	39
5.3 Diskussion der Typisierungsverfahren	54
6 Ausblick	57
7 Literatur	59
Anhang	

Zusammenfassung

Für die Bewertung des Phytoplanktons in der wasserwirtschaftlichen Routine existiert bisher kein einheitliches Verfahren für Deutschland. Die Schaffung fachlicher Grundlagen ist aber von besonderem Interesse, da die EG-Wasserrahmenrichtlinie eine ökologische Bewertung dieser Organismengruppe vorsieht. Aber auch über diese Richtlinie hinaus bestand bislang ein Defizit, sobald erhobene Planktondaten qualifiziert bewertet werden mussten, z. B. für Aussagen zum trophischen Gewässerzustand. Ziel dieser Arbeit ist die Schaffung solcher Bewertungsgrundlagen und ihre exemplarische Anwendung für die trophische Seenbewertung.

Ausgangsbasis ist das Ergebnis der Auswertung einer Literaturstudie zu ökologischen Eigenschaften von Phytoplankton-Taxa. Auf der Grundlage der „Taxaliste der Gewässerorganismen Deutschlands zur Kodierung biologischer Befunde“ (MAUCH et al. 2003), herausgegeben vom Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft, wurde eine Zitate-Datenbank erstellt, in der sämtliche Originalzitate ($N > 4000$) zu autökologischen Angaben der untersuchten Taxa ($N > 1000$ Taxa) und die durchsuchte Literatur zusammengestellt sind. Die Informationen dieser Datenbank wurden dann – soweit möglich – zu einer Tabelle zur Autökologie der Taxa aggregiert, sodass damit eine komprimierte Information zur Indikation von Phytoplankton-Organismen, eine ökologische Typisierung, vorliegt.

Auf dieser neuen Grundlage wurden am Beispiel der Information „Trophie“ die Planktondaten aus 40 bayerischen Seen von über 20 Untersuchungsjahren ausgewertet. In einem kombinierten Ansatz wurden herkömmliche Trophie-Informationen zu den Seen mit dem Spektrum jeweils gefundener Taxa sowie deren ökologischer – in diesem Fall trophischer – Aussage in Verbindung gebracht und anhand der autökologischen Informationen gruppiert. Die Aussagen wurden mit Hilfe verschiedener statistischer Verfahren überprüft und interpretiert. Als weiteres Bewertungsinstrument wurde ein Trophie-Index auf der Basis des Phytoplanktons entwickelt.

Die gefundenen Seegruppierungen auf der Basis des Phytoplanktons als Kombination aus Biomasse und trophischer Indikation entsprechen nur teilweise den abiotischen Seetypen für die Ökoregion Alpen/Voralpen nach MATHES et al. (2002). Für die Gruppierung der Seen (= biozönotische Typologie) ist die Trophie offensichtlich relevanter als die abiotischen Kriterien der genannten Typologie. Palaeolimnologische Studien an bayerischen Seen aller LAWA-Typen unterstützen diese Aussage. In den Tiefensedimenten aller bisher untersuchten Seen finden sich ähnliche Kieselalgen-Zönosen, die überwiegend oligotrophe Verhältnisse beschreiben (z. B. HOFMANN & SCHAUMBURG 2005).

Die erzielten Ergebnisse sind eine wertvolle Grundlage für die Diskussion um eine ökologische Gewässerbewertung auf der Basis des Phytoplanktons nach Wasserrahmenrichtlinie. Vor allem für die Ökoregion Alpen/Voralpen können diese Erkenntnisse bei der Entwicklung des bundesweiten Bewertungsverfahrens genutzt werden.

Die Literaturdatenbank „Phytoplankton“, einen darauf basierenden Autökologie-Einstufungskatalog (siehe Kapitel 4.1) sowie dieses Dokument als pdf finden Sie auf der Homepage des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft (ab 1.8.2005: Bayerisches Landesamt für Umwelt) im Downloadcenter.

1 Einleitung

1.1 Gewässerbewertung durch Phytoplankton-Untersuchungen

Algen stellen die wichtigste Gruppe der Primärproduzenten in Süßwasser-Lebensräumen und die Basis der dortigen Nahrungskette dar. Ganz oder teilweise planktisch lebende Algen bilden dabei wiederum eine ökologisch sehr bedeutende Untergruppe. Ihre Vertreter entstammen hauptsächlich den Blaualgen (Cyanophyceae), Grünalgen (Chlorophyceae), Kieselalgen (Bacillariophyceae) und verschiedenen Flagellaten (Dinophyceae, Euglenophyceae). Die qualitative und quantitative Zusammensetzung des Phytoplanktons variiert mit den chemisch-physikalischen Bedingungen der Gewässer sowie im Jahresverlauf. Je nach Ausprägung ökologisch relevanter Parameter – wie Gewässermorphologie, pH, Sauerstoffsättigung, Kalkgehalt, Nährstoffsituation etc. – stellen sich charakteristische, indikative Lebensgemeinschaften von Planktonalgen ein. Umgekehrt wirken sich die Algen über ihre Produktion sowie deren Abbau und ihren Verbrauch an Nährstoffen wiederum entscheidend auf das Gewässerökosystem aus. Weil das Phytoplankton auch Nahrungsbasis vieler Konsumenten ist, ergibt sich auch eine entsprechende ökonomische Bedeutung dieser Organismengruppe.

Bereits seit dem 19ten Jahrhundert werden Phytoplankton-Arten und -gemeinschaften als Anzeiger für bestimmte Gewässerbedingungen herangezogen, insbesondere die saprobielle Gewässergüte und den trophischen Zustand der Gewässer. Entwickelt wurden zahlreiche Bewertungsansätze, bei denen konkrete Arten oder Gesellschaften, die relativen Verhältnisse von Algengruppen zueinander sowie aggregierte Werte wie Gesamtbiomassen oder Biomassen bestimmter Algengruppen als Grundlage dienen (vgl. KNOPF et al. 2000). Auch in Bewertungs- und Beurteilungssystemen, die als Kriterium Chlorophyll-a-Gehalte heranziehen ist das Phytoplankton der bestimmende Faktor.

Mangels geeigneter Bewertungsverfahren für Phytoplankton in Deutschland wurde und wird häufig die Chlorophyll-a-Konzentration als bestimmende Trophie-Bewertungsgröße, z. T. in Kombination mit der Sichttiefe sowie Trophie-relevanten Kriterien wie z. B. der Phosphorkonzentration, verwendet (VOLLENWEIDER 1968, 1979, 1980, LAWA 1999, 2001, 2003). Obwohl diese Vorgehensweise für viele praktische Erfordernisse ausreichend ist, birgt sie auch einige Nachteile und Unsicherheiten. Der Anteil des Chlorophyll a an der Phytoplankton-Biomasse schwankt je nach Planktonzusammensetzung, Alter und physiologischem Zustand der Algenzellen und ist daher nur ein sehr grobes Maß für die Biomasse. Die Chlorophyll-a-Analyse-Methode ist trotz bestehender Norm fehleranfällig, sodass wiederholt streuende, schwer vergleichbare Messwerte produziert werden. Und schließlich gibt die mit Chlorophyll a ermittelte Biomasse keine Auskunft über die Zusammensetzung der Planktonbiozönose. Eine Veränderung des Spektrums indikativer Taxa dieser Biozönose kann jedoch trotz gleich bleibender Biomasse wertvolle Hinweise auf stattfindende trophische Veränderungen liefern (KÜMMERLIN 1996).

Mit der Einführung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, EG 2000) im Herbst 2000 sind neue gesetzliche Erfordernisse für standardisierte Bewertungen der Qualität oberirdischer Gewässer entstanden. Eine gewässertypbezogene ökologische Bewertung, basierend auf den vier biologischen Qualitätskomponenten „Phytoplankton“, „Makrophyten & Phytobenthos“, „Makrozoobenthos“ und „Fische“, ist durchzuführen. Dabei soll die Abweichung der Artenzusammensetzung und Abundanz dieser Komponenten von definierten Referenzzönosen bewertet werden.

Das Phytoplankton ist somit nicht nur eine wichtige Organismengruppe zur Bewertung der Trophie sondern wird darüber hinaus eine wesentliche Komponente der künftigen Gewässerbewertung gemäß WRRL sein.

1.2 Ziel der Bearbeitung

Ökologische Bewertungen sind nur möglich, wenn ausreichend Informationen über die Lebensansprüche der zu bewertenden Biozönosen vorliegen und auch verfügbar sind. Das heißt, ein schneller Zugriff auf die wichtigsten, die Habitatansprüche der Arten charakterisierenden Parameter ist unabdingbar. Solche autökologischen Daten liegen – wenn überhaupt – meist weit verstreut in der internationalen Fachliteratur vor. Ein schneller Zugriff ist damit sehr erschwert bis unmöglich.

Zunächst war es daher erforderlich, als Grundlage für eine ökologische Gewässerbeurteilung die in der Fachliteratur vorhandenen ökologischen Angaben zu den jeweiligen Phytoplankton-Organismen mit Hilfe einer Literaturrecherche zu sammeln und in einer Datenbank zusammenzutragen. In einem zweiten Schritt mussten – soweit möglich – abweichende Angaben verschiedener Autoren abgeglichen werden. Der Aufbau dieser Literaturdatenbank bzw. eines daraus resultierenden tabellarischen Katalogs der ökologischen Eigenschaften der Taxa (Kap. 3) stellt einen Schwerpunkt der hier vorgestellten Arbeiten zur Typisierung des Phytoplanktons dar. Als erste Anwendung dieser neuen Bewertungsgrundlage wird die Indikatoreigenschaft „Trophie“ der behandelten Taxa genutzt, um einen kombinierten Bewertungsansatz für Seen zu entwickeln. Daneben werden verschiedene kombinierbare Ansätze für die Verwendung dieser Grundlagendaten sowie weiterer Phytoplanktonparameter (Gesamtbiomassen, gruppenspezifische Biomassen, saisonale Sukzessionsmuster) zur Interpretation von Phytoplankton-Befunden in der wasserwirtschaftlichen Praxis vorgestellt.

Die Ziele dieser Bearbeitung lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Bereitstellen einer autökologischen Datenbasis für Phytoplankton
- Schaffung einer ökologischen Bewertungsgrundlage
- Vorschlag einer Seentypisierung auf der Basis von Phytoplanktondaten
- Schaffung einer Grundlage für die Phytoplankton-Bewertung zur Umsetzung der WRRL

2 Ausgangssituation

2.1 Phytoplankton-Befunde bayerischer Gewässer

Die bayerische Wasserwirtschaftsverwaltung führt seit 1980 im Rahmen der technischen Gewässer-aufsicht Untersuchungen des Phytoplanktons der bayerischen Seen durch (Abb. 1). Der Schwerpunkt lag bei den natürlichen Alpen- und Voralpenseen Südbayerns (derzeit 32) sowie wasserwirtschaftlich bedeutsamen künstlichen Seen (Trinkwassertalsperren, Speicherseen). Die Seen werden regelmäßig alle sechs Monate untersucht. Zusätzlich erfolgt in größeren Abständen eine besonders intensive Beprobungen ausgewählter Stillgewässer (monatlich bis 14-täglich). Auch von einer Reihe kleinerer Seen liegen bereits Phytoplankton-Zählraten vor.

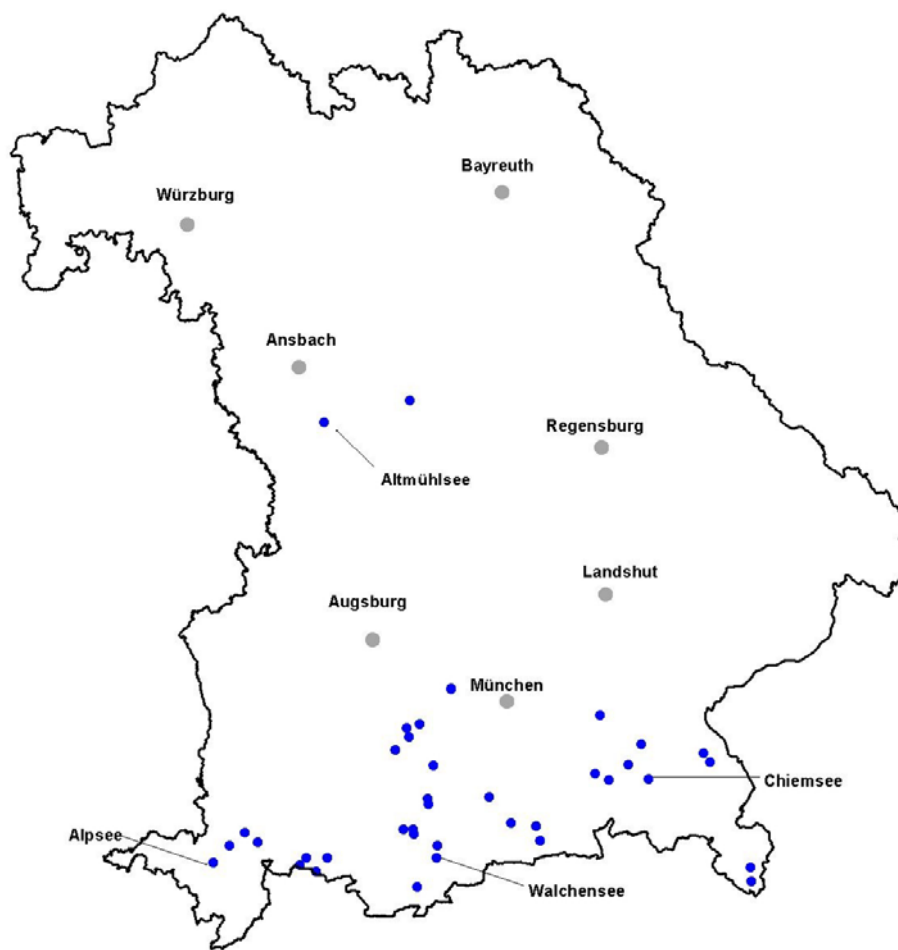


Abb. 1
Bayerische Seen, die
auf Phytoplankton
untersucht wurden

2.2 Taxonomisch-systematische Grundlagen

Als Grundlage der Bearbeitung dient die „Taxaliste der Gewässerorganismen Deutschlands zur Kodierung biologischer Befunde“ des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft (MAUCH et al. 2003), die im Auftrag der Länderarbeitsgemeinschaft (LAWA) zu einer deutschlandweit gültigen Checkliste erweitert wurde. In dieser Liste sind sämtliche bei Gewässeruntersuchungen registrierte Taxa aufgeführt und mit DV-Nummer codiert. Die Nomenklatur und Systematik der Algen der Taxaliste wurde in den vergangenen Jahren stark überarbeitet (vgl. auch SCHMEDITJE et al. 1998). Diese Überarbeitung, die sowohl das artspezifische Niveau als auch die Großsystematik betrifft, setzt sich auch aktuell noch fort. Neu definierte Systemnummern sind aus praktischen Erwägungen systematischen Einheiten unterschiedlicher Niveaus (Ordnungen, Familien, Klassen etc.) zugeordnet. Im vorliegenden Bericht werden für die ökologische Analyse der Planktonbefunde verschiedene dieser Einheiten unter eingeführten Klassennamen zusammengefasst (siehe Tab. 1)

Tab. 1 Übersicht der im Plankton auftretenden Algengruppen

Sys-Nr.	System Taxaliste	Bezeichnungen im vorliegenden Bericht
610	Cyanobacteria	Cyanophyceae
720	Chrysophyceae i. e. S.	Chrysophyceae
11	Bicosoecidae	
12	Choanoflagellata	
730	Xanthophyceae	Xanthophyceae
750	Bacillariophyceae	Bacillariophyceae
760	Rhaphidiophyceae	Chlorophyceae
820	Prasinophyceae	
831	Volvocales	
832	Tetrasporales	
833	Chlorococcales	
834	Oedogoniales	
836	Chaetophorales	
780	Haptophyta	Haptophyceae
790	Cryptophyta	Cryptophyceae
800	Dinophyta	Dinophyceae
810	Euglenophyta	Euglenophyceae
840	Klebsormidiophyceae	Charophyceae
850	Zygnematales	
851	Desmidiiales	
860	Ulvophyceae	Ulvophyceae

3 Literaturdatenbank Phytoplankton

3.1 Vorgehensweise

Von den 2898 Algentaxa, die aktuell in der „Taxaliste der Gewässerorganismen Deutschlands zur Kodierung biologischer Befunde“ verzeichnet sind (MAUCH et al. 2003) wurden 1029 in die Literaturrecherche zur Typologie des Planktons einbezogen. Ausgewählt wurden dauerhaft bzw. partiell planktische Lebensformtypen, darüber hinaus wenige epiphytisch Formen und einzelne als benthisch eingestufte, jedoch häufiger in bayerischen Phytoplankton-Befunden registrierte Taxa. Verschiedene Taxa wurden erst relativ spät im Verlauf der Arbeiten in die Taxaliste bzw. die „Literatur-Suchliste“ aufgenommen, wodurch der Auswertungsgrad für diese Taxa geringer sein kann. Nach Abschluss der Literaturrecherche wurden im Zuge der Überarbeitung der Taxaliste auf Bundesebene zahlreiche Algentaxa neu aufgenommen, sie sind beim jetzigen Stand nicht berücksichtigt.

Die Literatur wurde hinsichtlich verschiedenster ökologisch relevanter Parameter durchgesehen, denen im Weiteren entsprechende Datenbankfelder zugeordnet wurden:

- Lebensform und besiedelter Lebensraum
- Trophiepräferenz
- saprobielle Valenz
- pH-Ansprüche
- Nährstoffansprüche (Stickstoff, Phosphor)
- Phänologie
- Wasserblütenbildung

Als Hintergrundinformation wurde darüber hinaus auch die geographische Verbreitung der Taxa mit angegeben.

Ausgewertet wurden 226 Literaturstellen. Dabei handelt es sich sowohl um zusammenfassende Grundlagenwerke zur Algenökologie, als auch Fachartikel zu einzelnen Taxa oder Bestimmungswerke mit ökologischen Angaben. Verwendet wurde Literatur mit lokalem, bundesweitem und europaweitem Bezug. Für 870 (ca. 85%) der einbezogenen Taxa wurden autökologische Informationen gefunden. Die 4289 gefundenen Originalzitate wurden taxonweise in einer MS Access-Datenbank aufgenommen, d. h. pro Literaturstelle und Taxon wurde ein Datensatz angelegt. Die Datenbank soll fortlaufend aktualisiert bzw. erweitert werden.

Die in der Datenbank erfassten Autorenzitate sind – soweit möglich – in der Originalformulierung übernommen. War dies aufgrund des Satzbaus bzw. Satzzusammenhangs nicht möglich oder waren mehrere Einzelangaben (z. B. in verschiedenen Kapiteln) zu einem Gesamtzitat zusammenzuführen, wurde der ökologisch relevante Textinhalt frei formuliert. Die Literaturzitate wurden dem aktuell gültigen Artnamen bzw. Synonym entsprechend der Taxaliste des LfW zugeordnet. Englischsprachige Texte wurden in der Originalsprache übernommen, sofern es sich nicht um Einzelbegriffe (z. B. Trophiestufen) oder um Tabellenwerte handelte. Sonstige fremdsprachige Zitate wurden ins Deutsche übersetzt.

Die Datenbank wurde im Zuge der Erstellung (2001) an diverse Algenspezialisten mit der Bitte um Korrekturen bzw. Hinweise auf aufzunehmende Literatur versandt. Folgenden Spezialisten, die hier tätig geworden sind sei an dieser Stelle herzlich gedankt: Dr. Antje Gutowski (Bremen), Dr. Gabriele Hofmann (Glashütten-Schloßborn), Prof. Dr. Brigitte Nixdorf (Cottbus), Dr. Lothar Täuscher (Berlin) und Prof. Dr. Günther Friedrich.

Die Literaturdatenbank „Phytoplankton“, einen darauf basierenden Autökologie-Einstufungskatalog (siehe Kapitel 4.1) sowie dieses Dokument als pdf finden Sie auf der Homepage des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft (ab 1.8.2005: Bayerisches Landesamt für Umwelt) im Downloadcenter.

3.2 Struktur der Literaturdatenbank

Die Literaturdatenbank „Phytoplankton“ enthält drei miteinander verknüpfte Einzeldatenbanken: die Hauptdatenbank mit den gesammelten Zitattexten („Literaturzitate“), die Literaturliste („gesamte Literatur“) und einen Auszug der Taxaliste des LfW („Taxaliste_Phytoplankton“). Daneben sind verschiedene Auswertungsabfragen (z. B. Anzahl der Literaturzitate pro Art oder Algengruppe) und Berichte (z. B. Ausdruck der Literaturliste oder der Zitate) enthalten. Die Hauptdatenbank – die Literaturzitate – hat die in Tab. 2 wiedergegebene Struktur.

Tab. 2 Datenbankstruktur

Feldname	Format	Feldinhalt
Lfd-Nr	Text	Fortlaufende Ordnungsnummer
DV-Nr	Zahl	EDV-Nr. der Taxaliste des LfW
Name	Text	Art-/Taxonname
Autor	Text	Autor des Zitats
Zitat	Memo	Zitattext
Titel	Text	Titel der Literaturstelle
Hrsg-Zeitschr	Text	Weitere Angaben zur Literaturstelle (Herausgeber, Zeitschriftenband, Seitenangaben, Erscheinungsort etc.)
Code	Zahl	Code-Nr; dient der Verknüpfung mit der Literaturliste

Eine Sortierung der Daten ist nach allen Datenbankfeldern möglich, mit Ausnahme des Memo-feldes. Damit sind sowohl Taxon-bezogene Sortierungen wie auch solche hinsichtlich des Autors durchführbar. Über eine Abfrage können die Inhalte der oben genannten Einzeldatenbanken miteinander verknüpft werden. So lassen sich beispielsweise die Zitate zu einer bestimmten Algengruppe oder zu einer einzelnen Art ermitteln.

3.3 Repräsentanz der verschiedenen Algentaxa und -gruppen

Anzahl und Informationsgehalt der Literaturzitate weisen erwartungsgemäß sehr starke taxon- bzw. gruppenspezifische Unterschiede auf (s. Tab. 3). Durchschnittlich sind zu jedem durch Zitate belegten Taxon etwa fünf Literaturzitate in der Datenbank vorhanden, die Anzahl der Zitate schwankt jedoch zwischen eins und 50. Der Umfang der Angaben reicht von Stichworten wie „eutraphent“ bis zu ausführlichen autökologischen Angaben.

Unter den Großgruppen, zu denen Literaturzitate exzerpiert wurden nehmen die Grünalgen i. w. S. (Chlorophyceae) mit insgesamt 283 Arten den größten Anteil ein, vor den Kieselalgen (Bacillariophyceae) mit 174 Taxa (vgl. Tab. 3 und Abb. 2). Letztere stellen den Hauptanteil der Zitate (1679; ca. 40 %), entsprechend der sehr umfangreichen Literatur zu dieser Algengruppe (vgl. Abb. 3). Es folgen die Chlorophyceae mit 920 Zitaten (ca. 21 %), die Cyanophyceae mit 374 Zitaten (ca. 9 %), die Chrysophyceae mit 239 (ca. 6 %) Zitaten und die Euglenophyceae mit 232 Zitaten (ca. 5 %). Die übrigen Gruppen sind deutlich weniger stark vertreten. Die überwiegende Mehrheit der Kieselalgen-Taxa ist durch die Literaturzitate der Datenbank vergleichsweise gut repräsentiert. Durchschnittlich liegen etwa neun Zitate pro Taxon vor. Bei den anderen Algengruppen ist die Literaturlage, die ökologische Charakterisierung betreffend, nicht so günstig. Der Quotient *Taxazahl* : *Zitatezahl* liegt dort in aller Regel bei ca. 1 : 2 bis 1 : 6.

Tab. 3 Repräsentanz der Algengruppen in der Literaturdatendank

Algengruppe	Anzahl Taxa	Anzahl Zitate
Bacillariophyceae	174	1679
Charophyceae	85	513
Chlorophyceae	283	920
Chrysophyceae	94	357
Cryptophyceae	20	52
Cyanophyceae	77	374
Dinophyceae	27	125
Euglenophyceae	82	232
Haptophyceae	4	10
Ulvophyceae	9	13
Xanthophyceae	8	12
gesamt	863	4289

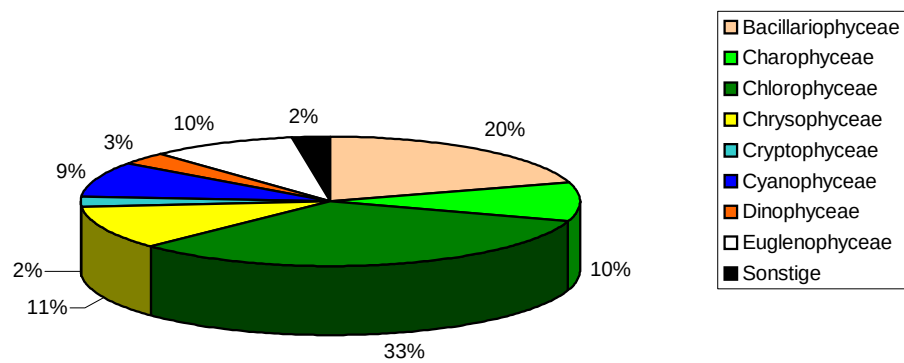


Abb. 2 Anzahl der zitierten Taxa pro Algenklasse

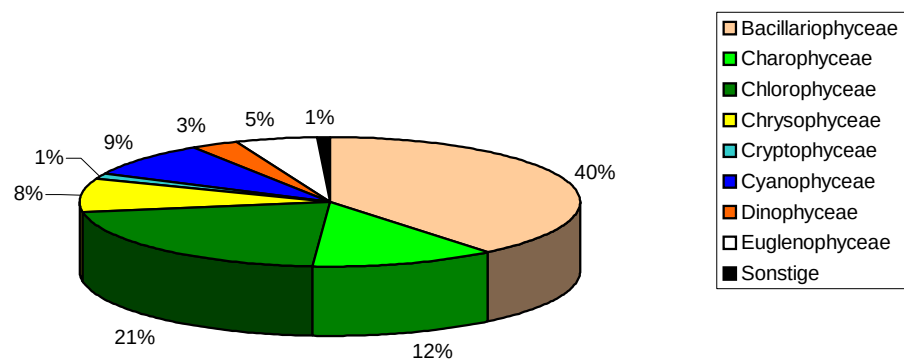


Abb. 3 Anzahl der Zitate pro Algenklasse

4 Ökologische Typisierung der Taxa

4.1 Aufbau des Einstufungskatalogs

Für diejenigen Taxa, zu denen ökologische Informationen vorliegen wurde auf der Grundlage der Literaturzitate ein Einstufungskatalog („Ökologietabelle“) in Form einer Datenbank erstellt. Dieser Katalog enthält eine Auswahl bestimmter bewertungsrelevanter Kriterien (Trophie, Saprobie, pH-Präferenz etc.), die in Tab. 4 erläutert sind. Die verschiedenen Literaturaussagen wurden zu einem Taxon aggregiert. Bei Taxa, für die ausreichend Informationen vorliegen wurde darüber hinaus für Trophie- und Saprobie-Bereiche eine Punktvergabe für Verteilungsschwerpunkte durchgeführt. Diese kann, wie die anderen Informationen auch, eine Grundlage für Bewertungssysteme darstellen. Während bei der Saprobie das in der wasserwirtschaftlichen Praxis seit langem verwendete zehn-Punkte-System Anwendung findet, wird hinsichtlich der Trophie – in Anlehnung an die benthischen Algen (SCHMEDITJE et al. 1998) – versuchsweise eine 20-Punkte-Skala verwendet. Die Ergebnisse der Literatursauswertung zeigten jedoch, dass nur für eine vergleichsweise geringe Zahl von Taxa (64) aus der Fachliteratur solch ein detaillierter Zahlenschlüssel ableitbar ist. In aller Regel beschränken sich die Literaturhinweise auf relativ grobe textliche Kategorien, wie „eutroph“, oder „überwiegend in nährstoffreichen Gewässern“.

Tab. 4 Erläuterungen der Autökologie-Tabelle

Felder in der Datenbank	Erläuterung
Kennummer	automatische Datensatznummerierung durch Access
DV-Nr	DV-Code der Bundes-Taxaliste
Sys-Nr	Systemnr. Code für höhere taxonomische Kategorie
Name	Name Taxon
System	Klasse
Lebensform	z. B. planktisch, benthisch
Gewhaupttyp	am häufigsten genannter Gewässertyp
Gewnebentyp	seltener genannter Gewässertyp
Trophtyp	allgemeine Aussage zum überwiegenden Vorkommen bez. Trophie
<i>Die nachfolgenden Felder zur Trophie enthalten eine – versuchsweise angewandte – numerische Einstufung in einem 20-Punkte-System, in Anlehnung an die benthischen Algen (vgl. SCHMEDITJE et al. 1998). Diese Einstufung wurde derzeit erst bei solchen Arten vorgenommen, bei denen dies aus der Literatur mit vertretbarer Genauigkeit erschließbar ist. Andere Datenquellen (Erfahrungen von Fachexperten etc.) sind hier noch nicht eingegangen. Ob und in welcher Form eine numerische Einstufung auch für eine größere Anzahl weiterer planktischer Arten vorgenommen wird ist derzeit noch offen.</i>	
Tro	Trophie: oligotroph
Trom	Trophie: oligo-mesotroph
Trm	Trophie: mesotroph
Trme	Trophie: meso-eutroph
Tre	Trophie: eutroph
Trep	Trophie: eu-polytroph
Trp	Trophie: polytroph
Trphy	Trophie: poly-hypertroph
Trhy	Trophie: hypertroph
Saprobie	allgemeine Aussage zum überwiegenden Vorkommen bezüglich Saprobie

Felder in der Datenbank	Erläuterung
Spxs	numerische Einstufung Saprobie (10-Punkte-System): xenosaprob
Spo	numerische Einstufung Saprobie (10-Punkte-System): oligosaprob
Spbm	numerische Einstufung Saprobie (10-Punkte-System): betamesosaprob
Spam	numerische Einstufung Saprobie (10-Punkte-System): alphamesosaprob
Spp	numerische Einstufung Saprobie (10-Punkte-System): polysaprob
pH	Angaben zu pH-Ansprüchen
Salinität	Angaben zu Salinitäts-Ansprüchen
N_Ansprueche	Angaben zu Stickstoff-Ansprüchen
P_Ansprueche	Angaben zu Phosphor-Ansprüchen; soweit in der Literatur angegeben sind beispielhaft Durchschnitts- bzw. Optimalwerte aufgeführt
O_Ansprueche	Angaben zu Sauerstoff-Ansprüchen; Unterteilung in Anlehnung an DENYS 1991 und VAN DAM et al. 1994
Phänologie	Angaben zum saisonalen Entwicklungsverlauf
Wassbluten	Angaben zur Neigung, Wasserblüten zu bilden
WassblZeit	z. B. Frühjahr
WassblFarbe	z. B. blaugrün
geogrVerbr	Geographische Verbreitung; z. B. kosmopolitisch
Bemerkungen	zusätzliche ökologische Angaben, z. B. mixotroph, heterotroph. Hier sei auch auf die genauen Autorenzitate in der Datenbank verwiesen.

Anhand des Einstufungskataloges lassen sich vorliegende Plankton-Algenbefunde eines Gewässers hinsichtlich verschiedenster Parameter auswerten. Prinzipiell kommen alle im Katalog enthaltenen Parameter (Datenbank-/Tabellenspalten) in Betracht; die derzeitige Informationsdichte lässt aber detaillierte Auswertungen nur zum Teil zu. Autökologische Angaben liegen bei der generellen Trophie-Einstufung für 548 Taxa (ca. 63 %) vor. Nach dem generellen Saprobietyp sind 315 (ca. 36 %) Taxa auswertbar, nach der detaillierten Saprobie-Punkteverteilung 192 Taxa (ca. 22 %) und nach den pH-Präferenzen 238 Taxa (ca. 27 %).

Die Verteilung der eingestuften Arten ergibt hinsichtlich der trophischen Valenzen folgendes Bild (Abb. 4):

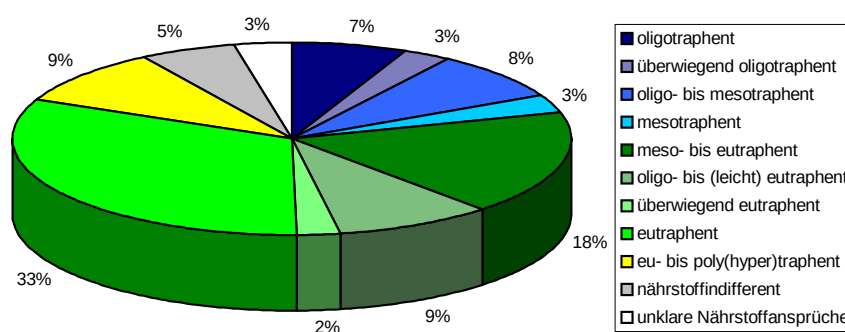


Abb. 4 Anteile der verschiedenen Trophiestufen am Gesamt-Artenspektrum

Den höchsten Anteil nehmen mit 175 Vertretern die eutraphenten Taxa ein (ca. 33 %). Zusammen mit den überwiegend eutraphenten (13 Taxa) bilden sie gut ein Drittel des Spektrums. Es folgen mit deutlichem Abstand die meso- bis eutraphenten Taxa (96 Taxa bzw. 18 %). Jeweils nahezu identische Anteile von etwa 10 % nehmen die eu- bis polytraphenten Taxa (52), die oligo- bis leicht eutraphenten (51) und die Summe der oligotraphenten bzw. überwiegend oligotraphenten Taxa (51) ein. 45 Taxa sind als meso- bis eutraphent eingestuft, 16 als mesotraphent. Der geringe Umfang der letztgenannten Gruppe hängt damit zusammen, dass in diesem mittleren Anspruchsbereich bei den meisten Taxa zumindest von einzelnen Autoren auch die anschließenden Trophiebereiche (oligo-mesotraphent, meso-eutraphent) als Trophiespektrum mit aufgeführt werden.

4.2 Gruppen- bzw. artspezifische Betrachtung der trophischen Valenzen

Die Auswertung des Einstufungskatalogs hinsichtlich der trophischen Ansprüche ergibt für die verschiedenen Algenfamilien bzw. die Klasse der Blaualgen (Cyanophyceae) sehr unterschiedliche absolute und relative Anteile von Indikatoren für bestimmte Trophiestufen (vgl. Abb. 5 und Abb. 6).

Die Kieselalgen (Bacillariophyceae) und die Blaualgen (Cyanophyceae) decken ein sehr breites Spektrum von Trophiestufen ab, wobei sich für jeden Trophiezustand eine Reihe charakteristischer Taxa finden. Der Anteil der Indikatoren nährstoffärmerer Verhältnisse ist allerdings bei den Blaualgen geringer als bei den Kieselalgen. In den bayerischen Plankton-Seenbefunden finden sich in der oligotraphenten Gruppe besonders häufig diverse *Cyclotella*-Arten, während unter den meso- bis eutraphenten Arten, *Fragilaria ulna* var. *acus*, *Fragilaria ulna angustissima*-Sippen, *Stephanodiscus neoastraea* und *Stephanodiscus minutulus* sehr häufig vertreten sind.

Die planktischen Charophyceae und Chrysophyceae haben einen eindeutigen Schwerpunkt im oligotrophen bis mesotrophen Bereich. Charakteristische Vertreter sind in den betreffenden bayerischen Seen *Cosmarium* (Charophyceae) – als Indikator der für nährstoffarme Gewässer – sowie *Dinobryon divergens* und *Bitrichia chodatii* (beides Chrysophyceae) – als Indikatoren für oligo- bis mesotrophe Zustände.

Im Gegensatz dazu dominieren bei den Chlorophyceae und in noch stärkerem Maß bei den Euglenophyceae die eutraphenten zusammen mit den eu- bis polytraphenten Taxa. Beispielarten sind *Oocystis marssonii* oder *Trachelomonas volvocina*.

Die nur mit relativ wenigen Arten im Plankton vertretenen Dinophyceae (z. B. *Ceratium hirundinella*) zeigen Schwerpunkte im meso-bis eutraphenten Bereich.

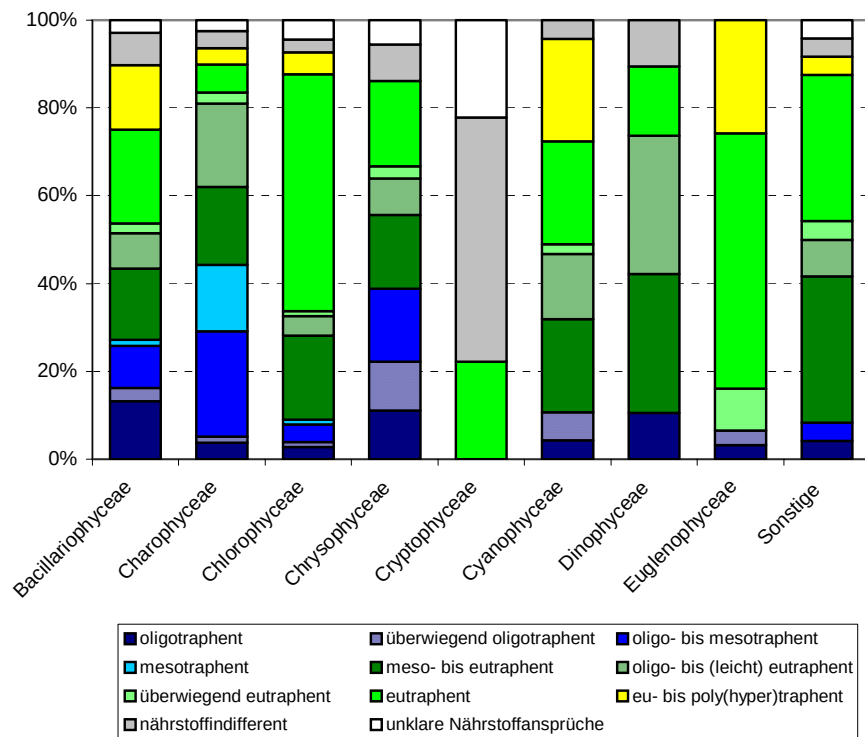


Abb. 5 Gruppenspezifische Anteile der verschiedenen Trophiestufen – Absolutwerte

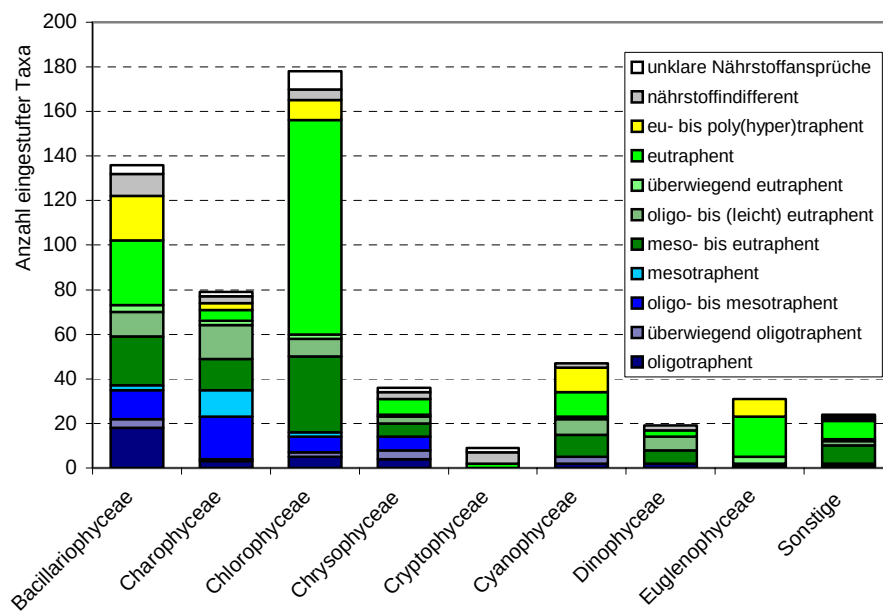


Abb. 6 Gruppenspezifische prozentuale Anteile der verschiedenen Trophiestufen

5 **Auswertung der Phytoplankton-Befunde**

5.1 Anwendung des Einstufungskataloges

Der Einstufungskatalog bietet zur ökologischen Interpretation der Phytoplankton-Befunde die Möglichkeit, aggregierte Werte bestimmter Parameter zu bilden. In der Praxis am wichtigsten dürften dabei die prozentualen oder absoluten Anteile der Lebensformtypen, der Gewässertyppräferenzen, der Trophie und der pH-Präferenz eines Bestandsspektrums eines beprobten Stillgewässers sein.

Aus den Anteilen der Vertreter einer bestimmten Trophiegruppe ergibt sich unmittelbar eine biologische Indikation der trophischen Situation des Gewässers. Besonders aussagekräftig sind dabei die klar definierten Trophiestufen „oligotraphent“ und „eutraphent“. Sind hier eindeutige, gleichgerichtete Verhältnisse in den Anteilen gegeben – z. B. charakteristisch hohe Anteile eutraphenter Arten und geringe bis sehr geringe Anteile oligotraphenter Arten – ergibt sich eine entsprechend gut untermauerte Gewässereinstufung. Zwischenstufen (z. B. „oligo- bis mesotraphent“, „meso- bis eutraphent“), die mesotraphenten Arten (eine „mittlere“ Kategorie von Arten, die ein weiteres trophisches Verbreitungsspektrum haben) oder weiter gefasste Kategorien wie „überwiegend in nährstoffarmen-/reichen Gewässern“ lassen sich durchaus ebenfalls heranziehen, ihre Verwendung schließt aber zwangsläufig eine gewisse Unschärfe der Aussage ein bzw. übt einen entsprechenden Einfluss auf die Gesamtinterpretation aus. Die Kategorie „polytraphent“ i. e. S. ist wegen der schwerpunktmäßigen Ausrichtung der „Suchliste“ auf in bayerischen Seen vorkommenden Taxa und damit das Nährstoff-Spektrum bayerischer Seen derzeit noch nicht im Einstufungskatalog repräsentiert.

Die Anteile der Lebensformtypen („planktisch“, „tychoplanktisch“, „planktisch-benthisch“, „neustisch“, „epiphytisch“ etc.) lassen Rückschlüsse auf die Homogenität des beprobten Lebensraums, dessen Habitatvielfalt oder auch die hydrologische Situation zu. Sind beispielsweise tychoplanktische Taxa (Algen die hauptsächlich sessil leben, aber häufig losgerissen werden und dann frei driften) zahlreich registriert worden, deutet dies auf eine stärkere Dynamik der Wasserbewegung im Probenahme-Bereich hin. Ähnlich wie die Lebensformtypen können auch die Gewässertyp-Präferenzen der Algentaxa das zu beurteilende Gewässer charakterisieren. So können hohe Anteile von Arten mit Fließgewässerpräferenz den Einfluss von Zuflüssen dokumentieren oder die Anteile von Moorarten den Charakter des Probegewässers unterstreichen. Ist ein klarer Verteilungsschwerpunkt der verschiedenen pH-Präferenzen der registrierten Taxa gegeben, lässt sich auch dies für eine Charakterisierung des Gewässers heranziehen.

5.2 Seen-Typisierung unter Berücksichtigung der Trophie

Die ersten Ansätze zur Typisierung von Seen im Hinblick auf die Trophie stellte August Thienemann in den zwanziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts vor. Seine Arbeiten an den Maaren der Eifel wurden weltberühmt und basierten auf der Beschreibung von Chironomiden (Zuckmücken)-Biozönosen und der daraus abgeleiteten Typisierung der Seen in Abhängigkeit von der Trophie (z. B. THIENEMANN 1928). So beschrieb THIENEMANN erstmals differenzierter den oligotrophen und den eutrophen See. Bewertungsansätze, die wie diejenigen Thienemanns auf Makrozoobenthos-Organismen in Seen beruhen werden heute überwiegend in Skandinavien und Nordamerika genutzt. Solche Ansätze sind vor allem an sehr wenig trophisch belasteten Systemen anwendbar, wie sie die skandinavischen Gewässer größtenteils noch heute und die Eifelmaare zur damaligen Zeit darstellten. Auch der eutrophe Zustand vieler mitteleuropäischer Gewässer aus der Sicht von 1920 ist höchstwahrscheinlich eher mit einem aus heutiger Sicht stark mesotrophen Zustand vergleichbar. Stark eu- bis hypertrophe Seen, wie wir sie heute flächendeckend in Mitteleuropa auf Grund der rasanten Eutrophierung in den Jahren nach dem Zweiten Weltkrieg vorfinden, kannte man damals nicht in diesem Maße. Das trophische Geschehen solcher Seen wird maßgeblich durch Massenentwicklung pflanzlicher Komponenten bestimmt. Im Pelagial tiefer Seen ist dies das Phytoplankton, in flachen Seen sowie im Litoral tiefer Seen sind es Makrophyten und Phytobenthos-Organismen.

Für die beiden letztgenannten Gruppen sind in den vergangenen Jahren indikative Bewertungsverfahren entwickelt worden (MELZER 1988, HOFMANN 1994, SCHAUMBURG et al. 2001), die zumindest in Süddeutschland routinemäßige Anwendung finden. Für die Umsetzung der WRRL wird derzeit ein leitbildbezogenes Bewertungsverfahren für Makrophyten und Phytobenthos erarbeitet (SCHAUMBURG & SCHMEDTJE 2003, 2004).

Für eine indikative Bewertung des Phytoplanktons in Deutschland fehlten bisher wichtige fachliche Voraussetzungen, wie z. B. ökologische Informationen zur Trophie-Bewertung der in Deutschland häufig vorkommenden Phytoplankton-Taxa. Daher basierten bisherige Trophie-Bewertungsansätze auf der ausschließlichen Klassifizierung der Planktonbiomasse, ausgedrückt als Chlorophyll-a-Konzentration, in Kombination mit den Trophie-bestimmenden Nährstoffen Phosphor und Stickstoff. Als einfach messbare und mit der Planktonbiomasse korrelierte Trophiegröße wird zusätzlich die Sichttiefe verwendet. Diese ist jedoch in Seen mit hohem anorganischem Schwebstoffeintrag, wie beispielsweise bei vielen Alpen- und Voralpenseen, nur sehr eingeschränkt anwendbar.

Mit den Arbeiten von Vollenweider in den siebziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurde diese nährstoff- und biomassebetonte Trophie-Klassifizierung erstmals auf eine international vergleichbare Basis gebracht und im Rahmen einer OECD-Studie veröffentlicht (VOLLENWEIDER 1968, 1979, 1980). Seitdem wird dieses Verfahren vielfach in der Praxis angewendet, auch für Gewässer, für die es eigentlich keine Gültigkeit hat, wie z. B. Flachseen. Der Seenausschuss der LAWA hat diesen Ansatz in den 1990er Jahren aufgegriffen und für Deutschland erweitert, sodass er nun auch für Flachseen, Kleinseen, Talsperren und Baggerseen verwendet werden kann. Darüber hinaus wurde erstmals zusätzlich zur Klassifizierung der Trophie auch ein Bewertungsansatz entwickelt,

bei dem der trophische Ist-Zustand mit einem Referenzzustand abgeglichen wird (Leitbildorientierte Bewertung, LAWA 1999, 2001, 2003).

Was diesen Ansätzen fehlt, ist die Möglichkeit der Bewertung mit Hilfe indikativer Komponenten. Für die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie ist eine ökologische Bewertung auf organismischer Basis erforderlich, die darüber hinaus gewässertypbezogen, d. h. naturraumtypisch erfolgen muss. Die Charakterisierung der Trophie als der wesentlichen Belastungskomponente für Seen in Deutschland auf einer solchen organismischen Basis ist daher dringend erforderlich. Sie ist auch eine wesentliche Grundlage für die derzeit in Entwicklung befindlichen Bewertungsverfahren zur Umsetzung der WRRL für Phytoplankton, Makrophyten & Phytobenthos sowie Makrozoobenthos in Deutschland (MISCHKE et al. 2002, SCHAUMBURG et al. 2004, 2005).

Im Hinblick auf das Phytoplankton bedeutet dies die qualitative und quantitative Beschreibung typischer und daher indikativer Zusammensetzungen der Planktongemeinschaft für die wichtigsten, d. h. hauptsächlich vorkommenden Trophiezustände.

5.2.1 Verfahrensansatz

In dieser Arbeit wird ein Ansatz vorgestellt, Phytoplankton-Daten, die in mehr als 20 Jahren gewässerkundlicher Routineuntersuchung in Bayern gewonnen wurden mit Hilfe der Trophie-relevanten Informationen aus der in Kap. 4.2 beschriebenen autökologischen Datenbasis zu bewerten. Es handelt sich um einen kombinierten Ansatz, bei dem die quantitativen Aspekte der Trophie (Biomasse als Biovolumen) mit den qualitativen organismischen Informationen (Zusammensetzung des Phytoplanktons) gemeinsam betrachtet werden. Dabei wird sowohl eine Biomasse-Einteilung als auch eine abgestufte taxonomische Betrachtung vorgenommen. Letzteres bedeutet, dass eine Trophie-indikative Betrachtung auf unterschiedlichem taxonomischem Niveau vorgenommen werden kann. Als Ergebnis kann ein See einer Trophiegruppe (bzw. -klasse) zugeordnet werden. Diese lässt sich durch einen bestimmten Biomasse-Schwankungsbereich sowie eine typische Kombination von Planktonklassen und diese wiederum durch spezielle Indikator-Gattungen und/oder -arten beschreiben. Es handelt sich bei diesen Indikatorgruppen nicht um festgelegte Zusammensetzungen, die dann auch im Umkehrschluss immer exakt für einen bestimmten Trophietyp erwartet werden, sondern zunächst um Gruppierungen, wie sie sich aus der Auswertung der lang-jährigen bayerischen Seendaten ergeben haben und zumindest für die in Süddeutschland vorkommenden vergleichbaren Seentypen in vergleichbarem Trophiezustand zu erwarten sind. Dieses System ist mit Einschränkungen auf Seentypen anderer Regionen Deutschlands übertragbar. Es ist jedoch zu erwarten, dass bei Auswertung eines ähnlichen Datensatzes solcher Seen andere oder modifizierte taxonomische Gruppierungen für die gleiche Trophiestufe beschreibbar sind. Damit ist der Ansatz offen für eine Erweiterung auf andere Seentypen. Die Verwendbarkeit dieser Methode, die bereits vor drei Jahren in ersten Ansätzen der Fachöffentlichkeit vorgestellt wurde (SCHAUMBURG et al. 2002) über Süddeutschland hinaus wird derzeit in verschiedenen Projekten getestet.

Folgende Auswertungsschritte wurden durchgeführt und werden in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben:

- Berechnung der Jahresbiomasse sowie Überprüfung ihrer Aussagekraft zur Berücksichtigung der Trophie (Kap. 5.2.3)
- Berechnung der prozentualen Anteile der Algenklassen sowie Überprüfung ihrer Aussagekraft zur Beurteilung der Trophie (Kap. 5.2.3)
- Entwicklung eines Trophie-Index. Anwendung des neuen Index auf bayerische Seendaten und Überprüfung seiner Aussagekraft zur Beurteilung der Trophie (Kap. 5.2.4)
- Identifikation dominanter Taxa sowie Überprüfung ihres Indikationswertes für die Trophie-Bewertung durch Verwendung „standardisierter Residuen“ (Kap. 5.2.4)
- Typisierung der Seen auf der Basis von Trophie-Indikation unter Berücksichtigung der Biomasse mittels Cluster-Analyse (Kap. 5.2.5)
- graphische Darstellung der durch die Cluster-Analyse gebildeten biozönotischen Gruppen (Verteilung der Algenklassen, Biomassebetrachtung sowie die Gruppe charakterisierende Taxa) (Kap. 5.2.5)
- verbale Beschreibung der Ergebnisse (Kap. 5.2.5)

5.2.2 Datengrundlage

Die Datenlage der qualitativen Planktonuntersuchungen in bayerischen Seen kann als gut, jedoch auch als heterogen charakterisiert werden. In Abhängigkeit vom Untersuchungszweck wurden teilweise nur wenige Proben im Laufe eines Jahres untersucht. Die Probenahmen wurden dementsprechend übers Jahr verteilt vorgenommen oder decken nur eine Jahreshälfte ab. Daneben gibt es auch intensiv untersuchte Seen, die über mehrere Jahre monatlich oder häufiger beprobt wurden und somit eine sehr detaillierte Plankton-Sukzession dokumentieren. Beispiele hierfür sind der Ammersee oder der Schliersee.

Ein statistischer Vergleich so heterogener Daten ist dennoch möglich. Die Ungleichheiten sind hierzu durch Mittelwertsberechnung auszugleichen, womit allerdings ein Informationsverlust verbunden ist.

Von den in der Datenbank des LfW vorliegenden Befunden konnten einige für die Auswertung nicht berücksichtigt werden. Dies waren zum einen Daten von Seen-Untersuchungen mit weniger als fünf Probenahmen pro Jahr. Darüber hinaus wurden auch Planktonzählungen von Seen nicht berücksichtigt, wenn der Untersuchungszeitraum nur einen kurzen Abschnitt des Jahres abdeckte oder außerhalb der Vegetationsperiode lag.

Der Auswertung liegen 1684 Probenahmen von 41 Seen zugrunde, die im Untersuchungszeitraum 1984 bis 2003 erhoben wurden (Tab. 5). Da die Planktonzusammensetzung und Biomasse der Seen zum Teil stark von einem zum nächsten Untersuchungsjahr variieren kann, wurde jedes Untersuchungsjahr eines Sees für sich betrachtet. Im Folgenden wird die Bezeichnung „Seejahr“ als Beschreibung des untersuchten Sees mit dem entsprechenden Untersuchungsjahr geführt.

Tab. 5 Auswahl der Seen mit Anzahl der Probenahmen

Seename \ Untersuchungs-jahr	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	Σ
Alpsee bei Füßen																		6			6
Alpsee bei Immenstadt														6			5	5	10		26
Altmühlsee											26	24		26				17			93
Ammersee				20	24	22	12		17	24	25	13	12	11	13	15	13	12	13		246
Bannwaldsee														5	5		15	5			30
Barmsee																			11		11
Bayersoiener See							7	11	11	10	10	13	12	5							79
Chiemsee (Aiterb. Winkel)										14		13								9	36
Chiemsee (Ruttengraben)										5											5
Chiemsee (Weitsee)										17		16								10	43
Fischkalter See			15	23	36																74
Froschhauser See														19	21						40
Hofstätter See																				10	10
Hopfensee													17	21	17		5	5			65
Kirchsee																		6			6
Kochelsee						13	12	13												12	50
Königssee																	5				5
Langwieder See																			10		10
Luss See																			10		10
Lustsee														21	21	9	12				63
Niedersonthofener See														6			6	5	10		27
Obersee																	5				5
Obinger See	9	8	11	10	9	11								16							74
Ostersee Großer																		6			6
Pelhamer See														13							13
Pilsensee																				10	10
Riegsee																			11		11
Rothsee Hauptsperre																	37		10		47
Rothsee Vorsperre																	39		9		48
Rottachsee																	5				5
Schliersee	20	7	9	9	10		13	10	13	9			13								113
Simssee																				6	6
Soyensee														14							14
Spitzingsee														15	15						30
Staffelsee									18												18
Staffelsee (Südbecken)									18												18
Staffelsee (Westbecken)									17												17
Starnberger See														13							13
Sulzberger See													17	20	18						55
Tachingen See									16				12					16			44
Tegernsee (Hauptbecken)							15	15													30
Waginger See									16				14					17			47
Walchensee												12								9	21
Weissensee														6	5		14	5			30
Wesslinger See			12	12	10	13												16			63
Wörthsee																			11		11
Gesamtergebnis	29	15	47	74	89	59	44	49	141	79	61	91	97	217	115	24	161	121	105	66	1684

Die charakteristischen Kenngrößen der Seen mit der trophischen Einstufung auf der Basis von Gesamtphosphor, Sichttiefe und Chlorophyllgehalt nach VOLLENWEIDER (1980) sind in Tab. 6 aufgeführt.

Die Typzuordnung der Seen erfolgte auf der Grundlage von MATHES et al. (2002) nach folgenden Kriterien:

- Größe (Mindestseefläche > 50 ha)
- Ökoregion
- Calcium-Konzentration als Maß für die geochemischen Verhältnisse des Einzugsgebietes
- Verhältnis *Einzugsgebiet* : *Seevolumen* als Maß für den Einfluss des Einzugsgebietes auf den Wasser- und Stoffhaushalt des Sees
- Schichtungseigenschaften für die morphometrische und stoffliche Charakterisierung des Sees

Auf dieser Grundlage lassen sich die bayerischen Seen folgenden Seetypen zuordnen:

- Typ 1: Voralpensee: kalkreich, relativ großes Einzugsgebiet, ungeschichtet
- Typ 2: Voralpensee: kalkreich, relativ großes Einzugsgebiet, geschichtet
- Typ 3: Voralpensee: kalkreich, relativ kleines Einzugsgebiet, geschichtet
- Typ 4: Alpensee: kalkreich, relativ kleines oder großes Einzugsgebiet, geschichtet.

Die künstlichen Seen sind als Sondertyp eingestuft und im Folgenden mit „K“ gekennzeichnet.

Tab. 6 Ausgewählte Seen mit charakteristischen Kenngrößen

See	Fläche (ha)	Max. Tiefe (m)	Mittl. Tiefe (m)	Genese	Trophie VOLLENWEIDER (1979)	LAWA Seetyp (MATHES et al. 2002)
Alpsee	247,3	22,7	13,2	natürlich	eutroph	4
Alpsee bei Füssen	88,0	62,0	27,8	natürlich	oligotroph	4
Altmühlsee	450,0	4,5		künstlich	polytroph	K
Ammersee	4660,0	81,1	37,5	natürlich	mesotroph	4
Bannwaldsee	228,0	12,0	6,2	natürlich	eutroph	3
Barmsee	55,0	30,6	16,5	natürlich	mesotroph	4
Bayersoiener See	22,5	4,5	2,0	natürlich	eutroph	1
Chiemsee	7990,0	73,4	25,6	natürlich	mesotroph	4
Fischkalter See	3,3	11,4	5,8	natürlich	eutroph	1
Froschhauser See	16,5	9,5	3,0	natürlich	mesotroph	1
Hofstättersee	57,5	3,5	2,1	natürlich	mesotroph	1
Hopfensee	194,0	10,4	4,6	natürlich	eutroph	1
Kirchsee	42,0	16,1	6,2	natürlich	mesotroph	2
Kochelsee	595,0	65,9	31,0	natürlich	mesotroph	4
Königssee	521,8	190,0	98,1	natürlich	oligotroph	4
Langwieder See	18,4	8,7	5,5	künstlich	mesotroph	K
Luss-See	0,5	14,0		künstlich	mesotroph	K
Lustsee	5,9	18,0	6,4	natürlich	oligotroph	2
Niedersonthofner See	135,3	21,3	10,0	natürlich	eutroph	2
Obersee	57,0	51,0	25,6	natürlich	oligotroph	4
Obinger See	31,2	14,0	7,0	natürlich	eutroph	2
Ostersee, Großer	117,6	29,7	11,9	natürlich	mesotroph	2
Pelhamer See	71,0	21,3	9,5	natürlich	polytroph	2
Pilsensee	194,6	17,1	9,3	natürlich	eutroph	2
Riegsee	188,5	15,4	6,8	natürlich	eutroph	3
Rothsee	170,0	15,4		künstlich	eutroph	K
Rottachsee	16,0	8,8		künstlich	eutroph	K
Schliersee	222,0	40,5	23,9	natürlich	eutroph	4
Simssee	649,0	22,5	13,4	natürlich	eutroph	3
Soyensee	45,0	19,2	9,0	natürlich	eutroph	2
Spitzingsee	28,3	16,3	7,3	natürlich	eutroph	4
Staffelsee	766,0	39,4	9,8	natürlich	mesotroph	3
Starnberger See	5636,2	127,8	53,2	natürlich	mesotroph	3
Sulzberger See	36,1	14,7	7,1	natürlich	eutroph	3
Tachinger See	236,0	16,5	9,2	natürlich	eutroph	3
Tegernsee	890,0	72,6	36,3	natürlich	mesotroph	4
Waginger See	661,0	27,0	13,7	natürlich	eutroph	3
Walchensee	1611,2	189,5	80,8	natürlich	oligotroph	4
Weissensee	134,7	24,7	12,3	natürlich	mesotroph	4
Wesslinger See	17,0	12,0	6,1	natürlich	eutroph	3
Wörthsee	433,9	34	14,7	natürlich	mesotroph	3

5.2.3 Gesamtbiomassen und Verteilung der Algenklassen

Für die Phytoplankton-Analyse werden epilimnische Mischproben entnommen, in der Regel an der tiefsten Stelle des Sees unter Verwendung eines Integralschöpfers. Die quantitative Analyse erfolgt durch Auszählen der Arten. Durch Multiplikation der Abundanz mit dem artspezifischen Biovolumen wird die Biomasse errechnet. Die Gesamtbiomasse wird in g/m³ oder in mg/l angegeben. Dabei wird die Dichte des Phytoplanktons gleichgesetzt mit der spezifischen Dichte von Wasser ($\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$).

$$\text{Biomasse} = I \cdot ZV \cdot \rho \cdot 10^6$$

Biomasse in g/m³

I = Individuenzahl eines Taxons pro ml

ZV = Zellvolumen (μm^3)

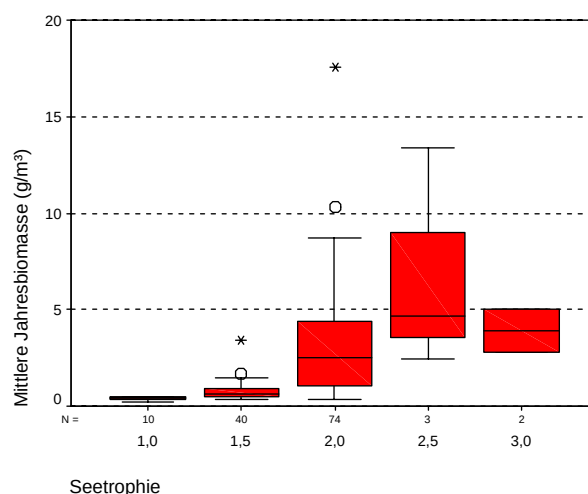
ρ = spezifische Algendichte (g/cm^3)

Die mittlere Jahresbiomasse ergibt sich aus dem arithmetischen Mittel der Einzelbefunde. Rein benthische Lebensformen gehen nicht in die Biomasseberechnung ein.

Das Spektrum der mittleren Jahresbiomasse reicht in den berücksichtigten Seen von 0,24 bis 17,5 g/m³. In Abb. 7 sind die Mittelwerte der Jahresbiomassen in Abhängigkeit von der Trophie-Einstufung der Seen (siehe Tab. 7, Seite 30) in Form von Boxplots¹ dargestellt. Die Biomasse nimmt von der Trophiestufe 1 (oligotroph) über 1,5 (mesotroph) und 2 (eutroph) bis 2,5 (eutroph-polytroph) zu. Die Jahresbiomasse kann somit als ein Kriterium zur Seentypisierung herangezogen werden. Zu berücksichtigen ist, dass die Boxplotdarstellung für die Trophiestufen 2,5 (eutroph-polytroph) und 3 (polytroph) jeweils lediglich auf der Basis von zwei bzw. drei Seenjahren beruht.

Im folgenden Auswertungsschritt werden die Verteilungen der Algenklassen in Abhängigkeit vom Seetyp betrachtet (Abb. 8). Charakteristisch ist der hohe Anteil an Bacillariophyceae für oligo- und mesotrophe Seen (Trophiestufe 1 und 1,5) und der zunehmende Anteil an Cyanophyceae mit

Abb. 7
Mittlere Jahresbiomasse (g/m³) in Abhängigkeit von der Trophie-Einstufung der Seen



¹ Der Boxplot besteht aus einer Box, die vom ersten und dritten Quartil (25. bzw. 75. Perzentil) begrenzt wird. Die waagrechte Linie in der Box repräsentiert den Median. Die beiden waagrechten Linien außerhalb der Box markieren den kleinsten und größten Messwert, sofern es sich nicht um Ausreißer handelt. Ausreißer, die um mehr als drei Boxlängen außerhalb liegen, werden als Sterne dargestellt, solche, die um anderthalb Längen außerhalb liegen als Kreise (BÜHL & ZÖFEL 2000).

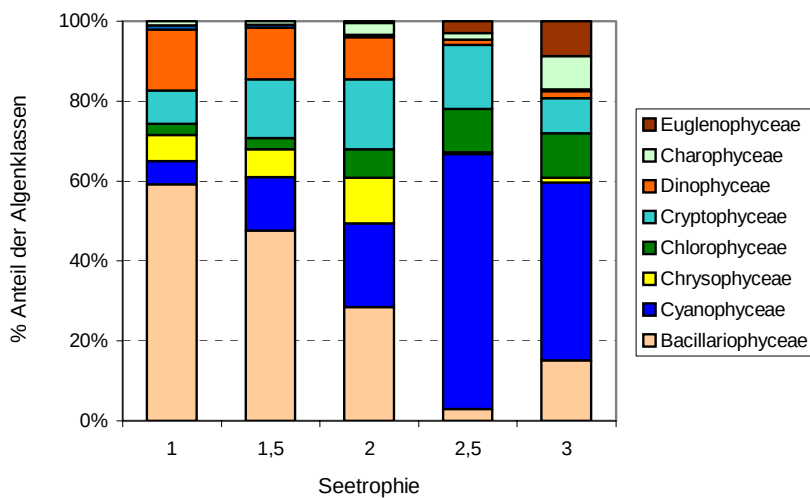


Abb. 8
Mittlere Algenklassenzusammensetzung in Abhängigkeit von der Trophie des Sees dargestellt als prozentualer Anteil

steigender Trophie. Auch hier gilt, dass die Trophiestufen 2,5 und 3 nur durch wenige Seenjahre abgedeckt werden und damit nur eingeschränkt aussagekräftig sind.

Stellt man die Verteilung der Algenklassen in Form von Boxplots (Abb. 9) dar, so werden die Unterschiede in Abhängigkeit von der Trophie ebenfalls deutlich. Dies gilt im Besonderen für den Bereich des 25. bis 75. Perzentils (farbig dargestellt). Zum Zweck der Typisierung sind jedoch nur eindeutige Abgrenzungen geeignet. Minimum und Maximumwerte alleine sind hierfür nicht hinreichend.

Für die Algenklassen Cyano-, Crypto-, Chryso- und Dinophyceae sind die festzustellenden Unterschiede in den Trophiestufen 1 (oligotroph), 1,5 (mesotroph) und 2 (eutroph) nur marginal. Das belegen die Medianwerte sowie die Betrachtung der Perzentile. Die Trophiestufe 2,5 (eutroph bis polytroph) und 3 (polytroph) wurden aufgrund der geringen Datenmenge und der vergleichbaren Zusammensetzung der Algenklassen zusammen ausgewertet.

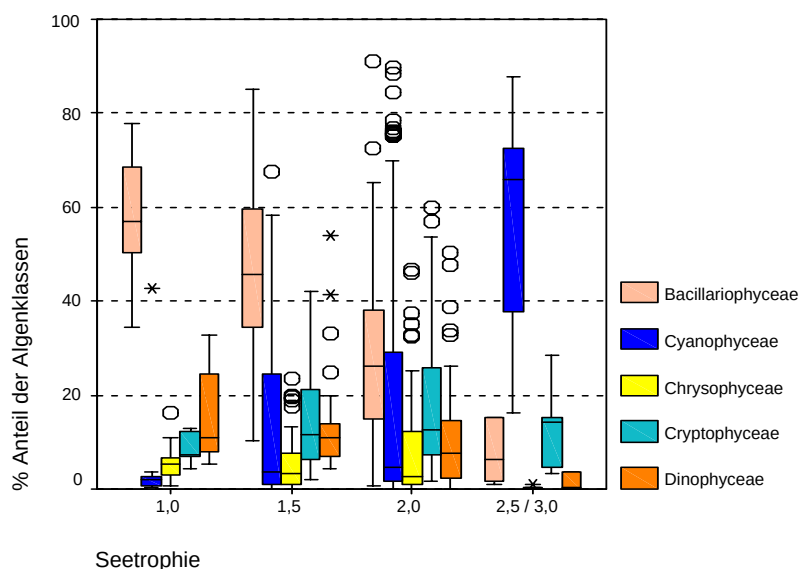


Abb. 9
Mittlere prozentuale Algenklassenzusammensetzung in Abhängigkeit von der Trophie des Sees dargestellt als Boxplot

5.2.4 Anteile Trophie anzeigender Taxa

In den untersuchten bayerischen Seen wurden im gesamten Betrachtungszeitraum 369 verschiedene Taxa nachgewiesen. Die Anzahl der Taxa pro Algenklasse einschließlich der Nachweishäufigkeit sowie die Mittelwerte der Biomassen sind in Tab. 7 dargestellt.

Tab. 7 Taxazahl, Nachweishäufigkeit und mittlere Biomasse pro Algenklasse

Algenklasse	Taxazahl	Nachweis- häufigkeit	Mittlere Bio- masse (g/m³)
Bacillariophyceae	81	7275	1,85
Charophyceae	22	1406	2,75
Chlorophyceae	140	6641	0,52
Chrysophyceae	59	3888	0,49
Cryptophyceae	13	5336	0,33
Cyanophyceae	47	2498	3,56
Dinophyceae	14	2361	0,79
Euglenophyceae	12	368	0,52
Haptophyceae	1	782	0,028
Ulvophyceae	3	282	0,033
Xanthophyceae	4	37	0,022

Über die Verknüpfung mit den Trophie-Einstufungen aus der Autökologie-Datenbank wird den Taxa bayerischer Seebefunde die trophische Einstufung zugeordnet. Von diesen Taxa sind 265 mit einer trophischen Einstufung (s. Kap. 4.2) versehen. Die relative Nachweishäufigkeit (N) in Abhängigkeit von der trophischen Zuordnung ist für die betrachteten Algenklassen in Abb. 10 dargestellt.

Etwa 40 % der Taxa sind als „nährstoffindifferent“, „Ansprüche unklar, sehr unterschiedliche Charakterisierung“ und „ohne Angabe“ eingestuft. Für mehr als 60 % der nachgewiesenen Taxa in Bayern liegt eine trophische Zuordnung vor. Nur bei den Cryptophyceae liegt dieser Anteil unter 50 %. Indikatoren für oligotrophe, oligo- bis mesotrophe oder nährstoffarme Verhältnisse finden sich nur bei den Bacillario-, Chloro-, Chryso- und Charophyceae. Auffallend ist der dominante Anteil von Einstufungen auf einen kleinen Trophiebereich bei den Cryptophyceae, Chrysophyceae und Euglenophyceae.

Im Folgenden wird jedes Taxon eines Seebefundes mit der errechneten Biomasse multipliziert und so mit einer Trophie-Einstufung dargestellt. Bezogen auf den Mittelwert der Biomasse unter Berücksichtigung aller Untersuchungsbefunde (Abb. 11) liegt der prozentuale Anteil der Taxa mit Trophie-Zuordnung bei nahezu allen Algenklassen höher als ohne Berücksichtigung der Biomasse (Abb. 10). Dies bedeutet, dass Taxa ohne eindeutige Trophie-Angabe zwar häufig nachgewiesen werden, sich aber im Mittelwert der Biomasse nicht gravierend niederschlagen. In der Algenklasse der Cyanophyceae verschieben sich hierdurch die Trophie-Verhältnisse eindeutig in Richtung „eutrophant“. Dafür verantwortlich ist *Limnothrix redekei*, die als Algenblüte sehr große Biomassen erreicht. In den übrigen Algenklassen unterscheidet sich die Verteilung der Trophie-Verhältnisse nicht wesentlich von Abb. 10.

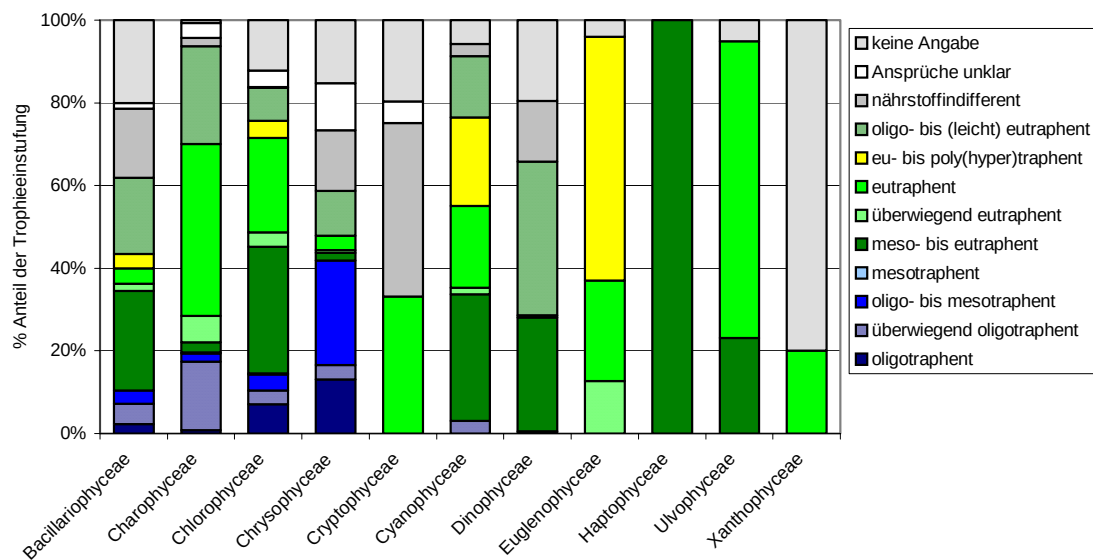


Abb. 10 Algenklassen mit Trophie-Verteilung in % – Nachweishäufigkeit auf Grundlage bayerischer Seebefunde

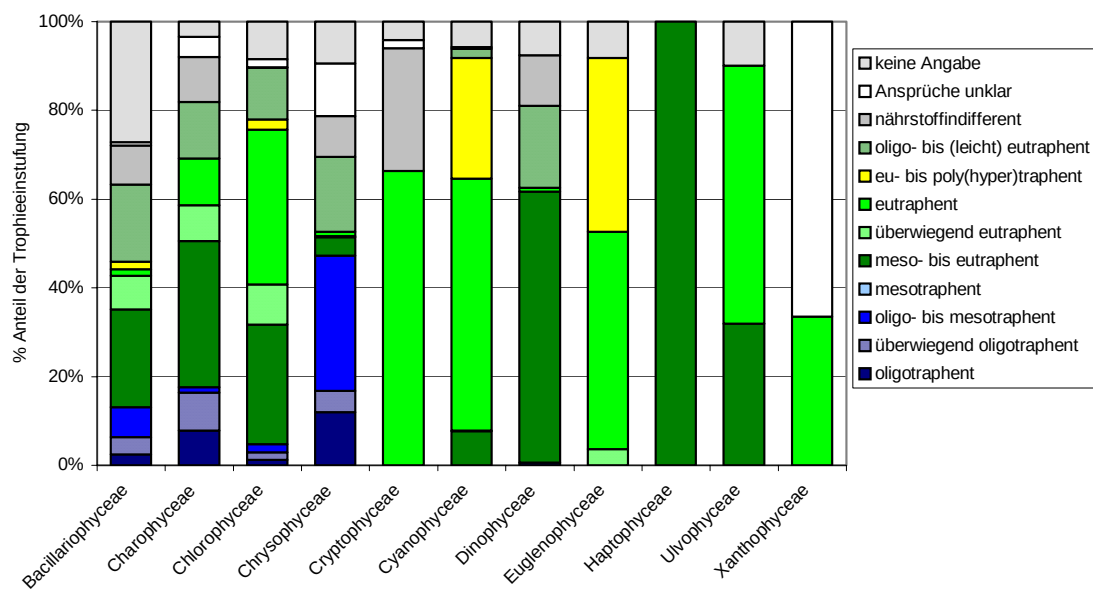


Abb. 11 Algenklassen mit Trophie-Verteilung in % – Mittelwerte unter Berücksichtigung der Biomasse auf Grundlage bayerischer Seebefunde

5.2.4.1 Trophie-Index

Mit den in der Datenbank „Autökologie“ zusammengefassten Trophie-indikativen Eigenschaften lässt sich ein Trophie-Index (TI_{PhyPla}) für Plankton berechnen. Die Trophie-Präferenz der Taxa wird hierzu in Trophie-Werte transformiert und entsprechend der Valenz gewichtet (Tab. 8). Den eng abgegrenzten Trophie-Beschreibungen werden dabei höhere und den weitere Bereiche umfassenden Trophie-Beschreibungen niedrigere Gewichtungen zugewiesen.

Tab. 8 Transformation der Trophie-Präferenz in Trophie-Werte mit Gewichtung

Trophie-Präferenz	Trophie-Wert	Gewichtung
oligotraphent	1	4
überwiegend oligotraphent	1,5	2
oligo- bis mesotraphent	1,5	4
mesotraphent	2	4
meso- bis eutraphent	2,5	4
überwiegend eutraphent	3	2
eutraphent	3	4
eu- bis poly(hyper)trophent	3,5	2
polytrophent	4	4
oligo- bis (leicht) eutraphent	2	1
nährstoffindifferent	2,5	1
Ansprüche unklar	-	-
ohne Angabe	-	-

Die Berechnung erfolgt nach der Gleichung:

$$TI-Index = \frac{\sum (Biomasse \cdot Trophie-Wert \cdot Gewichtung)}{\sum (Biomasse \cdot Gewichtung)}$$

Der Trophie-Index (TI_{PhyPla}) wird der klassischen trophischen Einstufung des Sees anhand der Parameter Phosphor, Chlorophyll a und Sichttiefe gegenübergestellt. Der Zusammenhang zwischen der klassischen Trophie und dem errechneten Trophie-Index wird mit dem Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman geprüft (Tab. 9). Für die Seetrophie eutroph-polytroph (Trophiewert 2,5)

Tab. 9 Korrelation zwischen Trophie und Trophie-Index nach Spearman

		T-Index _{PhyPla}
Seetrophie	Korrelationskoeffizient	0,504
	Signifikanz (2-seitig)	0,000
	N	129

Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 signifikant (2-seitig)

und polytroph (Trophiewert 3) liegen nur jeweils zwei bzw. drei Seenjahre jeweils eines Sees vor. Diese Daten wurden für die Korrelationsberechnung zusammengefasst.

Es ist eine mittlere aber hochsignifikante Korrelation (0,504) zwischen der Trophie-Einstufung eines Sees und des berechneten Trophie-Index über die Plankton-Taxa vorhanden. Die Darstellung in Form von Box-Plots (Abb. 12) verdeutlicht den Zusammenhang graphisch.

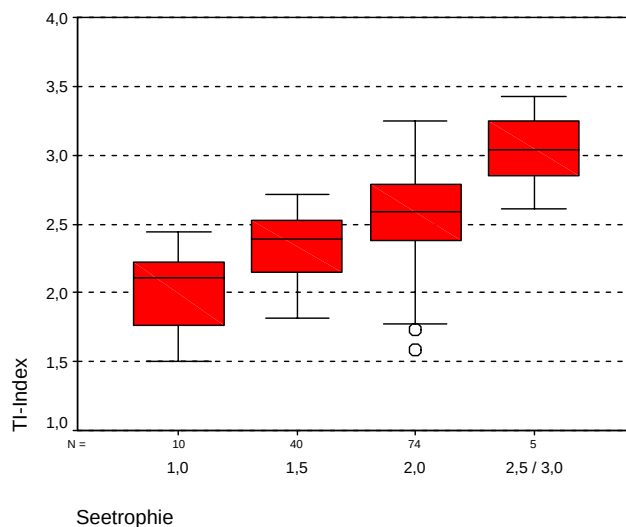


Abb. 12

Zusammenhang zwischen klassischer Trophie-Einstufung der Seen und dem Trophie-Index

*x-Achse: Seetrophie ermittelt nach den Kriterien Phosphor, Chlorophyll a und Sichttiefe
y-Achse: Trophie-Index errechnet auf der Basis der trophie-indikativen Eigenschaften des Phytoplanktons*

5.2.4.2 Trophie-Indikation und Typisierung über dominante Taxa

Im Folgenden wird der Versuch unternommen, über die Trophie-Bewertung hinausreichende Fragestellungen auf Grundlage der Indikationseigenschaften des Phytoplanktons zu beantworten. So kann mit den vorliegenden Informationen der Versuch einer ökologischen Typisierung im Sinne der Richtlinie vorgenommen und Abweichungen davon klassifiziert werden.

Da es nicht möglich ist, eine Typisierung der Seen anhand aller vorkommenden Taxa vorzunehmen, wird der Frage nachgegangen, ob anhand der dominant vorkommenden Algen eine trophische Beurteilung bzw. Typisierung möglich ist. Dafür wurden aus den Befunden jene Taxa herausgefiltert,

- die mindestens dreimal in einem Seenjahr nachgewiesen wurden und die mindestens in einem Untersuchungsbefund eine Dominanz > 10 % aufweisen,
- die darüber hinaus in vier weiteren Seenjahren (also insgesamt in fünf Seenjahren) diese Kriterien erfüllen und
- die in zwei dieser fünf Seenjahre auch im Jahresmittel eine Dominanz > 10 % auf sich vereinen.

Es handelt sich dabei um 30 Taxa, die in Tab. 10 mit der entsprechenden Trophie-Einstufung und der Algenklasse aufgelistet sind.

Tab. 10 Dominante Taxa in bayerischen Seen

Algenklasse	Trophie-Typ	Taxaname
Bacillariophyceae	oligotraphent	<i>Cyclotella bodanica</i>
		<i>Cyclotella distinguenda</i>
	überwiegend oligotraphent	<i>Cyclotella</i>
		<i>Cyclotella comensis</i>
	oligo- bis mesotraphent	<i>Aulacoseira subarctica</i>
		<i>Tabellaria flocculosa</i>
	meso- bis eutraphent	<i>Fragilaria ulna</i> var. <i>acus</i>
		<i>Stephanodiscus minutulus</i>
		<i>Stephanodiscus neoastraea</i>
	überwiegend eutraphent	<i>Fragilaria ulna</i>
Chrysophyceae	oligo- bis mesotraphent	<i>Cyclotella radiosa</i>
		<i>Fragilaria crotonensis</i>
	oligo- bis (leicht) eutraphent	<i>Tabellaria fenestrata</i>
		<i>Asterionella formosa</i>
Cryptophyceae	nährstoffindifferent (in allen Trophie-Typen)	<i>Cyclotella delicatula</i>
	ohne Angabe	<i>Chromulina</i>
	oligotraphent	<i>Dinobryon divergens</i>
	oligo- bis mesotraphent	<i>Uroglena americana</i>
Cyanophyceae	oligo- bis (leicht) eutraphent	<i>Mallomonas caudata</i>
	Ansprüche unklar; sehr unterschiedliche Charakterisierung	<i>Dinobryon sertularia</i>
	eutraphent	<i>Cryptomonas ovata</i>
	nährstoffindifferent (in allen Trophie-Typen)	<i>Rhodomonas minuta</i>
Dinophyceae	meso- bis eutraphent	<i>Planktothrix rubescens</i>
	eutraphent	<i>Limnithrix redekei</i>
		<i>Lyngbya limnetica</i>
	eu- bis poly(hyper)traphent	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>
Dinophyceae	ohne Angabe	<i>Oscillatoria tenuis</i>
	meso- bis eutraphent	<i>Ceratium hirundinella</i>
	oligo- bis (leicht) eutraphent	<i>Gymnodinium helveticum</i>
Dinophyceae	ohne Angabe	<i>Peridinium aciculiferum</i>

Um festzustellen, ob es zwischen dem Vorkommen bzw. der Biomasse der dominanten Taxa und der Trophie der Seen einen Zusammenhang gibt, wie stark dieser Zusammenhang ist und was sich über die Richtung und Art des Zusammenhangs aussagen lässt, wurde eine Chi-Quadrat-Analyse durchgeführt.

Hierfür war es notwendig, die prozentualen Biomasse-Anteile der dominanten Taxa entsprechend nachfolgender Zugehörigkeit (Tab. 11) in sieben Abundanzklassen umzurechnen, da metrische Variablen für diese Analyse ungeeignet sind.

Tab. 11 Umrechnung der Prozentualen Anteile in Abundanzklassen

Prozentualer Anteil	Abundanzklasse
$\leq 0,1$	1
$> 0,1 \text{ bis } \leq 1$	2
$> 1 \text{ bis } \leq 5$	3
$> 5 \text{ bis } \leq 10$	4
$> 10 \text{ bis } \leq 25$	5
$> 25 \text{ bis } \leq 50$	6
> 50	7

In Form einer Kreuztabelle (Tab. 12) wird die Summe der Abundanzklassen (beobachtete Häufigkeit) der dominanten Taxa für jede Trophie dargestellt. Berechnet wird die erwartete Häufigkeit als das Produkt der Zeilen und Spaltensumme dividiert durch die Gesamtsumme der Häufigkeiten. Die Residualhäufigkeit gibt an, wie stark beobachtete und erwartete Häufigkeiten voneinander abweichen.

Ein signifikanter Unterschied ($p < 0,01$) zwischen beobachteter und erwarteter Häufigkeit liegt dann vor, wenn das standardisierte Residuum einen Wert größer oder gleich 2,6 hat. Dies gilt aber nur, wenn die erwartete Häufigkeit mindestens 5 ist.

Tab. 12 Abundanzklassen dominanter Taxa gegen Seetrophie mit Angabe der erwarteten Anzahl und der daraus abgeleiteten Residuen (fett markierte Taxa weisen signifikant standardisierte Residuen auf)

Taxaname		Seetrophie			
		1,0 (oligotroph)	1,5 (mesotroph)	2,0 (eutroph)	2,5 (eutroph bis polytroph)
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	Anzahl	2	22	45	27
	Erwartete Anzahl	8,0	33,3	52,9	1,8
	Standardisierte Residuen	-2,1	-2,0	-1,1	18,8
<i>Asterionella formosa</i>	Anzahl	28	126	178	5
	Erwartete Anzahl	28,2	117,0	185,6	6,3
	Standardisierte Residuen	0,0	0,8	-0,6	-0,5
<i>Aulacoseira subarctica</i>	Anzahl	0	17	46	2
	Erwartete Anzahl	5,4	22,6	35,8	1,2
	Standardisierte Residuen	-2,3	-1,2	1,7	0,7
<i>Ceratium hirundinella</i>	Anzahl	31	143	213	3
	Erwartete Anzahl	32,6	135,4	214,7	7,3
	Standardisierte Residuen	-0,3	0,7	-0,1	-1,6
<i>Chromulina</i>	Anzahl	5	20	77	2
	Erwartete Anzahl	8,7	36,1	57,3	1,9
	Standardisierte Residuen	-1,3	-2,7	2,6	0,0
<i>Cryptomonas ovata</i>	Anzahl	33	138	313	2
	Erwartete Anzahl	40,6	168,7	267,6	9,1
	Standardisierte Residuen	-1,2	-2,4	2,8	-2,4
<i>Cyclotella</i>	Anzahl	10	41	22	7
	Erwartete Anzahl	6,7	27,8	44,0	1,5
	Standardisierte Residuen	-1,3	2,6	-3,3	4,5
<i>Cyclotella bodanica</i>	Anzahl	19	13	9	0
	Erwartete Anzahl	3,4	14,2	22,6	0,8
	Standardisierte Residuen	8,4	-0,3	-2,9	-0,9
<i>Cyclotella comensis</i>	Anzahl	46	44	33	0
	Erwartete Anzahl	10,3	42,7	67,7	2,3
	Standardisierte Residuen	11,1	0,2	-4,2	-1,5
<i>Cyclotella delicatula</i>	Anzahl	15	20	22	0
	Erwartete Anzahl	4,8	19,8	31,4	1,1
	Standardisierte Residuen	4,7	0,0	-1,7	-1,0
<i>Cyclotella distinguenda</i>	Anzahl	12	22	42	0
	Erwartete Anzahl	6,4	26,4	41,8	1,4
	Standardisierte Residuen	2,2	-0,9	0,0	-1,2
<i>Cyclotella radiosa</i>	Anzahl	19	54	92	5
	Erwartete Anzahl	14,2	59	93,6	3,2
	Standardisierte Residuen	1,3	-0,7	-0,2	1,0
<i>Dinobryon divergens</i>	Anzahl	24	97	131	2
	Erwartete Anzahl	21,2	88,2	139,9	4,8
	Standardisierte Residuen	0,6	0,9	-0,7	-1,3
<i>Dinobryon sertularia</i>	Anzahl	9	33	91	0
	Erwartete Anzahl	11,1	46,2	73,2	2,5
	Standardisierte Residuen	0,6	-1,9	2,1	-1,6
<i>Fragilaria crotonensis</i>	Anzahl	15	142	150	2
	Erwartete Anzahl	25,8	107,2	170,1	5,8
	Standardisierte Residuen	-2,1	3,4	-1,5	-1,6

Taxaname		Seetrophie			
		1,0 (oligotroph)	1,5 (mesotroph)	2,0 (eutroph)	2,5 (eutroph bis polytroph)
<i>Fragilaria ulna</i>	Anzahl	6	14	57	1
	Erwartete Anzahl	6,5	27,1	42,9	1,5
	Standardisierte Residuen	-0,2	-2,5	2,1	-0,4
<i>Fragilaria ulna</i> var. <i>acus</i>	Anzahl	18	120	179	5
	Erwartete Anzahl	26,9	111,8	177,3	6,0
	Standardisierte Residuen	-1,7	0,8	0,1	-0,4
<i>Gymnodinium helveticum</i>	Anzahl	33	122	179	2
	Erwartete Anzahl	28,1	116,6	185	6,3
	Standardisierte Residuen	-0,9	0,5	-0,4	-1,7
<i>Limnithrix redekei</i>	Anzahl	0	0	96	0
	Erwartete Anzahl	8,0	33,3	52,9	1,8
	Standardisierte Residuen	-2,8	-5,8	5,9	-1,3
<i>Lyngbya limnetica</i>	Anzahl	0	8	36	0
	Erwartete Anzahl	3,7	15,3	24,2	0,8
	Standardisierte Residuen	-1,9	-1,9	2,4	-0,9
<i>Mallomonas caudata</i>	Anzahl	2	22	81	3
	Erwartete Anzahl	9,0	37,5	59,5	2,0
	Standardisierte Residuen	-2,3	-2,5	2,8	0,7
<i>Oscillatoria tenuis</i>	Anzahl	0	19	16	7
	Erwartete Anzahl	3,5	14,6	23,1	0,8
	Standardisierte Residuen	-1,9	1,2	-1,5	7,0
<i>Peridinium aciculiferum</i>	Anzahl	0	23	23	0
	Erwartete Anzahl	3,8	16,0	25,3	0,9
	Standardisierte Residuen	-2,0	1,8	-0,5	-0,9
<i>Planktothrix rubescens</i>	Anzahl	9	80	65	1
	Erwartete Anzahl	13,0	53,8	85,3	2,9
	Standardisierte Residuen	-1,1	3,6	-2,2	-1,1
<i>Rhodomonas minuta</i>	Anzahl	31	126	195	5
	Erwartete Anzahl	30,0	124,6	197,7	6,7
	Standardisierte Residuen	0,2	0,3	-0,2	-0,7
<i>Stephanodiscus minutulus</i>	Anzahl	6	8	62	2
	Erwartete Anzahl	6,5	27,1	42,9	1,5
	Standardisierte Residuen	-0,2	-3,7	2,9	0,4
<i>Stephanodiscus neoastrea</i>	Anzahl	6	72	36	0
	Erwartete Anzahl	9,5	39,6	62,8	2,1
	Standardisierte Residuen	-1,1	5,2	-3,4	-1,5
<i>Tabellaria fenestrata</i>	Anzahl	3	32	42	3
	Erwartete Anzahl	6,7	27,8	44,0	1,5
	Standardisierte Residuen	-1,4	0,8	-0,3	1,2
<i>Tabellaria flocculosa</i>	Anzahl	8	38	7	0
	Erwartete Anzahl	4,4	18,4	29,2	1,0
	Standardisierte Residuen	1,7	4,6	-4,1	-1,0
<i>Uroglena americana</i>	Anzahl	3	14	51	2
	Erwartete Anzahl	5,9	24,3	38,5	1,3
	Standardisierte Residuen	-1,2	-2,1	2,0	0,6

Eine signifikante Häufung dominanter Taxa entsprechend den o. g. Kriterien weist diese Arten als Indikatoren der entsprechenden Trophie-Stufe aus. Zum Beispiel liegt eine signifikante Häufung für *Cyclotella comensis* in oligotrophen Seen vor und ein signifikantes Defizit in eutrophen Seen. In Tab. 13 sind jene Indikatoren aufgeführt, für die signifikante Häufungen berechnet wurden und die als Grundlage für die weitere Auswertung hinsichtlich Gruppenbildung ähnlicher Seen Eingang finden.

Tab. 13 Indikative dominante Taxa mit Angabe der durch sie angezeigten Trophie-Stufe

Algenklasse	Taxaname	Trophie-Stufe
Bacillariophyceae	<i>Cyclotella</i>	überwiegend oligotraphent
	<i>Cyclotella comensis</i>	überwiegend oligotraphent
	<i>Fragilaria crotonesis</i>	oligo- bis (leicht) eutrathent
	<i>Stephanodiscus minutulus</i>	meso- bis eutrathent
	<i>Stephanodiscus neoastrae</i>	meso- bis eutrathent
	<i>Tabellaria flocculosa</i>	oligo- bis mesotraphent
Cyanophyceae	<i>Limnothrix redekei</i>	eutrathent
	<i>Planktothrix rubescens</i>	meso- bis eutrathent
Chrysophyceae	<i>Chromulina</i>	oligotraphent
	<i>Mallomonas caudata</i>	oligo- bis (leicht) eutrathent
Cryptophyceae	<i>Cryptomonas ovata</i>	eutrathent

5.2.5 Typisierung der Seen auf der Basis von Trophie-Indikatoren unter Berücksichtigung der Biomasse

Im Folgenden wird der Versuch unternommen, auf der Basis der Trophie-Indikatoren (Kap. 5.2.4) eine Typisierung der Seen abzuleiten.

Zur Strukturierung der umfangreichen Datensätze wird die Clusteranalyse verwendet. Das Verfahren hat zwei grundlegende Schritte:

- Wahl des Proximitäts-Maßes (Maß, das die Quantifizierung der Ähnlichkeit zwischen Objekten ermöglicht): Als qualitatives Kriterium wird die Artenzusammensetzung – reduziert auf dominante Taxa – verwendet. Zusammen mit den prozentualen Anteilen dieser Taxa wird zunächst eine Faktorenanalyse durchgeführt. Die Variablen werden dafür zu einem Faktor zusammengefasst. Für jedes Seenjahr wird anhand der Faktoren ein neuer Wert errechnet, der schließlich in die Clusteranalyse eingeht. Als quantitatives Maß geht dabei die mittlere Jahresbiomasse der Seenjahre ein. Da der Wertebereich der Faktoren und der Biomasse voneinander sehr verschieden sind, wird eine z-Transformation vorgeschaltet, die die Variablenwerte auf einen einheitlichen Wertebereich von etwa -3 bis $+3$ standardisiert.
- Wahl des Fusionierungs-Verfahrens (Cluster-Algorithmus): Aufgrund der Ähnlichkeitswerte werden Gruppen zusammengefasst. Als Fusionierungsverfahren wurde die Methode „Linkage zwischen den Gruppen“ gewählt.

Das Cluster der aggregierten Daten der 129 Seenjahre zeigt eine deutliche Differenzierung einzelner Seen bzw. Seengruppen, die sich auf sieben Cluster aufteilen (Tab. 14).

Tab. 14 Clusteranalytischer Vergleich der Seen auf der Basis von Trophie-Indikatoren und der Biomasse (Linkage zwischen den Gruppen)

Seename	Jahr	0	5	10	15	20	25	
		-----+	-----+	-----+	-----+	-----+	-----+	
Lustsee	1997	-+						Gruppe 1
Lustsee	1998	-+						
Luss See	2002	-+						
Langwieder See	2002	-+						
Lustsee	1999	-----+						
Lustsee	2000	-+		I				
Froschhauser See	1997	-+		I				
Königssee	2000	-+		-----+				
Ammersee	1998	-----+		I	I			
Walchensee	2003	-+	++	I	I			
Froschhauser See	1998	-----+	-----+		-----+			Gruppe 2
Weissensee	1998	-----+		I	I	I		
Barmsee	2002	-----+		I	I	I		
Tegernsee (Haupt)	1992	-+	I		I	I		
Ammersee	1993	-+		-----+		I		
Chiemsee (Weitsee)	2003	-----+	I			I		
Ammersee	1994	-+	I	I		I		
Waginger See	2001	-+	-----+			I		
Tachinger See	2001	-+	I			I		
Ammersee	1995	-----+				I		
Soyensee	1997	-+				I		Gruppe 3
Sulzberger See	1997	---+				I		
Niedersonth. See	1997	-+ +---				I		
Ammersee	1990	---+	I			++		
Bannwaldsee	1998	---+	I			I I		
Fischkalter See	1986	-+	-----+			I I		
Hopfensee	1997	---+	I	I		I I		
Hopfensee	1996	-+ I	I	I		I I		
Rothsee (Hauptsp)	2000	-+ +---		I		I I		
Rothsee (Vorsp.)	2000	-+ I		I		I I		
Fischkalter See	1988	---+		I		I I		Gruppe 4
Ammersee	2000	-+		I		I I		
Ammersee	1996	---+		I		I I		
Walchensee	1995	-+ +---		I		I I		
Bannwaldsee	1997	-+ I	I	I		I I		
Ostersee	2001	---+	I	I		I I		
Ammersee	1989	-+	I	I		I I		
Pilsensee	2003	-+	I	-----+		I		
Waginger See	1996	-----+	I	I		I		
Staffelsee (Südb.)	1992	-+ I I		I		I		
Chiemsee (Aiterb.)	1993	---+ I +---		I		I		Gruppe 5
Staffelsee (West.)	1992	-+ I ++	I	I		I		
Ammersee	2001	-+ I I I	I	I		I		
Tachinger See	1996	---+ I I	I	I		I		
Ammersee	1988	-+ ++	I	I		I		
Waginger See	1992	-+ I	I	I		I		
Kirchsee	2001	---+	I	I		I		
Tegernsee (Haupt.)	1991	-+ I	I	I		I		
Ammersee	1987	-+ I	I	I		I		
Staffelsee	1992	-+ I	I	-----+		-----+		
Chiemsee (Aiterb.)	2003	---+	I	I		I	I	Gruppe 6
Chiemsee (Weitsee)	1993	-+	I	I		I	I	
Chiemsee (Weitsee)	1995	-+	I	I		I	I	
Wesslinger See	2001	-+	I	I		I	I	
Chiemsee (Aiterb.)	1995	-----+	I			I	I	
Ammersee	2002	-----+	I			I	I	
Weissensee	1997	-+ +-----	I			I	I	
Kochelsee	2003	-----+	I I			I	I	
Obersee	2000	-+		I I		I	I	
Kochelsee	1989	-+	++			I	I	
Kochelsee	1990	---+	I			I	I	Gruppe 7
Ammersee	1999	-+ +---	I			I	I	
Ammersee	1992	---+	I I			I	I	
Ammersee	1997	-+	-----+			I	I	
Kochelsee	1991	---+	I			I	I	
Tachinger See	1992	-+ +---				I	I	
Starnberger See	1997	---+				I	I	
Wörthsee	2002	-+				I	I	

Fortsetzung Tabelle

Seename	Jahr	0	5	10	15	20	25	
		+	-----+	-----+	-----+	-----+	-----+	
Hopfensee	2000	---+	-----+			I	I	
Obinger See	1997	---+		I		I	I	
Alpsee (Immenst.)	2002	-+		I		I	I	
Simssee	2003	-+---		I		I	I	
Alpsee bei Füßen	2001	-+	I	I		I	I	
Bannwaldsee	2001	-+	I	I		I	I	
Bayersoiener See	1995	-+	I	I		I	I	
Sulzberger See	1998	-+	I		-----+		I	
Alpsee (Immenst.)	2000	-+ +	-----+	I			I	
Hopfensee	2001	-+	I I	I			I	
Niedersonth. See	2000	-+	I I	I			I	
Weissensee	2000	-+	I I	I			I	
Niedersonth. See	2001	-+	I I	I			I	
Spitzingsee	1998	-+ +	I	I			I	
Niedersonth. See	2002	-+	I	I			I	
Alpsee	1997	-+	I	-----+			I	
Weissensee	2001	-+	I	I			I	
Alpsee (Immenst.)	2001	-+ +	I				I	
Bannwaldsee	2000	-+	I	I			I	
Spitzingsee	1997	-+	I	I			I	
Rottachsee	2000	-+	I	I			I	
Riegsee	2002	---+	I				I	
Bayersoiener See	1996	-----+					I	
Schliersee	1987	-+					I	
Wesslinger See	1988	-+					I	
Schliersee	1986	-+					I	
Schliersee	1988	-+-----+					I	
Wesslinger See	1986	-+	I				I	
Schliersee	1984	-+	I				I	
Wesslinger See	1987	-+	-----+				I	
Schliersee	1996	-+	I	I			I	
Schliersee	1991	-+	I	I			I	
Schliersee	1992	-+ +	I	I			I	
Schliersee	1993	-+ +-----+	I				I	
Schliersee	1990	---+	I				I	
Bayersoiener See	1997	---+-----+	-----+				I	
Hopfensee	1998	---+	I	I	I		I	
Schliersee	1985	-+ +	I	I	I		I	
Wesslinger See	1989	-+	I	I	I		I	
Bayersoiener See	1993	-+	I	I	I		I	
Obinger See	1987	-+	I	I	I		I	
Bayersoiener See	1990	-+	I	I	I		I	
Bayersoiener See	1994	-+	I	-----+	I		I	
Bayersoiener See	1991	-+	I	I	I		I	
Fischkalter See	1987	-+ +	I	I			I	
Obinger See	1988	-+ + +	I	I			I	
Obinger See	1985	-+	I I I		-----+			
Obinger See	1989	-+	I I I	I				
Obinger See	1986	-+	I I I	I				
Altmühlsee	1994	-+	I +	I				
Obinger See	1984	-+	I I	I				
Bayersoiener See	1992	---+	I	I				
Altmühlsee	1997	-+	I	I				
Rothsee (Hauptsp.)	2002	-+ +	I	I				
Altmühlsee	2001	-+ + +	I					
Sulzberger See	1996	---+		I				
Hofstätter See	2003	-+-----+		I				
Rothsee (Vorsp.)	2002	-+	-----+	I				
Altmühlsee	1995	---+ +	-----+					
Pelhamer See	1997	---+	I					
Chiemsee (Rutten.)	1993	-----+						

Gruppe 5

Gruppe 6

Gruppe 7

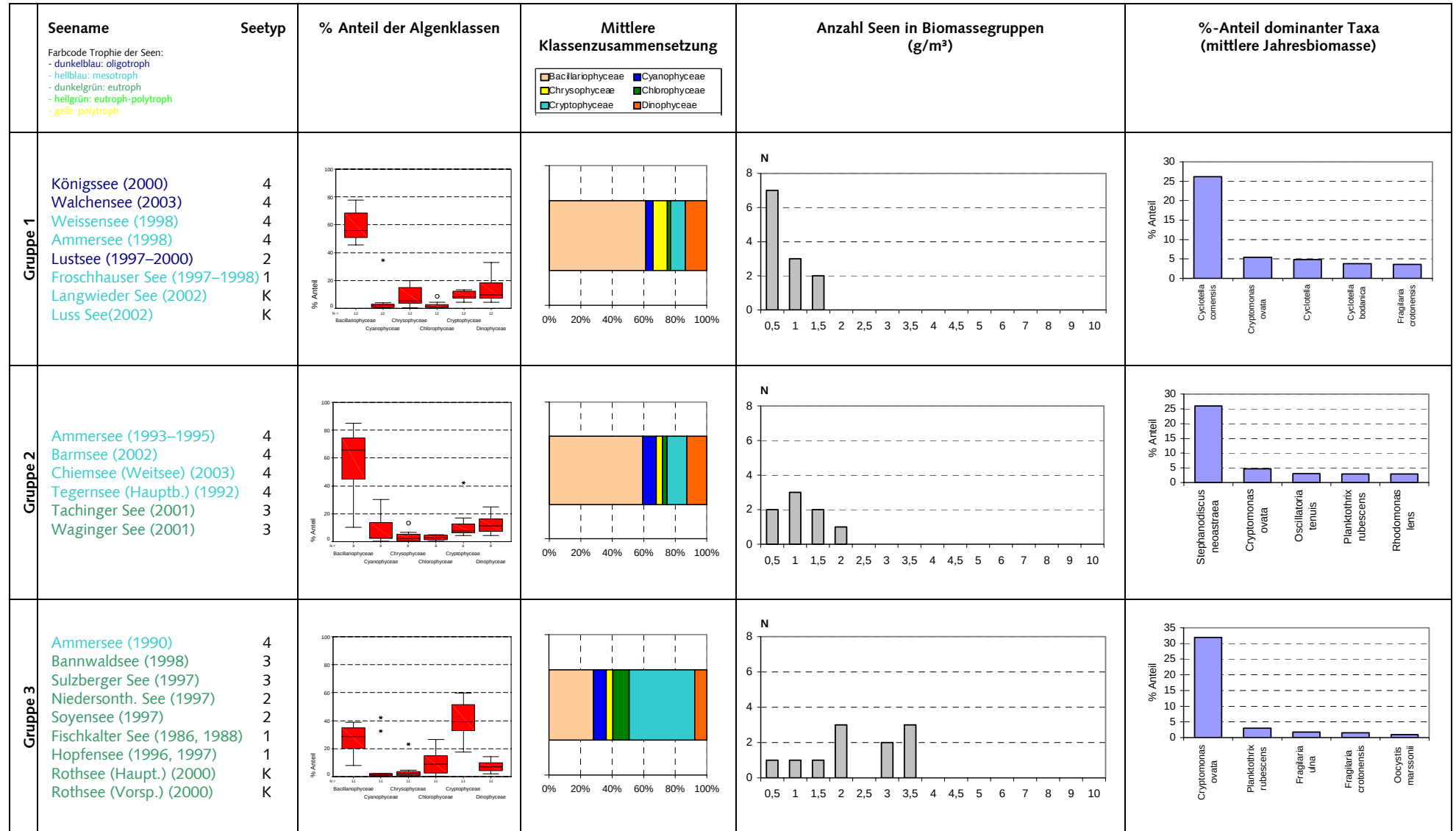
5.2.5.1 Beschreibung der Seengruppen

Auf Grundlage der Clusteranalyse können nun die gruppierten Seenjahre hinsichtlich folgender Kriterien beschrieben werden:

- prozentualer Anteil der wichtigsten Algenklassen der Seen in einer Gruppe (dargestellt in Form von Boxplots)
- mittlere prozentuale Algenklassen-Zusammensetzung die die Seengruppe charakterisieren
- den Biomassegruppen zugeordnete Anzahl der Seen: Die Gruppierung der Biomasse erfolgte bis $4,5 \text{ g/m}^3$ in $0,5 \text{ g/m}^3$ -Schritten, anschließend in 1 g/m^3 -Abständen. So ist z. B. ein See mit einer mittleren Jahresbiomasse von $1,2 \text{ g/m}^3$ der Biomassegruppe 1,5 zugeordnet
- die fünf dominanten Taxa einer jeden Gruppe mit ihrem prozentualen Anteil an der mittleren Jahresbiomasse der Seen (Mittelwert)

In Abb. 13 sind die o. g. Kriterien grafisch dargestellt. Die eine Gruppe charakterisierenden Seenjare sind entsprechend ihrer Trophie farblich gekennzeichnet und dem Seentyp nach MATHES et al. (2002) (siehe Kapitel 5.2.5) zugeordnet. In der nachfolgenden Gruppenbeschreibung werden die Ergebnisse sowohl mit der Typzuordnung nach MATHES et al. (2002) als auch mit der Seetrophie nach VOLLENWEIDER (1979) verglichen und Abweichungen diskutiert. Eine zusammenfassende Darstellung der Clustergruppen mit den Kriterien „Algenklassen“, „Biomasse“ und „indikative Taxa“ findet sich anschließend in Tab. 17.

Abb. 13 Grafische Charakterisierung der Seengruppen



	Seename	Seetyp	% Anteil der Algenklassen	Mittlere Klassenzusammensetzung	Anzahl Seen in Biomassegruppen (g/m³)	%-Anteil dominanter Taxa (mittlere Jahresbiomasse)
	Farbcode Trophie der Seen: - dunkelblau: oligotroph - hellblau: mesotroph - dunkelgrün: eutroph - hellgrün: eutroph-polytroph - gelb: polytroph			Bacillariophyceae Cyanophyceae Chrysophyceae Chlorophyceae Cryptophyceae Dinophyceae		
Gruppe 4	Obersee (2000)	4				
	Walchensee (1995)	4				
	Ammersee (1987, 1989, 1992, 1996, 1997, 1999–2002)	4				
	Chiemsee (Weit.) (1993, 1995)	4				
	Kochelsee (1990, 2003)	4				
	Staffelsee (1992)	3				
	Starnberger See (1997)	3				
	Tegernsee (Hauptb.) (1991)	4				
	Weissensee (1997)	4				
	Wörthsee (2002)	3				
	Bannwaldsee (1997)	3				
	Tachingen See (1992, 1996)	3				
	Wagingen See (1992, 1996)	3				
	Kirchsee (2001)	2				
	Pilsensee (2003)	2				
	Wesslinger See (2001)	3				
	Ostersee (2001)	2				
	Chiemsee (Ait.) (1993, 1995)	1				
Gruppe 5	Alpsee bei Füssen (2001)	4				
	Weissensee (2000, 2001)	4				
	Gr. Alpsee (1997, 2000–2002)	4				
	Bannwaldsee (2000–2001)	3				
	Riegsee (2002)	3				
	Simssee (2003)	3				
	Sulzberger See (1998)	3				
	Niedersonth. See (2000–2002)	2				
	Obinger See (1997)	2				
	Spitzingsee (1997, 1998)	2				
	Bayersoiener See (1995, 1996)	1				
	Hopfensee (2000, 2001)	1				

	Seename	Seetyp	% Anteil der Algenklassen	Mittlere Klassenzusammensetzung	Anzahl Seen in Biomassegruppen (g/m³)	%-Anteil dominanter Taxa (mittlere Jahresbiomasse)
	Farbcode Trophie der Seen: - dunkelblau: oligotroph - hellblau: mesotroph - dunkelgrün: eutroph - hellgrün: eutroph-polytroph - gelb: polytroph			Bacillariophyceae Cyanophyceae Chrysophyceae Chlorophyceae Cryptophyceae Dinophyceae		
Gruppe 6	Rottachsee (2000)	K				
	Schliersee (1984-1988, 1990–1993, 1996)	4				
	Sulzberger See (1996)	3				
	Wesslinger See (1986–1989)	3				
	Obinger See (1984–1989)	2				
	Bayersoienersee (1990–1994, 1997)	1				
	Fischkalter See (1987)	1				
	Hopfensee (1998)	1				
	Rothsee (Hauptsp.) (2002)	K				
	Altmühlsee (1994, 1997)	K				
	Altmühlsee (2001)	K				
Gruppe 7	Chiemsee (Ruttengr.) (1993)	4				
	Pelhamer See (1997)	2				
	Hofstättsee (2003)	1				
	Rothsee (Vorsp.) (2002)	K				
	Altmühlsee (1995)	K				

Gruppe 1:

Diese Gruppe wird charakterisiert durch einen hohen Anteil an Bacillariophyceae ($> 50\%$), geringe Biomassen ($< 1,5 \text{ g/m}^3$) und eine hohe Dominanz im Jahresmittel an *Cyclotella*, insbesondere *Cyclotella comensis*. Im oligotrophen Königssee wird das einzig dominante Vorkommen (41%) an *Cyclotella bodanica* nachgewiesen. Im ungeschichteten Froschhauser See mit Biomassen $> 1 \text{ g/m}^3$ sind es *Cyclotella delicatula* und *Cyclotella distinguenda*, die die Dominanz bestimmen. Die genannten *Cyclotella*-Taxa sind als oligotrophente Arten oder Indikatoren nährstoffarmer Verhältnisse eingestuft. Ihre Dominanz und die geringe Biomasse kennzeichnen somit Seen, die nach der klassischen Trophie-Einstufung oligotroph oder mesotroph sind.

Gemäß der Seetypologie (MATHES et al. 2002) können die Seen $> 50 \text{ ha}$ dem Typ 4 (Alpenseen, kalkreich, geschichtet) und die Seen $< 50 \text{ ha}$ dem Typ 1 (Voralpensee, großes Einzugsgebiet, ungeschichtet), Typ 2 (Voralpensee, großes Einzugsgebiet, geschichtet) und dem Typ „künstliche Seen“ zugeordnet werden.

Gruppe 2:

Hoher Anteil an Bacillariophyceae ($> 50\%$) und geringe Biomassen ($< 1,5 \text{ g/m}^3$) sind kennzeichnend für diese Gruppe. Dominant vorkommend ist die meso- bis eutraphente Art *Stephanodiscus neoastrea*, die im Ammersee (Seenjahre 1993, 1994), Tachinger See (Seejahr 2001) und Waginger See (Seejahr 2001) im Jahresmittel eine Dominanz zwischen 20 und 70% aufweist. Ebenso dominant ist die meso- bis eutraphent eingestufte *Aulacoseira subarctica*, die im Chiemsee, Messstelle Weitsee (Seejahr 2003) 43% der Gesamtbiomasse ausmacht. Nicht ganz in diese Gruppe fügt sich der Ammersee (Seenjahr 1995) ein. *Stephanodiscus neoastrea* ist zwar im Ammersee noch dominant (11%), jedoch wird in diesem See die Planktonbiomasse nicht von Bacillariophyceae sondern von Cryptophyceae-Taxa wie *Cryptomonas ovata* und *Rhodomonas lens* bestimmt.

Nicht zugeordnet werden kann der Tegernsee mit der Messstelle Hauptbecken (Seejahr 1992) mit der hohen Dominanz (47%) an nicht näher bestimmbareren Coscinodiscoideae und der Barmsee (Seejahr 2002) mit den dominant vorkommenden Taxa *Ceratium hirundinella* und *Oscillatoria tenuis*.

Die mesotrophen Seen dieser Gruppe lassen sich den geschichteten Alpenseen (Typ 4), die eutrophen Seen den geschichteten Voralpenseen mit kleinem Einzugsgebiet (Typ 3) (nach MATHES et al. 2002) zuordnen.

Gruppe 3:

Diese Seengruppe wird vorrangig durch den hohen Anteil der eutraphent eingestuften Art *Cryptomonas ovata* ($> 25\%$) charakterisiert. Mit Ausnahme von drei Seenjahren liegt die Biomasse zwischen $1,5$ und $3,5 \text{ g/m}^3$ und somit deutlich höher als in Gruppe 1 und 2.

Sowohl im Ammersee (Seejahr 1990) als auch im Fischkaltersee (Seejahr 1988) ist *Cryptomonas ovata* mit ca. 11% prägend hinsichtlich der Planktonzusammensetzung, jedoch nicht in der Weise

wie in den übrigen Seenjahren dieser Gruppe. Da die Biomasse des Ammersees von *Planktothrix rubescens* (32 %) bestimmt wird, wäre eher eine Zuordnung zur Gruppe 4 zu erwarten. Beim Fischkalter See führt der hohe Anteil (20 %) an nicht differenziert bestimmten Coscinoscidae zu einer Fehlzusammenfassung.

Mit Ausnahme des Ammersees sammeln sich in dieser Gruppe die eutrophen Seen.

Die in dieser Gruppe zusammengefassten Seen lassen sich nach MATHES et al. (2002) den drei Voralpensee-Typen sowie dem Sondertyp „künstliche Seen“ zuordnen.

Gruppe 4:

In dieser Gruppe sind jene Seen zusammengefasst, die durch folgende dominante Taxa charakterisiert sind:

- Bacillariophyceae *Fragilaria crotonensis* (oligo- bis (leicht) eutraphent)
- Cyanophyceae *Planktothrix rubescens* (meso- bis eutraphent)
- Cryptophyceae *Cryptomonas ovata* (eutraphent)

Die erste Untergruppe lässt sich durch das Vorkommen der oligo- bis (leicht) eutraphenten Art *Fragilaria crotonensis* definieren. In zehn von 14 Seenjahren ist diese Art mit > 10 % dominant. Gemeinsam mit dieser Art sind auch vereinzelt *Fragilaria ulna angustissima*- Sippen, *Fragilaria ulna* var. *acus*, *Stephanodiscus neoastraea* oder *Tabellaria flocculosa* dominant vertreten. Trophisch sind diese Arten als oligo- bis mesotraphent, oligo- bis (leicht) eutraphent und meso- bis eutraphent einzustufen. Zusammen erreichen diese Arten mehr als 20 % der Biomasse. Der Chiemsee zeichnet sich darüber hinaus durch das einzige dominante Vorkommen von *Aulacoseira subarctica* (oligo- bis mesotraphent) aus. Die Jahresbiomassen dieser Seen liegen unter 1,5 g/m³. Die Trophie dieser Seen ist einmal oligo- und einmal eutroph, ansonsten mesotroph. Die Seen sind dem Typ 4 (Alpensee, kalkreich, geschichtet), Typ 2 (Voralpensee, großes Einzugsgebiet, geschichtet) und Typ 1 (Voralpensee, großes Einzugsgebiet, ungeschichtet) (nach MATHES et al. 2002) zuzuordnen.

In der zweiten Untergruppe ist die für meso- bis eutrophe Verhältnisse stehende *Planktothrix rubescens* (> 25 %) die bestimmende Art. Es wurden acht Seenjahre von vier Seen der Seetypen 4 und 2 (MATHES et al. 2002) in dieser Gruppe zusammengefasst. Die Trophie der Seen reicht von oligo- bis eutroph.

Die dritte Untergruppe zeichnet sich durch einen Cryptophyceae-Anteil > 25 % der Gesamtbiomasse aus. Hauptvertreter ist die als eutraphent eingestufte Art *Cryptomonas ovata*, die in der Regel einen Anteil von mehr als 15 % an der Jahresbiomasse erreicht, in einem Fall ist es *Cryptomonas erosa*. Als subdominante Arten treten darüber hinaus *Rhodomonas lens*, *R. minuta* und *R. lacustris* auf. Die Jahresbiomasse liegt mehrheitlich unter 0,5 g/m³ und nur in einem Seenjahr über 1 g/m³. Die Seen dieser Gruppe sind meso- und eutraphent und den Seetypen 3 und 4 nach MATHES et al. (2002) zugeteilt.

Acht Seenjahre lassen sich nicht eindeutig einer Untergruppe zuordnen. Für den Tegernsee (Seejahr 1991) und den Tachingen See (Seejahr 1992) ist eine Zuordnung nicht möglich, weil die Bestimmung im Bereich der relevanten Kieselalgenarten sich auf Familienniveau beschränkt. Im Fall des Kochelsees (Seenjahre 1989, 1991), Waginger Sees (Seenjahre 1992, 1996), Chiemsees (Aiterb. Winkel; Seejahr 1995) und Kirchsees (Seejahr 2001) sind Arten der Chrysophyceen und Dinophyceen dominant, die nur in wenigen Seen eine Rolle spielen und die deshalb sowohl in der Faktorenanalyse als auch in der Clusterung nicht gesondert berücksichtigt wurden. Der Wörthsee (Seejahr 2003) gehört sicher nicht in diese Gruppe, sondern vielmehr in die Gruppe 1, da er durch einen hohen Biomasseanteil der oligotraphenten Art *Cylotella cyclopuncta* gekennzeichnet ist. Diese Art besitzt jedoch nur in diesem See eine ausgeprägte Dominanz und konnte deshalb bei der Auswahl der dominanten Taxa über die beschriebene Methode (s. Kap. 5.2.4.2) nicht berücksichtigt werden. Ähnlich verhält es sich beim Obersee (Seejahr 2000), der zwar über die Dominanz an *Fragilaria*-Taxa der Gruppe 4 zugeordnet wird, aber über die deutlich höhere Dominanz an *Cyclotella bodanica* ebenso die Kriterien der Gruppe 1 erfüllt.

Gruppe 5:

Die Seenjahre dieser Gruppe sind durch folgende dominante Taxa aus vier Algenklassen charakterisiert:

- Cryptophyceae *Cryptomonas ovata* (eutraphent)
- Chrysophyceae *Mallomonas caudata* (oligo- bis (leicht) eutraphent)
 Chromulina (oligotraphent)
- Bacillariophyceae *Stephanodiscus minutulus* (meso- bis eutraphent)
 Fragilaria crotonensis (oligo- bis (leicht) eutraphent)

Wie in Gruppe 4 ist auch hier das dominant vorkommende Taxon *Cryptomonas ovata* unter den Cryptophyceen als dominant vorkommendes Taxon beschrieben. Begleitende subdominante Taxa dieser Gruppe sind *Cryptomonas erosa*, *Cryptomonas marssonii*, *Cryptomonas rostratiformis*, *Rhodomonas lacustris* und *Rhodomonas minuta*, deren trophische Indikation weitgehend als indifferent oder unklar eingestuft ist. Die Jahresbiomasse liegt in der Regel zwischen 0,5 und 1 g/m³, erreicht in Einzelfällen aber auch 2,5 g/m³. In dieser Gruppe sind alle Seetypen (nach MATHES 2002) vertreten. Mit Ausnahme des Weissensee (mesotroph) liegt die Trophie der Seen im eutrophen Bereich.

Den Unterschied zur durch ebenfalls von Cryptophyceen geprägten Seengruppe 4 verdeutlicht die Tab. 15 (mittlerer prozentualer Anteil der Algenklassen) sowie Tab. 16 (Mittelwerte der Jahresbiomasse und einiger physikalisch-chemischer Parameter).

Tab. 15 Mittlerer prozentualer Anteil der Algenklassen in Gruppe 4 und 5

Algenklasse	Proz. Anteil an der Gesamtbiomasse	
	Gruppe 4	Gruppe 5
Bacillariophyceae	39,23	20,82
Chrysophyceae	7,20	13,45
Haptophyceae	0,44	0,70
Chlorophyceae	5,54	11,41
Charophyceae	0,97	1,22
Cryptophyceae	28,50	28,37
Dinophyceae	13,48	12,56
Euglenophyceae	0,20	2,82
Cyanophyceae	4,11	6,84

Tab. 16 Mittlere Biomasse und physikalisch-chemische Parameter der Gruppe 4 und 5

	Einheit	Gruppe 4	Gruppe 5
Mittlere Biomasse	g/m ³	0,55	1,64
P ges	µg/l	15,44	41,49
Chlorophyll a	µg/l	5,10	9,98
Sichttiefe	m	4,22	2,44
Trophie		mesotroph	eutroph

Der Anteil an Cryptophyceen ist in beiden Gruppen mit 28 % nahezu identisch. In Gruppe 4 bilden aber die Kieselalgen mit 39 % die biomassestärkste Gruppe, die in Gruppe 5 an zweiter Stelle hinter den Cryptophyceen mit nur 20 % vorkommt. Andere Algenklassen wie die Chloro- und Chrysophyceen sind deutlich stärker in Gruppe 5 vertreten. Der Mittelwert der Jahresbiomassen und der Mittelwert der Phosphorkonzentration ist bei den Seen der Gruppe 5 doppelt so hoch wie jener der Gruppe 4. Entsprechend umgekehrt verhält es sich für die Sichttiefe.

Mallomonas caudata (Chrysophyceae) ist in Gruppe 5 die Art mit der zweithöchsten Dominanz. Sie ist als oligo- bis (leicht) eutraphent eingestuft. Die hierfür charakteristischen drei Seen weisen Biomassen von > 0,5 bis 2,5 g/m³ auf, sind mesotroph und lassen sich den Seentypen 2 und 3 (MATHES et al. 2002) zuordnen. Darüber hinaus tritt in weiteren Seen die als oligotraphent beschriebene Gattung *Chromulina* dominant auf, daneben *Dinobryon divergens* (oligo- bis mesotraphent), *Dinobryon sertularia* (Ansprüche unklar) und *Uroglena americana* (oligo- bis mesotraphent). Die Jahresbiomasse liegt in der Regel bei ca. 0,5 g/m³, nur im Bayersoiener See ist sie mit 2,3 und 4,3 g/m³ deutlich höher. Die Seen dieser Gruppe sind als eutroph einzustufen, was sich nicht mit der trophischen Einstufung der dominanten Chrysophyceen-Taxa deckt.

Die dritte Untergruppe der Gruppe 5 wird wie in Gruppe 4 durch centrale Kieselalgen, hier *Stephanodiscus minutulus* (meso- bis eutraphent), charakterisiert. Weitere dominant und subdominant vorkommende Arten sind *Asterionella formosa*, *Tabellaria fenestrata* und *Fragilaria crotonensis*. Die Untergruppe wird nur durch die Algenzusammensetzung dreier Seenjahre beschrieben. Diese Seen sind dem Seentyp 4 (nach MATHES et al. 2002) zuzuordnen und können als oligotroph bzw. eutroph gelten. Verglichen mit den Seen, die anhand der Kieselalgen in der Gruppe 4 zusammengefasst werden, zeigt sich sowohl bei der Algenklassen-Zusammensetzung als auch bei den physikalisch-chemischen Parametern kein erkennbarer Unterschied.

Den Kriterien der Gruppe 5 lässt sich auch der Simssee (Seejahr 2003) zuordnen, was an der geringen Jahresbiomasse von 0,92 g/m³ liegt. Dominant ist in diesem Seejahr die als eu- bis poly(hyper)traphente Art *Planktothrix agardhii*, deren Vorkommen auf diesen See beschränkt ist. Aufgrund der Artenzusammensetzung und der Dominanz wäre dieser See sonst der Gruppe 6 oder 7 zuzuordnen.

Gruppe 6:

In dieser Gruppe sind Seenjahre mit Biomassen > 2,5 bis 17 g/m³ und einem Blaualgenanteil, der in der Regel weit über 50 % liegt vertreten. In allen aufgeführten Seenjahren des Schlier- und Wesslinger Sees besteht die Jahresbiomasse mit mehr als 25 %, oft sogar zu über 50 % aus der eutraphent eingestuften Blaualge *Limnithrix redekei*. Als zusätzliche Indikatoren kommen im Schliersee die meso- bis eutraphent eingestufte Art *Planktothrix rubescens* vereinzelt dominant und im Wesslinger See die eutraphent eingestufte Blaualge *Lyngbia limnetica* vor. Im Altmühl- und Sulzberger See prägt die eu- bis poly(hyper)traphente *Aphanizomenon flos-aquae* mit über 60 % die Biomasse. Der Altmühlsee ist als Sondertyp eingestuft (MATHES et al. 2002); für die Untersuchungsjahre 1994 und 1997 wird er der Trophieklasse II-III (eutroph-polytroph) und für 2001 der Trophieklasse III (polytroph) zugeordnet. Alle übrigen Seen sind eutroph und entsprechen den Seentypen 3 und 4 nach MATHES et al. (2002).

Die übrigen Seen dieser Gruppe lassen sich durch eine Plankton-Biomasse > 3 bis 7 g/m³ charakterisieren. Dominante Taxa einer Algenklasse können in dieser Gruppe in der Regel nur für einzelne Seen definiert werden. So ist für den Hopfensee und in einigen Seenjahren für den Obinger See die Dominanz (> 25 %) von *Ceratium hirundinella* (meso- bis eutraphent) charakteristisch. Für die übrigen Seen erfolgt die Charakterisierung im Wesentlichen über die dominante Algenklasse. Im Fischkalter See (Seejahr 1987) und Obinger See (Seenjahren 1986, 1988) sind es die Chlorophyceen (> 25 %) mit subdominanten eutraphenten Indikatoren wie *Carteria*, *Chlamydomonas* und *Oocystis marssonii*. Im Bayersoiener See liegt der Anteil an Bacillariophyceae zwischen 30 und 50 %. Die einzelnen Arten wie *Asterionella formosa*, *Aulacoseira subarctica* und verschiedene *Fragilaria*-Arten treten hier immer nur subdominant auf. Anders als bei den übrigen Gruppen, deren Plankton-Zusammensetzung sich bezogen auf die Biomasse schwerpunktmäßig auf zwei Algenklassen beschränkt, verteilt sich beim Bayersoiener See das übrige Plankton mit zahlreich vorkommenden subdominanten Taxa auf die Klassen Chrysophyceae, Cryptophyceae, Dinophy-

ceae, Chlorophyceae und Charophyceae. Ähnlich verhält es sich beim Altmühlsee (Seejahr 2001), dessen Plankton-Zusammensetzung sich gleichmäßig über die Algenklassen Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Charophyceae, Cryptophyceae, Euglenophyceae und Cyanophyceae verteilt. Die subdominant vorkommenden Taxa sind überwiegend eutraphente und eu- bis poly(hyper)traphente Indikatoren. Der Grund hierfür liegt wohl in der Polymixie, mit der instabile Verhältnisse verbunden sind.

Die Jahresplanktonbiomasse des Rothsees (Hauptsperre, Seejahr 2002) wird mit > 70 % durch den bisher einmaligen Nachweis von *Closterium aciculare* (Charophyceae) bestimmt, die durch Algenblüte zum zehnfachen der mittleren Jahresbiomasse beiträgt. Die Zuordnung in diese Gruppenzuordnung ist deshalb unsicher.

Gruppe 7

Diese Gruppe ist durch fünf Seen charakterisiert, deren Biomasse zwischen 2,5 und 4 g/m³ liegt. In vier dieser Seenjahre ist die Cyanophyceae-Biomasse größer 50 %. Die auf die Herbstmonate begrenzte Algenblüte wird in diesen Seen durch eine „seespezifische“ Cyanophyceae ausgelöst:

- Hofstätter See (2003): *Spirulina* (eutraphent),
Anabaena spiroides (eu- bis poly(hyper)traphent) und
Lynbya limnetica (eutraphent)
- Altmühlsee (1995): *Aphanizomenon flos-aquae* (eu- bis poly(hyper)traphent)
- Rothsee (Vorsp. 2002): *Chroococcus* (keine Trophie-Angabe)
- Pelhamer See (1997): *Oscillatoria tenuis* (keine Trophie-Angabe)

Der Chiemsee (Ruttengraben, Seejahr 1993) nimmt innerhalb dieser Gruppe eine Sonderstellung ein (s. Abb. 13). Wie die anderen Chiemsee-Messstellen des Jahres 1993 wird die Planktonbiomasse in den Winter- und Frühjahrsmonaten in erster Linie durch die oligo- bis mesotraphente Kieselalge *Aulacoseira subarctica* gebildet. Da die Biomasse an dieser Messstelle deutlich höher ist als an den übrigen Chiemsee-Messstellen vergleichbarer Planktonzusammensetzung, findet sich dieses Seejahr nicht in Gruppe 4.

Tab. 17 Tabellarische Zusammensetzung der Clustergruppen mit den Angaben der charakterisierenden Kriterien der Seengruppen

Gruppe	Algenklasse	Biomasse (g/m³)	Indikative Taxa	Seenjahre
1	Bacillariophyceae > 50 %	< 0,5 bis < 1,5	<i>Cyclotella comensis</i> oder <i>Cyclotella bodanica</i> oder <i>Cyclotella</i> > 20 %	Lustsee (1997 bis 2000) Luss See (2002) Langwieder See (2002) Königssee (2000) Froschhauser See (1997, 1998) Ammersee (1993, 1997) Walchensee (2003) Weissensee (1998)
2	Bacillariophyceae > 50 %	< 0,5 bis < 1,5	<i>Stephanodiscus neoastrea</i> > 20 % <i>Aulacoseira subarctica</i> > 25 %	Ammersee (1993, 1994) Tachinger See (2001) Waginger See (2001) Chiemsee (Weitsee) (2003) <u>Kriterien werden nicht erfüllt:</u> Ammersee (1995) Barmsee (2002) Tegernsee (Hauptb.) (1992)
3	Bacillariophyceae < 50 % und Cryptophyceae > 25 %	> 1,5 bis < 3 ,0	<i>Cryptomonas ovata</i> > 25 %	Bannwaldsee (1998) Sulzberger See (1997) Niedersonthofener See (1997) Soyensee (1997) Fischkalter See (1986) Hopfensee (1996, 1997) Rothsee (Hauptb.) (2000) Rothsee (Vorsp.) (2000) <u>Kriterien werden nicht erfüllt:</u> Ammersee (1990) Fischkalter See (1988)
4	Bacillariophyceae > 50 % Bacillariophyceae < 50 % und Cyanophyceae > 25 % Bacillariophyceae < 50 % und Cryptophyceae > 25 %	< 0,5 bis 1,5	<i>Fragilaria crotonensis</i> , <i>F. ulna angustissima</i> - Sippen <i>Fragilaria ulna</i> var. <i>acus</i> <i>Tabellaria fenestrata</i> <i>Stephanodiscus neoastrea</i> <i>Aulacoseira subarctica</i> <i>Planktothrix rubescens</i> > 25 % <i>Cryptomonas ovata</i> <i>Cryptomonas erosa</i> <i>Rhodomonas minuta</i>	Chiemsee (Weitsee) (1993, 1995) Chiemsee (Aiterb. W.) (1993, 2003) Ammersee (1987, 1989, 1997, 2002) Staffelsee (1992) Kochelsee (1990, 2003) Obersee (2000) Starnberger See (1997) Ammersee (1992, 1996, 1999– 2001) Walchensee (1995) Ostersee (2001) Pilsensee (2003) Bannwaldsee (1997) Staffelsee (Südbecken) (1992) Staffelsee (Westbecken) (1992) Tachinger See (1996) Ammersee (1988) Wesslinger See (2001) Weissensee (1997) <u>Kriterien werden nicht erfüllt:</u> Tachinger See (1992) Waginger See (1992, 1996) Kirchsee (2001) Chiemsee (Aiterb. W.) (1995) Tegernsee (Hauptb.) (1991) Kochelsee (1989, 1991) Wörthsee (2003)

Gruppe	Algenklasse	Biomasse (g/m³)	Indikative Taxa	Seenjahre
5	Bacillariophyceae < 30 % Cryptophyceae > 25 %	> 0,5 bis 2,5	<i>Cryptomonas ovata</i> > 10 % <i>Rhodomonas lacustris</i>	Hopfensee (2000, 2001) Obinger See (1997) Alpsee (Immenstadt) (2000) Niedersonthofener See (2000) Weissensee (2000, 2001) Rottachsee (2000) Riegsee (2002)
	Bacillariophyceae < 50 % Synurophyceae > 20 %	> 0,5 bis 2,5	<i>Mallomonas caudata</i> > 20 %	Bannwaldsee (2001) Sulzberger See (1998) Niedersonthofener See (2002)
	Bacillariophyceae < 50 % Chrysophyceae > 20 %	< 0,5 bis 2,5	<i>Chromulina</i> <i>Dinobryon vergens</i> <i>Dinobryon sertularia</i> <i>Uroglena americana</i>	Bayersoiener See (1995, 1996) Niedersonthofener See (2001) Spitzingsee (1997, 1998) Alpsee (Immenstadt) (2001) Bannwaldsee (2000)
	Bacillariophyceae > 50 %	< 0,5 bis 1 g/m³	<i>Stephanodiscus minutulus</i> <i>Asterionella formosa</i> <i>Tabellaria fenestrata</i> <i>Fragilaria crotonensis</i>	Alpsee (Immenstadt) (1997, 2002) Alpsee bei Füssen (2001) <u>Kriterien werden nicht erfüllt:</u> Simssee (2003)
6	Bacillariophyceae < 30 % und Cyanophyceae > 50 %	> 2,5 bis 17	<i>Limnithrix redekei</i> > 25 % <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> > 50%	Schliersee (1984–1988, 1990– 1993, 1996) Wesslinger See (1986–1989) Altmühlsee (1994, 1997) Sulzberger See (1996)
	Bacillariophyceae < 30 % Dinophyceae > 25 %	> 3 g/m³	<i>Ceratium hirundinella</i>	Hopfensee (1998) Obinger See (1984, 1985, 1987, 1989)
	Bacillariophyceae < 30 % Chlorophyceae > 25 %	> 3 g/m³		Obinger See (1986, 1988) Fischkalter See (1987)
	Bacillariophyceae < 30 %	> 3 g/m³		Altmühlsee (2001) Bayersoiener See (1990–1994, 1997) Rothsee (Hauptsperre) (2002)
7	Bacillariophyceae < 25 % Cyanophyceae > 50 %	> 2,5 bis 4	z. B. <i>Spirulina</i> , <i>Anabaena</i> <i>Chroococcus</i> <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Oscillatoria tenuis</i>	Hofstätter See (2003) Rothsee (Vorsp.) (2002) Altmühlsee (1995) Pelhamer See (1997) <u>Kriterien werden nicht erfüllt:</u> Chiemsee (Ruttengraben) (1993)

Die Ergebnisse aus der Auswertung der Clustergruppen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Biomassebereiche der Indikatorgruppen überlappen, d. h.
 - o Trophie und Biomasse können nicht ohne weiteres gleichgesetzt werden,
 - o die Kombination von Biomasse und taxonomischer Zusammensetzung ist wichtig und
 - o Seen gleicher Trophie können unterschiedlichen Gruppen zugeordnet sein.
- Indikatoren sind nur bei dominantem Vorkommen aussagekräftig, dann
 - o können wenige Indikatoren für die Gruppierung ausreichen.
- Planktonklassen sind indikativ und daher aussagekräftig, wenn
 - o die dominanten Gattungen/Arten bekannt sind und
 - o die Klassen einen gewichtigen Anteil an der Gesamtbiomasse stellen.
- Jeweils mehrere LAWA-Seetypen (nach MATHES et al. 2002) kommen in allen biozönotischen Gruppen vor, d. h.
 - o die Seetypen lassen sich nicht biozönotisch belegen und
 - o die Trophie überprägt die Typ-Eigenschaften.
- Einige der Clustergruppen lassen sich zusammenfassen, d. h.
 - o verschiedene Indikatoren können Seen gleicher Trophie beschreiben oder
 - o funktionell ähnliche Taxa ersetzen einander.

5.3 Diskussion der Typisierungsverfahren

Jede Klassifizierung und damit auch jede Bewertung hängt von der ausreichenden Anzahl und Qualität der verwendeten Daten ab. Außerdem ist die erzielte Aussage nur gültig für Regionen, für die die verwendeten Daten repräsentativ sind. Gleichzeitig ist auch von Bedeutung, welchem Zweck die ermittelten Aussagen dienen sollen. Diese Fragen und die daraus abzuleitenden Schlussfolgerungen sollen hier erörtert werden.

Eingangsdaten sind einerseits die Taxa-Informationen der autökologischen Datenbasis, die über eine Literaturstudie erstellt wurde, andererseits Planktonbefunddaten aus rund 20 Jahren Seen-Untersuchung in Bayern. Die Literaturstudie wurde für in Deutschland häufig vorkommende Phytoplanktontaxa durchgeführt. Grundlage war die „Taxaliste der Gewässerorganismen Deutschlands zur Kodierung biologischer Befunde“ (MAUCH et al. 2003). Eine Unsicherheit für eine konkrete Anwendung der Klassifikation birgt sicher diese Taxaliste selbst, da angenommen werden kann, dass nicht alle für Deutschland relevanten Taxa auch tatsächlich darin enthalten sind. Die Liste basiert auf Meldungen der Länderwasserbehörden über den Fund von Taxa in den Gewässern Deutschlands. Des Weiteren erhebt die Zitatensammlung zur Autökologie auf Grund nachvollziehbar begrenzter Zeit- und Geldressourcen keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Es konnten im Rahmen der Arbeiten dazu die wesentlichen Hauptwerke und einfach zugängliche Spezialliteratur

durchgearbeitet werden. So bedürfen sowohl Taxaliste als auch Literaturliste der laufenden Fortschreibung, um bundesweit die wesentlichen Taxa abzudecken.

Eine weitere Schwierigkeit besteht in der Bewertung der Plausibilität der gefundenen autökologischen Literaturangaben. So können manche Widersprüche in den Aussagen nicht aufgelöst werden. Da wo es fachlich vertretbar war, wurden Aussagen zu einem Kriterium – wie z. B. der Trophie – zu einer verallgemeinerbaren Aussage aggregiert. Diese aggregierten ökologischen Aussagen wurden für die Typisierung herangezogen, woraus Unschärfen in der Aussage resultieren können. Die autökologische Datenbank wurde vor Veröffentlichung einer Reihe in- und ausländischer Planktonspezialisten mit der Bitte um kritische Prüfung übergeben. Weitere Unschärfen bietet das Trophiesystem an sich. Viele Phytoplankton-Arten kommen über einen weiten Trophie-Bereich vor, sind also weniger indikativ. Nur vergleichsweise wenige Taxa kommen ausschließlich in einem enger umgrenzten Trophie-Bereich vor und sind damit bessere Indikatoren. Mit diesen Unschärfen hat man bei sämtlichen Trophie-Klassifizierungs-Systemen zu tun. Durch die Kombination der trophischen Aussagen mit den Biomassen kommt man dennoch zu eindeutigen Unterscheidungen.

Die Befunddaten stammen ausschließlich aus bayerischen Seen. Die Aussagen sind damit zunächst auf die dort vorkommenden Seetypen begrenzt. Das gilt umso mehr, als sich die natürlichen Seen Bayerns nach bisheriger Trophie-Klassifizierung überwiegend im Trophie-Bereich von oligotroph bis eutroph bewegen. Poly- bis hypertrophe Zustände kommen in Bayern nicht vor. Eine Erweiterung des vorgestellten Klassifizierungssystems beispielsweise auf norddeutsche Seen ist jedoch leicht vorstellbar, wenn die oben genannten Listen die wesentlichen dort vorkommenden Taxa abdecken. Dass dies im Moment noch nicht vollständig gegeben ist, lässt sich durch die Tatsache belegen, dass die Ökodatenbasis bisher kaum Indikatoren enthält, die poly- bis hypertrophe Zustände anzeigen.

Anzahl, Verteilung und Qualität der Befunddaten sollten Mindestanforderungen erfüllen. Hier kann auf die Empfehlungen von MISCHKE et al. (2002) verwiesen werden. Die verwendeten bayerischen Daten erfüllen diese Anforderungen weitgehend. Einschränkungen in der Aussageschärfe müssen in manchen Fällen durch die zu geringe taxonomische Bestimmungstiefe hingenommen werden.

Beim Vergleich der hier vorgestellten Phytoplankton-basierten Trophie-Klassifikation mit herkömmlichen Trophie-Klassifizierungen fällt auf, dass durchaus Abweichungen in der Trophie-Aussage vorkommen. Dies ist aus ökologischer Sicht nicht verwunderlich, da verschiedene Taxa die Nährstoffe unter den herrschenden Umweltbedingungen durchaus sehr verschieden nutzen. So kann ein See, dessen mittlere jährliche Gesamt-Phosphor-Konzentration nach VOLLENWEIDER (1979) im mesotrophen Bereich liegt, durchaus hohe Cyanophyceen-Biomassen aufweisen und damit eine nach Phytoplankton-Klassifizierung hohe Trophie anzeigen. Umgekehrt kann auch eine erhöhte P-Konzentration dennoch eine niedrige Algenbiomasse bedingen, da die vorhandenen Arten die Nährstoffe nicht voll ausnutzen können. So stellt die auf den gegebenen Randbedingungen resultierende Zusammensetzung und Menge des Phytoplanktons die Trophie im Prinzip besser dar als die bisherigen indirekten Verfahren, weil die Organismen selbst der eigentliche Ausdruck der Trophie sind.

Die vorgestellte Trophie-Klassifikation dient dem Zweck der hinreichend sicheren Einschätzung der Trophie-Verhältnisse auf der Basis der für größere Seen relevanten Organismengruppe Phytoplankton. Es sollen damit die Erfordernisse der wasserwirtschaftlichen Praxis der gewässerkundlichen Bewertung auch in der Zukunft erfüllbar sein. Dies bedeutet, dass mit dem in der Routineanwendung möglichen Aufwand eine ausreichend genaue Aussage für die Ableitung weiterer möglicher Schritte im Hinblick auf den Gewässerschutz möglich sein muss.

Als Fazit kann festgestellt werden:

- Mit der erarbeiteten autökologischen Datenbasis ist eine wichtige Bewertungsgrundlage für Phytoplankton geschaffen worden. Diese wird auf der Basis der „Taxaliste der Gewässerorganismen Deutschlands zur Kodierung biologischer Befunde“ und anderer neuer Erkenntnisse weiter fortgeschrieben werden.
- Der mit bayerischen Seeplanktondaten entwickelte Klassifizierungsansatz erlaubt eine im Vergleich zu bisherigen Methoden weitergehende Trophie-Klassifikation auf organischer Basis.
- Der vorgestellte Bewertungsansatz ist grundsätzlich auf Deutschland erweiterbar und stellt auch eine Grundlage für die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie dar.

6 **Ausblick**

Vor dem Hintergrund der Wasserrahmenrichtlinie soll die vorgestellte Arbeit einen Beitrag zu der in der Richtlinie geforderten typbezogenen ökologischen Bewertung liefern. Die Klassifikation liefert zumindest für süddeutsche Seen plausible Ergebnisse und kann damit als typbezogen aufgefasst werden. Eine Zuordnung dieser biozönotisch begründeten Typen – z. B. nach MATHES et al. (2002) – ist prinzipiell möglich, hat sich jedoch bei den vorgenommenen Auswertungen nicht als zwingend erwiesen.

Für die Bewertung nach Wasserrahmenrichtlinie fehlt noch die Definition von Referenzzönosen. Diesbezüglich kommt es darauf an, wie das künftige bundesweite Bewertungsverfahren für Phytoplankton – das derzeit von der Universität Cottbus erarbeitet wird – aussehen soll. Die Frage ist, ob die mit Phytoplankton ausgedrückte Trophie alleiniges Bewertungskriterium sein wird oder ob weitere Kriterien hinzukommen. Im Falle der ersten Lösung – für die einiges spricht – kann der jeweils typbezogen beste bzw. als bestmöglich angenommene Trophie-Zustand mit der Referenz (Zustandsklasse „sehr gut“) gleichgesetzt werden. Die jeweils schlechteren Zustände können dann als Abweichung von der Referenz bewertet werden, wie auch SCHAUMBURG et al. (2003) vorschlagen.

Der hier vorgestellte Ansatz kann als trophische Klassifikation für Phytoplankton süddeutscher Seen grundsätzlich verwendet werden. Er kann darüber hinaus als Modul für süddeutsche Seentypen in ein bundesweites Bewertungsverfahren einfließen oder sogar weiterentwickelt eine darüber hinausgehende Komponente in einem solchen Verfahren bilden.

Als nächster Schritt wäre eine intensive und kritische Verwendung der Methode zu wünschen, um das Verfahren und die Grundlagen, auf denen es basiert fortlaufend zu verbessern und damit künftig eine weiterentwickelte, den heutigen Anforderungen entsprechende Bewertung mit Phytoplankton zu ermöglichen. Eine solche muss nicht unbedingt nur der Erfüllung der WRRL dienen, sondern kann für die Lösung darüber hinausgehender wasserwirtschaftlicher Fragestellungen Verwendung finden.

7 Literatur

- BÜHL, A. & P. ZÖFEL (2000): SPSS Version 10. Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows, 7. überarbeitete Auflage. Addison-Wesley Verlag, München, Boston u. a.: 734 S.
- EG (EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT) (2000): Richtlinie 2000/60/EG of the European Parliament and of the Council of 23. October 2000 establishing a framework for Communities in the field of water policy, Official Journal of the European Communities, L 327/1, 22.12.2000.
- HOFMANN, G. (1994): Aufwuchs-Diatomeen in Seen und ihre Eignung als Indikatoren der Trophie. *Bibliotheca Diatomologica* 30, 241 S.
- HOFMANN, G. & SCHAUMBURG, J. (2005): Seesedimente in Bayern: Waginger-Tachinger See. Diatomeenflora in Sedimentkernen August 2002. Materialien Nr. 121, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München. 30 S.
- KNOPF, K. & E. HOEHN, U. MISCHKE, B. NIXDORF (2000): Klassifizierungsverfahren von Seen anhand des Phytoplanktons. Teil I der Literaturstudie über „Ökologische Gewässerbewertung – Phytoplankton“ im Auftrag der AT und LAWA AG stehende Gewässer: 100 S.
- KÜMMERLIN, R.E. (1996): 100 Jahre Planktonforschung am Bodensee. – In: LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ (Hrsg.) Institut für Seenforschung 1920–1995, 53–61.
- LAWA (LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER) (1999): Gewässerbewertung – stehende Gewässer. Vorläufige Richtlinie für eine Erstbewertung von natürlich entstandenen Seen nach trophischen Kriterien 1998. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser. Kulturbuch-Verlag, Berlin: 74 S.
- LAWA (LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER) (2001): Gewässerbewertung – stehende Gewässer. Vorläufige Richtlinie für die Trophieklassifikation von Talsperren. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser. Kulturbuch-Verlag, Berlin: 35 S.
- LAWA (LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER) (2003): Gewässerbewertung – stehende Gewässer. Vorläufige Richtlinie für eine Erstbewertung von Baggerseen nach trophischen Kriterien 1998. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser. Kulturbuch-Verlag, Berlin: 27 S.
- MATHES, J., PLAMBECK, G., SCHAUMBURG, J. (2002): Das Typisierungssystem für stehende Gewässer in Deutschland mit Wasserflächen ab 0,5 km² zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. – In: DENEKE, R. & NIXDORF, B. (Hrsg.), Implementierung der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland: Ausgewählte Bewertungsmethoden und Defizite, Aktuelle Reihe 5/02. BTU Cottbus: 15–23.
- MAUCH, E., SCHMEDTJE, U., MAETZE, A., FISCHER, F. (2003): Taxaliste der Gewässerorganismen Deutschlands zur Kodierung biologischer Befunde. Informationsberichte Heft 1/03. Bayerisches Landesamtes für Wasserwirtschaft, München. 388 S.
- MELZER, A. (1988): Der Makrophytenindex – Eine biologischen Methode zur Beurteilung der Nährstoffbelastung von Seen. Habilitationsschrift TU München, 249 S.

- MISCHKE, U. & B. NIXDORF, E. HOEHN, U. RIEDMÜLLER (2002): Möglichkeiten zur Bewertung von Seen anhand des Phytoplanktons – Aktueller Stand in Deutschland. – In: DENEKE, R. & NIXDORF, B. (Hrsg.): Implementierung der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland: Ausgewählte Bewertungsmethoden und Defizite, Aktuelle Reihe 5/02. BTU Cottbus: 25–37.
- SCHAUMBURG, J., COLLING, M., SCHLÖSSER, I., KÖPF, B. (2002): Typisierung bayerischer Seen mit Phytoplankton unter Verwendung von Biomasse, Planktonzusammensetzung und Autökologie. – In: DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR LIMNOLOGIE (DGL) Tagungsbericht 2001 (Kiel): 61–64, Tutzing.
- SCHAUMBURG, J., HEHL, I., HUPFER, M., KÖPF, B., RAEDER, U., MELZER, A., SEELE, J., TRAUNSPURGER, W. (2001): Kleinseen in Bayern – Ökologische Bewertung von Freiwasser, Sediment, Ufer und Einzugsgebiet. Informationsbericht Heft 1/01. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München. 281 S.
- SCHAUMBURG, J., KÖPF, B., SCHRANZ, C., HOFMANN, G., SCHNEIDER, S. (2003): Gewässertyp-bezogene Trophieklassifizierung als Metric für ökologische Seenbewertungen zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie – Vorschlag aus dem Projekt zur Entwicklung des bundesweiten Bewertungsverfahrens für die biologische Qualitätskomponente Makrophyten und Phytobenthos. – In: DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR LIMNOLOGIE (DGL) – Tagungsbericht 2002 (Braunschweig). Werder: 44–46.
- SCHAUMBURG, J., SCHMEDITJE, U. (2003): Erarbeitung eines leitbildbezogenen Bewertungsverfahrens mit Makrophyten und Phytobenthos zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. Gesamtkonzept des Vorhabens. – In: DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR LIMNOLOGIE (DGL) (Hrsg.): Tagungsbericht 2002 (Braunschweig). Werder: 25–29
- SCHAUMBURG, J., SCHRANZ, C., FOERSTER, J., GUTOWSKI, A., HOFMANN, G., KÖPF, B., MEILINGER, P., SCHMEDITJE, U., SCHNEIDER, S., STELZER, D. (2005): Bewertungsverfahren Makrophyten & Phytobenthos. Fließgewässer- und Seen-Bewertung in Deutschland nach EG-WRRL. Informationsberichte Heft 1/05. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München. 245 S.
- SCHAUMBURG, J., SCHRANZ, C., HOFMANN, G., STELZER, D., SCHNEIDER, S., SCHMEDITJE, U. (2004): Macrophytes and phytobenthos as indicators of ecological status in German lakes – a contribution to the implementation of the Water Framework Directive. *Limnologica* 34: 302–314
- SCHMEDITJE, U., BAUER, A., GUTOWSKI, A., HOFMANN, G., LEUKART, P., MELZER, A., MOLLENHAUER, D., SCHNEIDER, S., TREMP, H. (1998): Trophiekartierung von aufwuchs- und makrophytendominierten Fließgewässern. Erarbeitung von Trophieindikationswerten für ausgewählte benthische Algen und Makrophyten. Informationsberichte Heft 4/98. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München. 501 S.

- THIENEMANN, A.(1928): Der Sauerstoff im eutrophen und im oligotrophen See. Die Binnengewässer 4.
- VOLLENWEIDER, R.A. & J. KERÉKES (1980): The loading concept as basis for controlling eutrophication philosophy and preliminary results of the OECD programme on eutrophication. Prog. Water Technol. 12, 5–39.
- VOLLENWEIDER, R.A. (1968): Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. OECD, Techn. Report, Paris, DAS /SCI/68.27,1
- VOLLENWEIDER, R.A. (1979): Das Nährstoffbelastungskonzept als Grundlage für den externen Eingriff in den Eutrophierungsprozeß stehender Gewässer und Talsperren. Z. Wasser Abwasser Forsch. 12, 46–56.