

Teubner, K. 1996. Struktur und Dynamik des Phytoplanktons in Beziehung zur Hydrochemie und Hydrophysik der Gewässer: Eine multivariate statistische Analyse an ausgewählten Gewässern der Region Berlin-Brandenburg. Ph.D thesis, Dept. Ecophysiology, Humboldt Univ. Berlin, 232 pp.

*This copy allows to search for words in the document.
It is aimed as preview of the Ph.D. thesis submitted at
Humboldt Univ. Berlin and might contain all the content
of the print version as you are free to check by the library.
For reference use the citation above.*



MAIN RESULTS OF THIS PH.D. THESIS ARE PUBLISHED IN THE FOLLOWING PAPERS:

Teubner, K. & M. T. Dokulil. 2002. Ecological stoichiometry of TN:TP:SRSi in freshwaters: nutrient ratios and seasonal shifts in phytoplankton assemblages. **Arch Hydrobiol.** 154 (84): 625-46.

Teubner, K. 2000. Synchronised changes of planktonic cyanobacterial and diatom assemblages in North German waters reduce seasonality to two principal periods. **Arch Hydrobiol**, Spec Iss Adv Limnol 55: 564-80.

Dokulil, M. & **K. Teubner. 2000.** Cyanobacterial dominance in lakes. **Hydrobiologia** 438: 1-12.

Teubner, K. & M. T. Dokulil. 2000. Seasonal dynamic of surface:volume-ratio of phyto-plankton assemblages. **Verh int Ver Limnol** 27, 2977-78.

Teubner, K., R. Feyerabend, M. Henning, A. Nicklisch, P. Witke & J.-G. Kohl. 1999. Alternative blooming of *Aphanizomenon flos-aquae* or *Planktothrix agardhii* induced by the timing of the critical nitrogen : phosphorus ratio in hypertrophic riverine lakes. **Arch Hydrobiol**, Spec Iss Adv Limnol 54: 325-44.

Teubner, K. 1997. Merkmalsvariabilität bei planktischen Diatomeen in Berlin-Brandenburger Gewässern. **Nova Hedwigia** 65 (1-4): 233-50.

Teubner, K. 1995. A light microscopical investigation and multivariate statistical analyses of heterovalvar cells of *Cyclotella*-species (Bacillariophyceae) from lakes of the Berlin-Brandenburg region. **Diatom Research** 10 (1): 191-05.

Struktur und Dynamik des Phytoplanktons

in Beziehung zur Hydrochemie und Hydrophysik der Gewässer:

Eine multivariate statistische Analyse

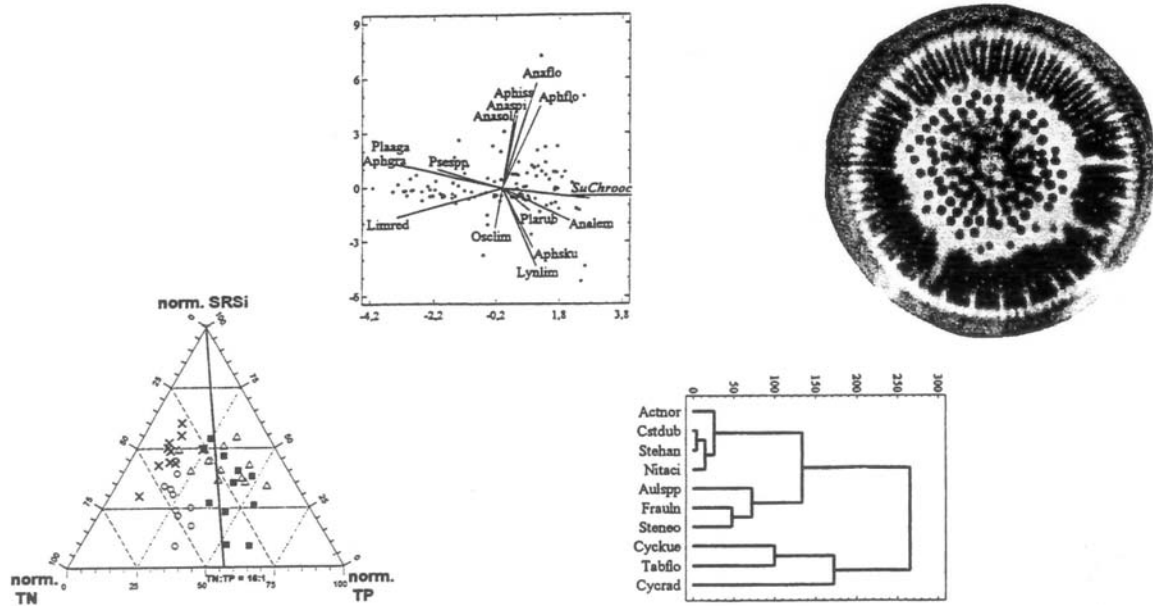
an ausgewählten Gewässern der Region Berlin-Brandenburg

DISSERTATION

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät I

Institut für Biologie der Humboldt-Universität zu Berlin

KATRIN TEUBNER



Struktur und Dynamik des Phytoplanktons
in Beziehung zur Hydrochemie und Hydrophysik der Gewässer:
Eine multivariate statistische Analyse
an ausgewählten Gewässern der Region Berlin-Brandenburg

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades
doctor rerum naturalium

eingereicht am 15.8.1996

an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät I
Institut für Biologie
der Humboldt-Universität zu Berlin

von Diplom-Lehrer für Biologie und Chemie KATRIN TEUBNER, geb. Pabst
geb. am 28. Mai 1964 in Leipzig

Präsidentin der Humboldt-Universität zu Berlin
Prof. Dr. M. Dürkop

Dekanin der Fakultät
Prof. Dr. Bonacic-Koutecky

Gutachter: 1. Prof. J.-G. Kohl
 2. Prof. U. Geißler
 3. Prof. M. T. Dokulil

Tag der mündlichen Prüfung: 10.12.1996

Teubner, Katrin:

Struktur und Dynamik des Phytoplanktons in Beziehung zur Hydrochemie und Hydrophysik der Gewässer: Eine multivariate statistische Analyse an ausgewählten Gewässern der Region Berlin-Brandenburg.

-1996-

232 S.: 79 Abbn., 6 Tab., 10 mikroskopische Tafeln

Berlin, Humboldt-Universität

Fachbereich für Biologie

Institut für Ökologie

Dissertation

Die Struktur und Dynamik des Phytoplanktons insbesondere von Flußseen wie auch weiteren Gewässertypen, die im Berlin-Brandenburger Raum häufig anzutreffen sind, werden in Abhängigkeit von limnologischen Einflußgrößen untersucht. Insgesamt werden 11 Gewässer über einen Zeitraum von bis zu 4 Jahren vergleichend analysiert (1990-1993). Der Gewässervergleich stützt sich maßgeblich auf die multivariaten statistischen Methoden Hauptkomponentenanalyse, Hierarchische Clusteranalyse, Kanonische Korrespondenzanalyse und Diskriminanzanalyse. In den 11 Gewässern wurden mehr als 200 Algentaxa gefunden. Die limnologisch ähnlichen Gewässer, die in „polymiktische Flußseen“, „mineralreiche Gewässer“, „dimiktische, mesotrophe Seen“ und „dystrophe Seen“ gruppiert werden, weisen auch eine mehr oder weniger ähnliche Arten-Zusammensetzung des Cyanophyceen-, Bacillariophyceen- bzw. Gesamtphytoplanktons auf. In den limnologisch ähnlichen Gewässern einer Gruppe zeigt sich eine ähnliche saisonale Dynamik der TN/TP-, SRSi/TN- und SRSi/TP-Verhältnisse. Jedoch allein in der Gewässergruppe „polymiktische Flußseen“ streuen die Saisonmittelwerte stark um das kritische TN/TP-Verhältnis von 16:1. Zum Zeitpunkt der Unterschreitung dieses TN/TP-Verhältnisses setzt in den Flußseen Großer Müggelsee und Langer See eine Differenzierung in ein *Planktothrix agardhii* (*Oscillatoria*)- bzw. ein *Aphanizomenon flos-aquae*/*Microcystis* spp.-dominiertes Sommerplankton ein. In beiden Flußseen, wo die Cyanophyceen und Bacillariophyceen mehr als 90 % des Gesamtbiovolumens einnehmen, lassen sich veränderte saisonale Schwankungen der voneinander abhängig dargestellten, normierten TN-, TP- und SRSi-Konzentrationen durch einen Dominanzwechsel zwischen beiden Algenklassen erklären. Die jahreszeitliche Abfolge der Cyanophyceen- und Bacillariophyceen-Planktonentwicklung läuft in den 11 Gewässern vergleichbar und überwiegend synchron zu den jahreszeitlichen Änderungen der TN/TP-Verhältnisse ab. Der Wechsel von hohen Oberfläche/Volumen-Verhältnissen des Gesamtphytoplanktons im Frühjahr zu niedrigeren Oberfläche/Volumen-Verhältnissen im Früh- bzw. Spätsommer zeigt sich in allen 11 untersuchten Gewässern gleichermaßen. Bei einer speziell schonenden Präparation von Diatomeenzellen aus Planktonproben wird das Auseinanderfallen der beiden Theken einer Zelle verhindert, so daß die morphologischen Unterschiede zwischen den zwei zusammengehörigen Theken einer Zelle diagnostiziert werden können. Nach dieser Methode ergibt sich eine evidente Zuordnung der polymorphen Theken des Formenkreises *Cyclotella kuetzingiana/ocellata/ comensis* zu nur einer Art.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	V
Anmerkung.....	VII
1. EINLEITUNG.....	1
2. METHODEN.....	5
2. 1. Geographische Lage der untersuchten Gewässer.....	5
2. 2. Chemisch-physikalische Analysen.....	6
2. 3. Phytoplankton-Probenahme.....	7
2. 4. Qualitative Phytoplanktonanalyse.....	9
2. 5. Quantitative Phytoplanktonanalyse.....	10
2. 6. Statistische Methoden.....	14
3. ERGEBNISSE.....	19
3. 1. LIMNOLOGISCHE CHARAKTERISTIK DER 11 GEWÄSSER.....	19
3. 1. 1. Auswahl der limnologischen Parameter.....	19
3. 1. 2. Gruppenbildung limnologisch ähnlicher Gewässer.....	21
3. 1. 3. Jahreszeitlicher Wechsel der relativen Nährelementverhältnisse.....	24
3. 2. STRUKTUR UND DYNAMIK DES PHYTOPLANKTONS.....	33
3. 2. 1. QUALITATIVE PHYTOPLANKTONANALYSE: ARTENSPEKTRUM.....	33
3. 2. 1. 1. Bewertung morphologischer Merkmale.....	33
3. 2. 1. 1. 1. Beschreibung der Merkmalsvariabilität zwischen einzelnen Individuen.....	33
3. 2. 1. 1. 2. Beschreibung der Merkmalsvariabilität innerhalb einzelner Individuen.....	35
3. 2. 1. 2. Vorkommen der Algentaxa.....	36
3. 2. 1. 2. 1. Anmerkungen zur Liste der Algentaxa.....	37
3. 2. 1. 2. 2. Gewässerspezifische Verbreitung der Algentaxa.....	45
3. 2. 2. QUANTITATIVE PHYTOPLANKTONANALYSE: BIOMASSEENTWICKLUNG.....	73
3. 2. 2. 1. DAS GESAMT-PHYTOPLANKTON.....	73
3. 2. 2. 1. 1. Dominanz von Algenklassen und -ordnungen.....	73
3. 2. 2. 1. 2. Jahresdynamik des Oberfläche/Volumen-Verhältnisses.....	79
3. 2. 2. 2. DAS CYANOPHYCEEN-PLANKTON.....	89
3. 2. 2. 2. 1. Verteilungsmuster der Biovolumina der Arten und Artengruppen.....	89
3. 2. 2. 2. 2. Dynamik der Arten und Artengruppen.....	100
3. 2. 2. 3. DAS BACILLARIOPHYCEEN-PLANKTON.....	121
3. 2. 2. 3. 1. Verteilungsmuster der Biovolumina der Arten und Artengruppen.....	121
3. 2. 2. 3. 2. Dynamik der Arten und Artengruppen.....	134
3. 2. 2. 4. DOMINANZ VON ARTEN UND ARTENGRUPPEN VERSCHIEDENER ALGENKLASSEN.....	165
4. DISKUSSION.....	169
4. 1. Übereinstimmung zwischen limnologischer und planktologischer Gruppenbildung.....	169
4. 2. Limnologische Charakteristik.....	171
4. 3. Einzelwerte und gepoolte Datensätze.....	173

4. 4. Gewässerspezifische Biovolumenentwicklung der repräsentativen Arten und Artengruppen des Cyanophyceen- und Bacillariophyceen-Planktons.....	174
4. 5. Saisonspezifische Biovolumenverteilung der repräsentativen Arten und Artengruppen des Cyanophyceen- und Bacillariophyceen-Planktons.....	176
4. 6. „ <i>Oscillatoria</i> “- und „ <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> / <i>Microcystis</i> spp.“-Jahre.....	176
4. 7. Trigonale Darstellung normierter TN:TP:SRSi-Konzentrationsverhältnisse.....	183
4. 8. Frühjahrs/Winter-Plankton und Sommer/Herbst-Plankton.....	184
4. 9. Vergleich der Dynamik der Ressourcen-Verhältnisse zwischen den Seen.....	187
4. 10. Das Oberfläche/Volumen-Verhältnis.....	188
 5. ZUSAMMENFASSUNG.....	 193
 Literaturverzeichnis.....	 197
Danksagung.....	207
Erklärung.....	209
Lebenslauf.....	211
Thesen.....	213
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	221
Stichwortverzeichnis.....	226

Abkürzungsverzeichnis

Gewässer:

FLAS	Flakensee
FLZL	Flakensee-Zufluß Löcknitz
FLZW	Flakensee-Zufluß Woltersdorfer Schleuse
GPLA	Großer Plagesee
KIES	Kiessee
KRUL	Krumme Lake
LANS	Langer See
MUES	Großer Müggelsee
MUEZ	Müggelsee-Zufluß
PARS	Parsteiner See
ROSS	Rosinsee

Algen:

Cyanophyceae

Anaflo	<i>Anabaena flos-aquae</i>
Analem	<i>Anabaena lemmermannii</i>
Aphflo	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>
Aphgra	<i>Aphanizomenon gracile</i>
Limred	<i>Limnithrix redekei</i>
Lynlim	<i>Planktolyngbya subtilis</i> [Syn. <i>Lynbya limnetica</i>]
Micear	<i>Microcystis aeruginosa</i> s. l.
Micvir	<i>Microcystis viridis</i>
Micwes	<i>Microcystis wesenbergii</i>
Plaaga	<i>Planktothrix agardhii</i>

Bacillariophyceae

Actnor	<i>Actinocyclus normanii</i>
Aulspp	<i>Aulacoseira</i> spp.
Cstdub	<i>Cyclostephanos dubius</i>

Cyckue	<i>Cyclotella kuetz./ocellata/comensis</i>
Cycrad	<i>Cyclotella radiosa</i>
Frauln	<i>Fragilaria ulna</i>
Nitaci	<i>Nitzschia acicularis</i>
Stehan	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>
Steneo	<i>Stephanodiscus neoastraea</i>
Tabflo	<i>Tabellaria flocculosa</i>

Weitere Abkürzungen:

CCA	Kanonische Korrespondenzanalyse (Canonical Correspondence Analysis)
Chl a	Chlorophyll a-Gehalt [µg l ⁻¹]
conduct.	Leitfähigkeit [mS m ⁻¹]
DA	Diskriminanzanalyse (Discriminant Analysis)
DIK	Differentieller Interferenzkontrast
DIN	gelöster anorganischer Stickstoff [µmol l ⁻¹]
HCA	Hierarchische Clusteranalyse (Hierarchical Cluster Analysis)
LM	Lichtmikroskop
PCA	Hauptkomponentenanalyse (Principal Components Analysis)
REM	Rasterelektronenmikroskop
SRP	gelöster reaktiver Phosphor [µmol l ⁻¹]
SRSi	gelöstes reaktives Silizium [µmol l ⁻¹]
Syn.	Synonym
TN	Gesamt-Stickstoff [µmol l ⁻¹]
TP	Gesamt-Phosphor [µmol l ⁻¹]
Z_{eu}	euphotische Zone [m]
Z_{max}	maximale Gewässertiefe [m]
Z_{mix}	durchmischte Tiefe [m]

Anmerkung

Abweichend von der deutschen Abfassung des laufenden Textes sind die Abbildungen englisch beschriftet. Die Autorin bittet den Leser, diesem Kompromiß, der der einfacheren Übertragbarkeit der teilweise sehr aufwendigen Darstellungen in Publikationen und Vorträge geschuldet ist, zuzustimmen. Konsequenterweise wurden daher die Texte in allen Abbildungen einheitlich englisch gestaltet.

Die Unterschriften zu den mikroskopischen Tafeln und graphischen Darstellungen sind meist ausführlich gehalten, auch wenn im Textteil wiederum auf verschiedene Details der Abbildungen eingegangen wird. Damit wird bezweckt, dem Leser – auch losgelöst vom Text – die Abbildung zusammen mit der Abbildungsunterschrift als eine sich selbst erklärende Einheit zu präsentieren.

Die Maßeinheiten von Verhältnisgrößen werden ungekürzt angegeben. Es wird damit einer Empfehlung von FISCHER et al. (1975) gefolgt, die lautet: „Verhältnisgrößen sind keine reinen Zahlen; sie dürfen also nicht beliebig addiert werden. Es ist deshalb häufig ratsam, die Einheiten nicht zu 1 zu „kürzen“, damit die Bezugsgröße erkennbar bleibt.“ (Zitat: S. 27).

*„Die Hügelreihen sind von einer äußersten Sterilität,
kaum eine Moosschicht hat sich darauf niedergelassen,
und ihr ganzes Erscheinen erinnert an die Sanddünen der Ostsee.*

*Zwischen den Hügeln aber dehnt sich jedesmal ein grüner Streifen,
aus dessen Mitte leise gekräuselte Wasserflächen,
mal dunkel wie ein Teich, mal blau wie ein See, hervorblicken.“*

Theodor Fontane

„Wanderungen durch die Mark Brandenburg“

1. Einleitung

Die Landschaft in Berlin und Brandenburg ist durch Grund- und Endmoränen, Sanderflächen und Urstromtäler geprägt. Zahlreiche Seen bestimmen das Landschaftsbild. So vielfältig wie die Landschaftsformen sind auch die Gewässertypen.

Für die Urstromtal-Landschaft sind stark durchflossene, flache Seen kennzeichnend. Im Rahmen limnologischer Untersuchungen werden diese häufig sehr treffend als „Flußseen“ bezeichnet. Es sind Gewässer, die sich weder als Fluß noch als See klar beschreiben lassen. Flußseen stellen damit Übergangsformen zwischen Flüssen und Seen dar. Der limnologisch bekannteste Flußsee der Berlin-Brandenburger Region ist der Große Müggelsee. Limnologische Werte liegen hier bereits seit 1940 mit den Untersuchungen von WUNDSCH vor.

Vergleichende Darstellungen von Binnengewässern (Seenvergleiche) sind zumeist regional orientiert (z. B. TAUB 1984) oder befassen sich mit Aspekten der Produktion (z. B. LE CREN & LOWE-McCONNEL 1980, SCHINDLER 1978) bzw. der Eutrophierung (OECD 1992, FORSBERG & RYDING 1980, SMITH 1982). Flache Seen finden dabei selten Berücksichtigung (z. B. DOKULIL et al. 1980, MORTENSEN et al. 1994). So werden auch mit dem PEG-Modell nach SOMMER et al. (1986) hauptsächlich die jahreszeitlichen Sukzessionen in den tiefen geschichteten Seen verglichen und flache Seen nur am Rand betrachtet. „Shallowness in lakes also seems to lead to unpredictability, especially in windy, unstratified water bodies ... The windier the shallow lake, the more often is the endogenous successional trend broken and the more is the planktonic community upon the stochasticity of weather“ (Zitat: SOMMER et al. 1986, S. 460).

Die Planktonentwicklungen der Flußseen verkörpern diesen Charakter der schwierigen Vorhersagbarkeit. Diese flachen, stark durchflossenen Seen sind durch eine starke Dynamik und größere Individualität gekennzeichnet. Aufgrund dieser limnologischen Besonderheit stehen in der hier vorliegenden Arbeit die Flußseen im Mittelpunkt der vergleichenden Untersuchung. Ziel ist es dabei, die Phytoplanktonentwicklung dieses besonderen Gewässertyps mit Planktonentwicklungen anderer, gleichfalls im Berlin-Brandenburger Raum verbreiteter und darüber hinaus im nordostdeutschen Flachland häufig anzutreffender Gewässertypen zu vergleichen. Die Phytoplanktonentwicklung wird dabei in Abhängigkeit von limnologischen Einflußgrößen untersucht. Insgesamt werden 11 Gewässer analysiert.

Die Auswahl der Seen in Berlin-Brandenburg zielt damit auf ein heterogenes Gewässerspektrum. Bei den stark durchflossenen Seen werden auch die Zuflüsse untersucht. Die Gewässer unterscheiden sich hinsichtlich der Morphometrie, Hydrochemie und Hydrophysik. Es sind:

- mesotrophe bis hypertrophe Gewässer
- flache und tiefe Seen
- stabil und instabil geschichtete Gewässer im Sommer und im Winter
- stark durchflossene und stehende Gewässer und
- Gewässer mit niedriger (Moorseen) und höherer Leitfähigkeit.

Wegen der Datenfülle der insgesamt 34 berücksichtigten Gewässerjahre werden multivariate statistische Methoden angewendet. Damit sollen allgemeine Aussagen zur Struktur und Dynamik des Phytoplanktons im untersuchten Gewässerspektrum gewonnen werden.

Folgende Fragestellungen stehen im Vordergrund des Gewässervergleiches:

- Inwieweit spiegelt sich eine ähnliche Phytoplanktonstruktur in limnologisch ähnlichen Gewässern wider? Inwieweit entwickeln sich differenzierte Planktongemeinschaften in limnologisch verschiedenen Gewässern?
Läßt sich die charakteristische Zusammensetzung der Planktongemeinschaften gleichermaßen anhand der Biovolumina sowohl von höheren Taxa als auch von Arten beschreiben?
- Phytoplanktongemeinschaften setzen sich aus einer mehr oder weniger breiten Vielfalt von Taxa zusammen.
Nach SCHREURS (1992) dominieren in 80 holländischen Seen in 46 % der „Gewässerjahre“ Blaualgen und in 11 % Kieselalgen. Blau- und Kieselalgen sind auch in den Gewässern Berlin-Brandenburgs weit verbreitet.
Ist es möglich, die differenzierten Phytoplanktonstrukturen in den limnologisch verschiedenen Gewässertypen anhand der Biovolumina von nur wenigen Blaualgen- und Kieselalgen-Arten klar zu kennzeichnen?
- Untersuchungen zur Gewässerqualität haben gezeigt, daß Diatomeenarten als Indikatoren für Umweltverhältnisse geeignet sind (Van DAM et al. 1994), weswegen sie auch für paläolimnologische Rekonstruktionen herangezogen werden. Indikatorsysteme für Blaualgen hingegen sind kaum entwickelt und werden fast ausschließlich für Fließgewässer verwendet (SLADECEK 1973, MAUCH 1976).
Lassen sich die Phytoplanktongemeinschaften der 11 Gewässer mittels einer dieser zwei Algenklassen besser beschreiben?
- Es kann davon ausgegangen werden, daß sich aufgrund der limnologischen Diversität der 11 Gewässer Unterschiede in der Phytoplankton-Zusammensetzung ergeben. Unabhängig von dieser gewässerspezifischen Planktonzusammensetzung ist zu erwarten, daß jahreszeitliche Schwankungen der Phytoplanktonentwicklung bestehen.
Inwieweit läßt sich bei den Blau- und Kieselalgenarten eine gewässer- und seasonspezifische Biovolumenentwicklung unterscheiden?
- Die Relevanz der relativen Nährelementkonzentrationen wird insbesondere im Zusammenhang mit dem Redfield-Verhältnis und der „resource-ratio“-Hypothese von TILMAN (1982) herausgestellt. Welche Rolle spielen Schwankungen der TN/TP-, SRSi/TN- und SRSi/TP-Verhältnisse für die Planktonentwicklung in den untersuchten Gewässern?
- Volumen und Oberfläche sind quantitative Parameter der Phytoplanktonanalyse.
Das Volumen des Gesamtphytoplanktons ist ein genähertes Äquivalent für die Biomasse. Das Oberfläche/Volumen-Verhältnis des Gesamtphytoplanktons dagegen ermöglicht Aussagen zum physiologischen Zustand dieser Biomasse. Es kennzeichnet die Vorherrschaft von Zellen mit geringem Volumen und großer Oberfläche gegenüber Algenzellen mit großem Volumen aber kleiner Oberfläche in der Phytoplanktongemeinschaft.
Welche Jahresdynamik der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse ergibt sich in den unterschiedlichen Phytoplanktongemeinschaften?

Der Ergebnisteil der vorliegenden Arbeit gliedert sich in zwei Kapitel:

- Limnologische Charakteristik und
- Struktur und Dynamik des Phytoplanktons.

Hauptanliegen des Kapitels zur limnologischen Charakteristik ist es, eine Gruppierung der Gewässer nach der limnologischen Ähnlichkeit vorzunehmen. Darüber hinaus wird insbesondere die trophische Situation der 11 Gewässer beschrieben.

Das Kapitel Struktur und Dynamik des Phytoplanktons umfaßt qualitative und quantitative Phytoplanktonanalysen, woraus sich eine Untergliederung in einen taxonomisch und einen limnologisch ausgerichteten Abschnitt ableitet.

Im taxonomischen Teil wird das Artenspektrum der 11 Gewässer vorgestellt und kritisch diskutiert. Mikrofotografien zeigen dabei ausgewählte Taxa der Cyanophyceae, Bacillariophyceae, Chlorophyta s. l., Cryptophyceae und Chrysophyceae.

Die quantitative Phytoplanktonanalyse stützt sich im wesentlichen auf Biovolumina. Im Mittelpunkt steht dabei die Gewässergruppierung entsprechend der Biovolumenanteile der Algentaxa. Die Gewässergruppenbildung nimmt dabei auf vier verschiedene Aspekte Bezug:

- die höheren Taxa wie Algenklassen bzw. Algenordnungen der gesamten Planktongemeinschaft
- die Arten des Cyanophyteen-Planktons
- die Arten des Bacillariophyteen-Planktons bzw.
- die dominanten Arten verschiedener Algenklassen im Plankton.

Die Gewässergruppenbildungen anhand der Phytoplanktonstrukturen werden dann jeweils mit der limnologischen Gruppenbildung verglichen. Darüber hinaus wird die Zusammensetzung des Blau- und Kieselalgenplanktons in direkte Beziehung zu den limnologischen Parametern der Gewässer gesetzt.

Breiten Raum nehmen in der hier vorliegenden Planktonanalyse die Blau- und Kieselalgen ein. Die Kapitel zum Cyanophyteen-Plankton und Bacillariophyteen-Plankton sind im wesentlichen analog aufgebaut. Hauptkomponentenanalysen, Hierarchische Clusteranalysen, Kanonische Korrespondenzanalysen und Diskriminanzanalysen werden für beide Algenklassen parallel durchgeführt. Dementsprechend sind auch eine Vielzahl der grafischen Darstellungen für beide Algenklassen analog. Die Ergebnisse der unterschiedlichen statistischen Methoden werden in Ergänzung zueinander diskutiert.

Neben den statistischen Analysen werden zeitliche Abfolgen der Biovolumenentwicklung detailliert in Beziehung zum Jahresverlauf hydrochemischer Parameter dargestellt.

Der Vergleich zur Struktur und Dynamik des Phytoplanktons beruht hauptsächlich auf den Biovolumina der Taxa. In Ergänzung dazu werden Oberfläche/Volumen-Verhältnisse und Abundanzen untersucht.

Einen raschen Überblick ermöglichen die Zusammenfassungen in Form eingerahmter Abschnitte am Ende der Kapitel im Ergebnisteil sowie ausführliche Abbildungsunterschriften.

2. Material und Methoden

Die Phytoplanktonzusammensetzung in Beziehung zum limnologischen Bedingungsgefüge wurde von den folgenden 8 Seen in Berlin-Brandenburg untersucht: Langer See (**LANS**), Großer Müggelsee (**MUES**), Flakensee (**FLAS**), Kiessee (**KIES**), Krumme Lake (**KRUL**), Parsteiner See (**PARS**), Rosinsee (**ROSS**) und Großer Plagesee (**GPLA**).

Die Zuflüsse der stark durchflossenen Seen wurden ebenfalls berücksichtigt: der Müggelsee-Zufluß (**MUEZ**) und die beiden Zuflüsse des Flakensees - Woltersdorfer Schleuse (**FLZW**) und Löcknitz (**FLZL**).

2. 1. Geographische Lage der untersuchten Gewässer

Die geographische Lage der Gewässer ist aus Abb. 1 ersichtlich. Der Große Müggelsee (Spree-Gewässer), der Lange See (Dahme-Gewässer, Probenahmestelle bei Schmetterlingshorst), die Krumme Lake und der Kiessee (Kiesgrubenrestloch in Pankow bei Arkenberge, angrenzend an eine Schutt Mülldeponie) liegen im Stadtgebiet von Berlin.



Abb. 1: Lageskizze der untersuchten Gewässer.

(Kr.L.=Krumme Lake, Lage der Zufluß-Probenahmestellen vom Großen Müggelsee und Flakensee in Abb. 2)

Der Flakensee (bei Erkner) sowie der Parsteiner See, der Rosinsee und der Große Plagesee (nahe Brodowin nördlich von Eberswalde, Teil vom Biosphärenreservat „Schorfheide-Chorin“) befinden sich im nordöstlichen Teil des Landes Brandenburg.

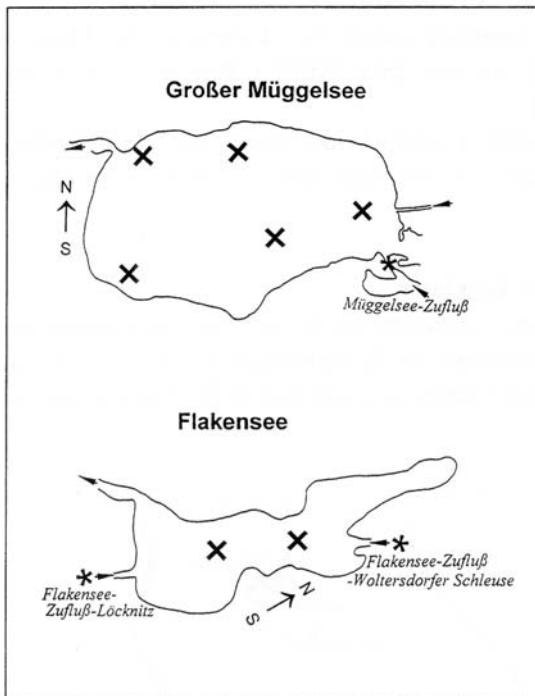


Abb. 2: Großer Müggelsee und Flakensee mit Phytoplankton-Probenahmestellen für die See-Mischproben (x) und Zuflußproben (*) während der Untersuchungsjahre 1992-93.

2. 2. Chemisch-physikalische Analysen

Die Analysen der physikalischen und chemischen Parameter waren an den Modus der verschiedenen Probenahmerhythmik von zwei Forschungsprojekten gebunden (siehe auch Phytoplankton-Probenahme in Kapitel 2. 3.). Die Gewässeranalytik, gekoppelt an die Phytoplankton-Rohrprobenahme 1990-92, wurde in der Fachgruppe Limnologie der Technischen Universität Berlin (TUB) unter Leitung von Prof. W. Ripl durchgeführt. Eine detaillierte Methodenbeschreibung dieser Gewässeranalytik ist in MICHEL (1990) dargestellt. Die chemisch-physikalischen Analysen im Rahmen der Untersuchung der Berliner Gewässer 1992/93 wurden in der Fachgruppe Ökologie der Humboldt-Universität (HUB) unter Leitung von Prof. J.-G. Kohl erstellt. Eine ausführliche Methodenbeschreibung liegt in KOHL et al. (1994) vor.

Die Heterogenität in der Analytik schlägt sich zum Teil in den „sensiblen“ Bereichen, wie z.B. in der Messung der gelösten Phosphor-Fractionen (unterschiedliche Zeiträume des Proben-Transportes, verschiedene Filter-Porenweiten) nieder.

Synchron zum Probenahmerhythmus wurde für alle Gewässerstandorte über den gesamten Untersuchungszeitraum das Vertikalprofil der Lichtintensität in 0,5 m Abständen mit einem Kugelphotometer gemessen (integrale Lichtintensitätsmessung im Wellenlängenbereich der photosynthetisch aktiven Strahlung, FEYERABEND persönl. Mitteilung). Der mittlere **vertikale Extinktionskoeffizient** $\bar{\alpha}$, auch als **vertikaler Attenuationskoeffizient** bezeichnet (SOMMER 1994), wurde wie folgt berechnet

(VOLLENWEIDER 1955):

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{m_i} (\ln I_0 - \ln I_i)$$

mit i =Meßstellenindex, n =Anzahl der Meßstellen, m_i =Wassertiefe [m] von der Wasseroberfläche bis zur i -ten Meßstelle, I_0 =Lichtintensität an der Wasseroberfläche, I_i =Lichtintensität an der i -ten Meßstelle.

Es wird allgemein davon ausgegangen, daß eine aktive Photosynthese (Netto-Primärproduktion > 0) noch bis zu der Wassertiefe möglich ist, bei der die Lichtintensität ca. 1 % der Oberflächenlichtintensität (I_0) beträgt. Dementsprechend wurde die **euphotische Zone** (z_{eu}) wie folgt berechnet:

mit $I_i = 0,01 I_0$ und $I_i = I_0 e^{-\bar{\alpha} z}$ ergibt sich: $0,01 I_0 = I_0 e^{-\bar{\alpha} z}$

$$\ln 0,01 = -\bar{\alpha} z$$

$$z_{eu} = z_{0,01} = -\frac{\ln 0,01}{\bar{\alpha}} = \frac{4,605}{\bar{\alpha}} .$$

2. 3. Phytoplankton-Probenahme

Die Phytoplanktonproben wurden parallel zu den Proben für die Gewässeranalytik genommen. Das Material stammt dabei aus integrierten Epilimnionproben, die als Rohrproben* ($_R$) bzw. Misch-Schöpfproben** ($_M$) monatlich bzw. 14tägig über einen Zeitraum von bis zu vier Jahren genommen wurden (Abkürzung der untersuchten Gewässer siehe Anfang Kapitel 2.):

monatliche Proben: 1990–91 $_R$ MUES, MUEZ; FLAS, FZLW, KRUL, GPLA

1990–92 $_R$: LANS, KIES, PARS, ROSS;

14tägige Proben: 1992–93 $_M$: MUES, MUEZ, FLAS, FLZW, FLZL

Probenahmegeräte: *1,50 m langes Plexiglasrohr mit einem Innendurchmesser von ca. 5 cm

** 5 Liter Friedinger-Schöpfer.

Der Basis-Datensatz zur vergleichenden Phytoplanktonuntersuchung der 11 Gewässer besteht aus 422 Rohr- bzw. Misch-Schöpfproben. Der Gesamt-Datensatz umfaßt dabei 34 Gewässer-Jahre.

Die unterschiedlichen Probenahmetechniken und -abstände waren dadurch bedingt, daß die Untersuchung der Gewässer in verschiedene Forschungsprojekte eingebunden war. Mit der Rohrprobe wurde eine Wassersäule von 0-1,5 m Wassertiefe jeweils an der tiefsten Stelle des Gewässers entnommen. Für den Großen Müggelsee sowie den Flakensee (1992-93) wurden Schöpfproben je Probenahmedatum horizontal (siehe verschiedene Probenahmestellen Abb. 2) und vertikal (bei vollständiger Durchmischung des Wasserkörpers) integriert. Bei Schichtung der Gewässer wurden die Schöpfproben der tiefen Wasserschichten des Meta- und Hypolimnions nicht zur Misch-Schöpfprobe hinzugemischt. Somit repräsentieren sowohl die Rohr- als auch die Mischproben die Phytoplanktonzusammensetzung des Epilimnions und werden daher als miteinander vergleichbar angesehen. So können die Rohr- und Mischproben des Großen Müggelsees und des Flakensees in Beziehung zu den Rohrproben der anderen untersuchten Gewässer gestellt werden.

Da mit der Rohrprobenahme allein die Phytoplanktonzusammensetzung einer 1,50 m mächtigen Oberflächenschicht berücksichtigt wird, sollte abgeschätzt werden, inwieweit diese Rohrproben für die Planktonzusammensetzung der epilimnischen Schicht repräsentativ sind. Dazu wurden für den Zeitraum vom Frühjahr bis Sommer 1992 für den Kiessee, Rosinsee und Parsteiner See an der tiefsten Gewässerstelle parallel zu den Rohrproben noch Vertikal-Oberflächenproben genommen. Die Vertikal-Oberflä-

chenprobe ist eine gemischte Probe aus Schöpfproben über eine Wassersäule von 0 bis zu 5,5 m in 0,5 m Abständen innerhalb der epilimnischen Schicht (mittlere Durchmischungstiefe siehe Abb. 3). Abb. 3 zeigt den Vergleich zwischen beiden Probenahmetypen. Unterschiede in der Phytoplanktonzusammensetzung zwischen beiden Probenahmeverfahren weisen auf eine unterschiedliche vertikale Verteilung einzelner Algengruppen hin. Im Juli konnten in den Rohrproben höhere Biovolumina aufräumender Blaualgen (Kiessee: *Aphanizomenon flos-aquae*; Parsteiner See: *Microcystis* spp., *Anabaena* spp.) gegenüber den Vertikal-Oberflächenproben gefunden werden. Begeißelte Algen waren gleichfalls inhomogen über die untersuchten Wassertiefen verteilt. Vergleichsweise höhere Biovolumina der Rohrproben gegenüber den Vertikal-Oberflächenproben wurden bei einer Grünalgen-Massenentwicklung von *Carteria pseudomultifilis* im Rosinsee gemessen. Dagegen wurden höhere Biovolumina in den tieferen Wasserschichten im Parsteiner See für die Dinophyceae (*Ceratium hirundinella*) gefunden. Abgesehen von diesen quantitativ geringfügigen Unterschieden zeigt sich jedoch, daß die Phytoplanktonzusammensetzung zwischen den parallel genommenen Rohr- und Vertikal-Oberflächenproben sehr ähnlich ist. Damit wird deutlich, daß mit den Rohrproben die Phytoplanktodynamik der epilimnischen Schicht der untersuchten Gewässer im wesentlichen beschrieben werden kann. Die Phytoplankton-Biovolumina der Vertikal-Oberflächenproben werden nicht in nachfolgende Auswertungen einbezogen.

Bei der Diskussion um das Probenahmemanagement rücken Überlegungen zur Kontinuität der Probenahme in den Mittelpunkt. Bei den hier vorliegenden, mehrjährigen Planktonuntersuchungen wurde an einem stabilen Probenahmemodus festgehalten. Äquidistante Zeitintervalle der Probenahme, vergleichbare Probenauswertungen und eine Datenmatrix ohne „Leerstellen“ sind unmittelbare Voraussetzung für

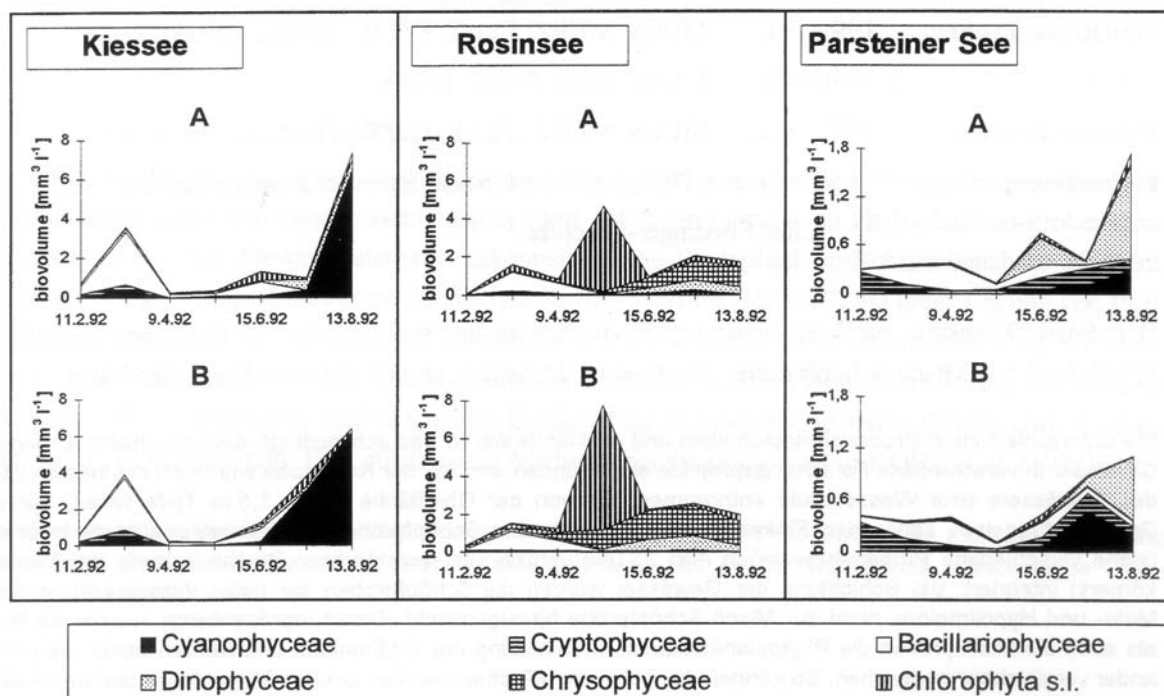


Abb. 3: Vergleich der Phytoplanktonzusammensetzung in parallel genommenen Vertikal-Oberflächenproben(A)* bzw. Rohrproben (B)**.

[*gemischte Probe aus Schöpfproben je 0,5 m über eine Wassersäule von 0-4,5 m (Kiessee) bzw. 0-5,5m (Rosinsee und Parsteiner See); ** Wassersäule 0-1,5 m. Untersuchungszeitraum Februar bis August 1992; mittlere Durchmischungstiefe für 2/92-8/92: Kiessee 4,9 m, Rosinsee 6,1 m, Parsteiner See 18,2 m.]

eine weiterführende sinnvolle Interpretation mittels statistischer Analysen (MICHEL 1990). Diese Voraussetzungen sind, trotz Einbindung in verschiedene Forschungsprojekte, weitestgehend mit dem hier vorliegenden Gewässerdatensatz erfüllt.

Die quantitativ auszuwertenden Planktonproben wurden mit Lugol'scher Lösung unmittelbar nach der Probenahme fixiert. Parallel dazu wurden qualitative Proben, d. h. eine Lebendprobe und eine formaldehydfixierte Probe, genommen. Damit die weniger häufig im Plankton vorkommenden, großen Algen ($> 10 \mu\text{m}$) neben zahlreichen kleinen Algen ($< 10 \mu\text{m}$) in einer qualitativen Probe im ausgeglichenen Abundanzverhältnis vorliegen, wurde ein Schöpfproben-Anteil mit einem $10 \mu\text{m}$ -Netzproben-Anteil kombiniert. Um ein Kollabieren von Zellen bzw. das Auftreten von Fixierungs-Artefakten einzuschränken, wurde die qualitative Probe unmittelbar nach der Probenahme mit Formaldehyd anfixiert und Tage später durch weitere Zugabe von Formaldehyd konserviert (siehe unten: Lebendproben).

2. 4. Qualitative Phytoplanktonanalyse

Die Methoden zur Bestimmung der Algentaxa wurden auf die einzelnen Algengruppen abgestimmt.

Eine Auswertung der **Lebendproben** erwies sich insbesondere bei der Bestimmung geißeltragender und koloniebildender Arten als zweckmäßig, da Fixierungs-Artefakte auftreten können. In lugol- und/oder formaldehydfixierten Proben liegen Geißeln häufig vom Zellkörper getrennt (z. B. bei *Carteria pseudomultifilis* infolge einer Formaldehydfixierung). Kolonien zerfallen leicht in Einzeltrichome bzw. Einzelzellen (z. B. Trichombündel von *Aphanizomenon flos-aquae*, *Synura*-Kolonien). Darüber hinaus können in Lebendproben die spezifischen Geißelbewegungen der Flagellaten beobachtet werden, welche eine wesentliche Aussagekraft als diagnostische Merkmale haben (Koordination der Geißelbewegung bei mehreren Geißeln, Bewegungsrichtung des Zellkörpers durch Zug- bzw. Schleppgeißeln, Zellrotationen usw.).

Darüber hinaus wurden zur Bestimmung der Algentaxa i. a. **formaldehydfixierte** Proben ausgewertet. Bei der Bestimmung der Cryptophyceae, speziell der *Rhodomonas*-Arten, wurden **lugolfixierte** Phytoplanktonproben gegenüber dem formaldehydfixierten Material bevorzugt (siehe WILLÉN et al. 1980).

Zur Bestimmung der Kieselalgen wurden **Dauerpräparate** angefertigt. Das Material für die Präparate wurde Lugolproben entnommen, die nicht länger als ca. 1 Jahr und bei 10°C gelagert wurden. Zur **Präparation der Kieselalgen** wurde das Plankton über eine Zentrifugation angereichert, gewaschen, mit 30%igem H_2O_2 versetzt (Volumenverhältnis, Probe: $\text{H}_2\text{O}_2 = 1:10$) und über 7 h auf 60°C erwärmt. Am folgenden Tag wurde die zentrifugierte Probe nach erneuter Zugabe von H_2O_2 für weitere 7 h auf 60°C temperiert. Am 3. Tag wurde diese Prozedur unter Zugabe eines H_2O_2 /Eisessig-Gemisches (H_2O_2 :Eisessig = 10:1) wiederholt. Damit wurde das Material für die Präparation nicht gekocht! Die präparierten Kieselalgeschalen wurden in Naphrax eingebettet.

Mit dieser schonenden Präparationsmethode bleiben hyalin verkieselte Strukturen wie z. B. Schalen von *Nitzschia acicularis* oder von kleinen solitären zentrischen Diatomeen und auch Schuppen von *Synura/Mallomonas*-Arten erhalten. Ein besonderer Vorteil dieser Methode ist, daß die beiden Theken einer Frustel nicht auseinanderfallen. Somit kann die Variabilität der verkieselten Schalenstruktur innerhalb einer jeden Zelle untersucht werden.

Die Determination der Algentaxa basiert maßgeblich auf lichtmikroskopischen Beobachtungen (Mikroskop „JENALUMAR contrast“ Carl Zeiss Jena; Hellfeld, Dunkelfeld, positiver Phasenkontrast, differentieller Interferenzkontrast, Epi-Fluoreszenz). Im LM nicht mehr auflösbare artdiagnostische Merkmale

nanoplanktischer Diatomeen und *Aulacoseira*-Arten sowie Aspekte der Zellwandmorphogenese bei den Kieselalgen sind ergänzend im Rasterelektronenmikroskop (REM) untersucht worden.

Das **System der Algenklassen** ist der „Süßwasserflora von Mitteleuropa“ (KRAMMER & LANGE-BERTALOT 1991) entlehnt. Als grundlegende Bestimmungsliteratur dienen:

Cyanophyceae: GEITLER 1932; STARMACH 1966; ANAGNOSTIDIS & KOMÁREK 1985, 1988a; KOMÁREK & ANAGNOSTIDIS 1986, 1989

Bacillariophyceae: KRAMMER & LANGE-BERTALOT 1986, 1991; KLEE & STEINBERG 1987; HUBER-PESTALOZZI & HUSTEDT 1942

Chlorophyta s. l.: HUBER-PESTALOZZI 1961; HUBER-PESTALOZZI & FOTT 1972; HUBER-PESTALOZZI & FÖRSTER 1982; RUZICKA 1977, 1981; ETTL 1983; ETTL & GÄRTNER 1988; DILLARD 1991; KADLUBOWSKA 1984

Chrysophyceae: STARMACH 1985

Dinophyceae: POPOVSKY & PFIESTER 1990

Weitere Sonderpublikationen sind in Kapitel 3. 2. 1. angegeben. Die Terminologie der verkieselten Zellwandstrukturen der Bacillariophyceae folgt ROSS et al. (1979).

2. 5. Quantitative Phytoplanktonanalyse

Die Quantifizierung der lugolfixierten Phytoplanktonproben wurde an die UTERMÖHL-Sedimentationsmethode angelehnt (UTERMÖHL 1931, 1958).

Bei höherer Abundanz der Zählereignisse - einzelne Zellen, Filamente, Kolonien - wurde der Mittelwert des Biovolumens entsprechend einer Log-Normalverteilung (bzw. POISSON-Verteilung) oder einer Normalverteilung berechnet, je nachdem welche dieser Verteilungsfunktionen besser an die real vorliegende Verteilung angepaßt war (CROXTON & COWDEN 1955).

Der Struktur und Dynamik des Phytoplanktons der 11 untersuchten Gewässer wurde auf der Ebene der dominanten Arten bzw. Artengruppen verglichen (siehe folgend A). Über eine kombinierte Auswertung von Lugolproben und Diatomeenpräparaten war es möglich, die Zusammensetzung und Dynamik des Diatomeenplanktons, insbesondere der einzelligen zentrischen Kieselalgenarten (siehe folgend B), parallel zur Biomassentwicklung von Arten anderer Algenklassen zu diskutieren.

zu A: Bei der quantitativen Phytoplanktonanalyse ist die gezielte Bestimmung der Art-Biovolumina koloniebildender Blaualgen z. T. mit Kompromissen behaftet. Mit dem Vereinzeln der Zellen wird zwar die Auszählung vereinfacht, aber die artdiagnostischen Merkmale, die an die Koloniestruktur gekoppelt sind, sind damit nicht mehr erkennbar (siehe Kapitel 3. 2. 1. 2. 1.). Daher ist es notwendig, eine Biovolumenabschätzung der Arten im Kolonieverband vorzunehmen. Um dabei gravierende Fehleinschätzungen beispielsweise bei Proben mit *Microcystis*-Massenentwicklungen auszuschließen, wurde die Biovolumenbestimmung für die *Microcystis*-Arten zusätzlich abgesichert. So wurde das Biovolumen, welches routinemäßig anhand der Kolonien (Summe der **Biovolumina der *Microcystis*-Arten**) berechnet wurde, mit dem Wert einer Zählung der Einzelzellen aus zerlegten Kolonien (Gesamtbiovolumen von *Microcystis*) verglichen.

zu B: Zur Erfassung der **Biovolumina der einzelligen zentrischen Diatomeen** wurde parallel zu jeder der 422 Phytoplankton-Lugolproben ein Dauerpräparat angefertigt. Im Dauerpräparat wurde für jede Art sowohl die Häufigkeit der Theken als auch der Durchmesser der Theken erfaßt. Bei einer Massenentwicklung der einzelligen zentrischen Diatomeen wurde ein Dauerpräparat solange ausgezählt, bis die Abundanz einer Art den Wert 100 überschritt. Trotz Anreicherung des Materials lagen in den Sommerproben häufig von keiner einzigen Art 100 Theken auf dem Dauerpräparat vor, so daß der Kompromiß darin gesehen wurde, die Auswertung auf die Auszählung der gesamten Fläche des Dauerpräparates zu beschränken.

Aufgrund der schonenden Präparationsweise (siehe Kapitel 2. 4.) liegt ein hoher Anteil der Diatomeen in Form von „ganzen“ Frusteln vor. Damit ist es insbesondere bei schräg in Gürtelbandansicht liegenden Frusteln möglich, sowohl die Art sicher zu erkennen als auch die Zellhöhe neben dem Valvendurchmesser zu messen.

Anhand der Größenklassen-Einteilung (Klassenbreite = 0,85 µm) aller auf dem Dauerpräparat ausgezählten Theken wird die relative Anzahl der Arten je „Dauerpräparat-Größenklasse“ ermittelt. Mit der Auszählung der lugolfixierten Probe wird die Gesamtabundanz aller solitären zentrischen Diatomeen je Liter erfaßt (Einteilung wiederum in Größenklassen mit Klassenbreite = 0,85 µm, „Lugol-Größenklassen“). Der Thekenanteil der einzelnen Arten innerhalb einer „Dauerpräparat-Größenklasse“ wird in Relation zu der Gesamt-Thekenzahl der analogen „Lugol-Größenklasse“ gesetzt. Eine Prüfroutine garantiert, daß eine belegte „Dauerpräparat-Größenklasse“ auch in der „Lugol-Größenklasse“ besetzt ist. Falls eine schlechte Übereinstimmung zwischen den Anteilen der „Dauerpräparat-“ und „Lugol-Größenklasse“ vorliegt, wird gegebenenfalls* eine größere Klassenbreite zugrunde gelegt. Ergebnis sind **absolute** Abundanzen (Anzahl Zellen je Liter) der einzelnen Arten je Lugol-Größenklasse. Für eine jeweilige Art wird je Größenklasse (Valvendurchmesser) und zugehöriger Zellhöhe das Biovolumen der Algenzelle berechnet und mit der entsprechenden absoluten Abundanz multipliziert. Schließlich werden die Biovolumina über alle von dieser Art belegten Größenklassen addiert (analog erfolgt die Zelloberflächenberechnung).

(* Eine Diskrepanz in der Häufigkeitsverschiebung einzelner Algenklassen ergibt sich z. B. dann, wenn in der Planktonprobe ein höherer Zellanteil toter Diatomeen-Zellen vorliegt. Deshalb wird die Abundanz toter Zellen je Größenklasse bei der Lugolproben-Auszählung separat vermerkt. Die Theken bzw. Frusteln dieser toten Zellen liegen zwar auch im Dauerpräparat vor, werden jedoch über die Prüfroutine der Klassenbelegung herausgefiltert und gehen somit nicht in das Biovolumen der einzelnen zentrischen Diatomeen-Arten ein. Die Sortier-, Klasseneinteilungs-, Prüf- und Berechnungsroutinen wurden mittels Visual Basic-Makro-Programmierung in EXCEL 5.0 realisiert.)

Für den Phytoplanktonvergleich wurden neben den Biovolumina (Verdrängungsvolumina), die (Bio-) Oberflächen und die Zellabundanzen ermittelt, wobei die Biovolumina im Mittelpunkt der Darstellung stehen.

Das Prinzip der Biovolumenabschätzung der Algen basiert auf der Ermittlung der Verdrängungsvolumina einzelner Algen-Zellformen, wobei die Volumenberechnung auf geometrisch ähnliche Körper - d. h. Kugel, Quader und Zylinder; einzeln oder zusammengesetzt - zurückgeführt wird (z.B. WILLÉN 1976, EDLER 1979, ROTT 1981). Anliegen ist es dabei, eine vergleichbare, repräsentative Schätzung der Verdrängungsvolumina unterschiedlichster Zellgestalten zu gewinnen. Bei der vorliegenden Phytoplanktonuntersuchung wurden den Berechnungen häufig die Volumen- und Oberflächenformeln der einfachen Körperformen wie der Kugel (z. B. *Microcystis*-, *Tetrastrum*-Einzelzellen), des Quaders (z. B. *Diatoma*, *Asterionella*) und des Zylinders (z. B. zentrische Diatomeen, Zellfäden wie *Planktothrix*) zugrunde gelegt. Eine Auswahl weiterer, hier angewendeter Formeln zur Berechnung der Verdrängungsvolumina bzw. Oberflächen der Zellen bzw. Zellverbände sind für einige Algentaxa in Tabelle I aufgeführt.

Die Zelldimensionen einer Algenart können zum Teil erheblich variieren. Dies ist beispielsweise durch den Modus der Zellteilungen/Zellzyklen (siehe *Melosira varians* Tafel IV: Abbn. 1-3) oder durch unterschiedliche Milieuverhältnisse/Lebensräume (siehe *Tabellaria flocculosa* Tafel VI: Abbn. 14, 15: Pelagial- und Litoral-Kolonieform) bedingt. Daher wurden insbesondere bei den dominanten Arten detaillierte Biometriedaten erfaßt. Mit Abb. 4 wird am Beispiel der Trichombreiten von *Aphanizomenon flos-aquae* deutlich, daß Zelldimensionen im Jahresverlauf tendenziell variieren können. Ein weiterer Trend bezüglich der unterschiedlichen Häufigkeitsverteilungen diverser Zellgrößen in den untersuchten 11 Gewässerstandorten wird in Abb. 5 am Beispiel der Valvendurchmesser von *Cyclotella radiosa* gezeigt. Anhand von über 8200 vermessenen Theken wird offensichtlich, daß in den dystrophen Gewässern, d. h. in der Krummen Lake und dem Großen Plagesee, die Theken von *C. radiosa* signifikant kleiner sind als jene aller anderen untersuchten meso- bis hocheutrophen Gewässer (Ausnahme: Theken vom Kiessee).

Zelldimensionen wurden i. a. gekoppelt mit der Routinezählung der Lugolproben am umgekehrten Lichtmikroskop („SEDIVAL hydrobiology“; Zeiss/Jena) bzw. der Kieselalgen-Dauerpräparateauszählung (LM „JENA LUMAR“; Zeiss/Jena) ermittelt. Kleine laterale Größen wurden separat mittels Interferenzmikroskopie (LM „PERAVAL“; Zeiss/Jena) gemessen.

Tab. I: Übersicht zur Berechnung der Verdrängungsvolumina und Oberflächen von Zellen bzw. Zellverbänden diverser Algentaxa (L=Zell-Länge, B=Zell-Breite).

	Volumen (V) Oberfläche (A)	Beispiele in Betracht kommender Taxa
doppelter Pyramidenstumpf (doppelter regulärer vierseitiger Pyramidenstumpf)	$V = \frac{1}{3} L (B_{\text{Ende1}} B_{\text{Ende2}} + \sqrt{B_{\text{Ende1}} B_{\text{Ende2}} B_{\text{Mitte1}} B_{\text{Mitte2}}} + B_{\text{Mitte1}} B_{\text{Mitte2}})$ $A = 2 B_{\text{Ende1}} B_{\text{Ende2}} + (B_{\text{Ende1}} + B_{\text{Mitte1}}) \sqrt{(B_{\text{Ende1}} + B_{\text{Mitte1}})^2 + L^2}$ $+ (B_{\text{Ende2}} + B_{\text{Mitte2}}) \sqrt{(B_{\text{Ende2}} + B_{\text{Mitte2}})^2 + L^2}$ $B_{\text{Mitte1}}, B_{\text{Ende1}}$=Breiten in Schalenansicht $B_{\text{Mitte2}}, B_{\text{Ende2}}$=Breiten in Gürtelbandansicht jeweils in Zell-Mitte bzw. am -Ende	<i>Fragilaria ulna</i> <i>Nitzschia acicularis</i>
Doppelkreiskegel (doppelter gerader Kreiskegel)	$V = \frac{1}{12} \pi B^2 L$ $A = \frac{\pi B}{2} \sqrt{(B)^2 + (L)^2}$	<i>Ankistrodesmus</i> spp. <i>Ankyra</i> spp. <i>Monoraphidium</i> spp.
Rotationsellipsoid	$V = \frac{1}{6} \pi B^2 L$ $A = \pi \frac{B}{2} \left(B + L \frac{\arcsin \frac{\sqrt{L^2 - B^2}}{L}}{\frac{\sqrt{L^2 - B^2}}{L}} \right)$	<i>Chlamydomonas</i> spp. <i>Gymnodinium</i> spp. <i>Oocystis</i> spp.
abgeplattetes Rotationsellipsoid	$V = \frac{1}{8} \pi B^2 L \quad \text{mit } B_2 = 0,75 B_1$ A siehe Rotationsellipsoid	<i>Carteria pseudomultifilis</i> <i>Cryptomonas</i> spp. <i>Tetraselmis</i> spp.
Zönobium Pediastrum (Faktoren wurden aus Volumina- bzw. Oberflächenberechnungen abgeleitet, welche auf Dimen- sionsmaßen von Zeichnungen der taxonomischen Literatur basieren)	$V = 0,2466 D^3$ $A = 4,47 D^2$ (D=Durchmesser eines geschlossenen Zönobiums) $V = 0,2211 D^3$ $A = 5,78 D^2$ (D=Durchmesser eines perforierten Zönobiums) $V = 0,2165 D^3$ $A = 2,98 D^2$	<i>Pediastrum boryanum</i> <i>Pediastrum duplex</i> <i>Pediastrum tetras</i>

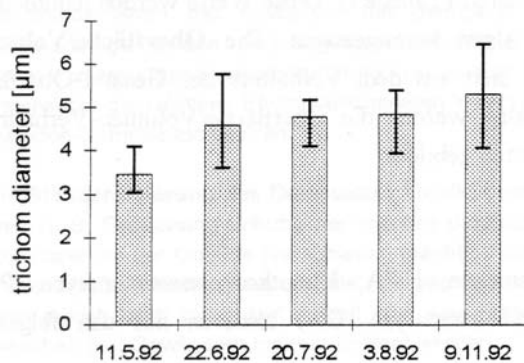


Abb. 4: Trend zu zunehmenden Trichombreiten (Mittelwerte) im Jahresverlauf bei *Aphanizomenon flos-aquae*. Spannweiten der Trichombreiten sind als Balken eingezeichnet. Es wurden jeweils 25 Trichombreiten mittels Interferenzmikroskopie gemessen.

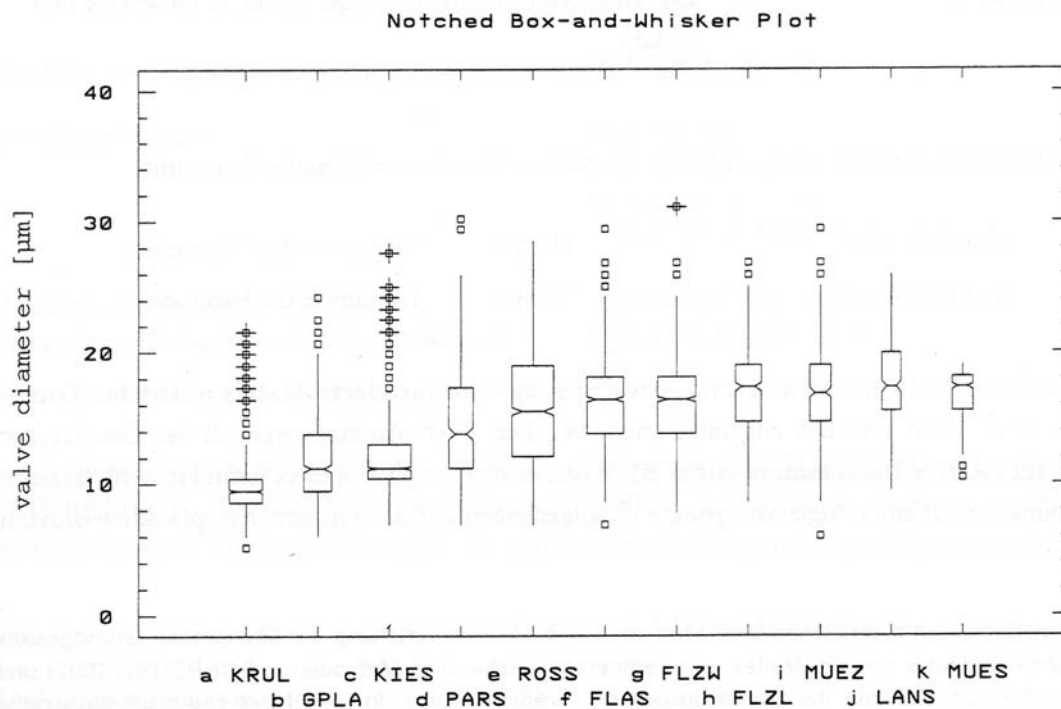


Abb. 5: Gewässerspezifische Häufigkeitsverteilung der Schalengrößen von *Cyclotella radiosa* in den 11 Gewässern. Die Medianwerte der Valvendurchmesser der Theken aus den beiden dystrophen Seen (KRUL, GPLA) sind signifikant kleiner als die aus den übrigen Gewässern (Ausnahme: Theken vom Kieselsee). [Gekerbte Box-Whisker-Darstellung. Datenbasis: 8289 Theken aus Untersuchungszeitraum 1990-93. Beachte enge Vertrauensbereiche der 11 Medianwerte (95 %, siehe Längen der Einkerbungen einer jeweiligen Box).

Gewässer-Stichproben sortiert nach steigenden Mittelwerten. - Gewässer, Anzahl der gemessenen Theken-mittlerer Valvendurchmesser: KRUL 812-10µm; GPLA 562-11,7µm; KIES 1420-12,1µm; PARS 436-14,6µm; ROSS 1337-15,8µm; FLAS 1041-16,3µm; FLZW 1116-16,6µm; FLZL 501-16,8µm; MUEZ 358-16,9µm; LANS 292-17,5µm; MUES 414-17,6µm. Gewässerabkürzung siehe Anfang Kapitel 2. Allgemeine Erläuterung zur Grafik siehe Abb. 17.]

Bei der Berechnung der Oberflächen der Algen werden die Zell-Oberflächen, d. h. die Gesamtoberflächen der Einzelzellen minus evtl. vorhandener Kontaktflächen zu benachbarten Zellen im Zellverband (Trichom, Zellkette der *Melosira* s. l., Zönobium), addiert (Tabelle I). Diese Werte werden lediglich zur Verhältnisbildung gegenüber dem Volumen der Algen herangezogen. Die **Oberfläche/Volumen-Verhältnisse des Gesamtphytoplanktons** ergeben sich aus dem Verhältnis der Gesamt-Oberfläche [$\text{mm}^2 \text{ l}^{-1}$] zum Gesamt-Biovolumen [$\text{mm}^3 \text{ l}^{-1}$]. Analog werden die Oberfläche/Volumen-Verhältnisse einzelner Algenklassen, -ordnungen, -gruppen und -arten gebildet.

2. 6. Statistische Methoden

Die multivariaten statistische Analysen (Clusteranalyse, HCA; Hauptkomponentenanalyse, PCA; Kanonische Korrespondenzanalyse, CCA, Diskriminanzanalyse, DA) basieren auf den folgenden Mittelwert-Bildungen:

Gewässer-Mittelwert	=	der Mittelwert für ein jeweiliges Gewässer über gesamten Untersuchungszeitraum,
Gewässer-Jahresmittelwert	=	der Mittelwert für ein jeweiliges Gewässer je Jahr
Gewässer-Saisonmittelwert	=	der Mittelwert aus den Saisonmittelwerten für ein jeweiliges Gewässer über den gesamten Untersuchungszeitraum bzw.
Saison-Mittelwert	=	der Mittelwert für eine jeweilige Saison je Gewässer und je Jahr.

Falls es nicht anders definiert wird, umfassen die Saison-Mittelwerte folgende Zeiträume:

Frühjahr:	März bis Mai	Herbst:	September bis November
Sommer:	Juni bis August	Winter:	Dezember bis Februar

Eine **standardisierte** (Korrelationsmatrix) bzw. eine **log-transformierte Matrix** metrischer Daten liegt den HCA, PCA, CCA und DA zugrunde (siehe A). Der Phytoplanktonvergleich der Gewässer stützt sich dabei auf **relative Biovolumina** (siehe B). Wenn es nicht explizit anders definiert wird, bezieht sich der Biovolumenanteil einer Algenart/-gruppe im allgemeinen auf das Gesamtphytoplankton-Biovolumen [%].

zu A: Eine Reihe von statistischen Methoden setzen eine Normalverteilung der Stichproben-Grundgesamtheit voraus. Mit Ausnahme des pH-Wertes, der Temperatur (siehe auch Methoden in SCHREURS 1992) und der Leitfähigkeit ergab sich mit der **Logarithmierung** [Transformation: $\ln(p+1)$] der chemisch-physikalischen Parameter p eine bessere Anpassung an eine Normalverteilung. Abb. 6 zeigt dies am Beispiel des molaren TN/TP-Verhältnisses sowohl für den Ausgangsdatensatz (umfaßt 422 Einzelproben) als auch für die gepoolten Datensätze (Saison-Mittelwerte Stichprobenumfang $n=129$, Gewässer-Jahresmittelwerte $n=34$, Gewässer-Mittelwerte $n=11$). Für Umweltparameter zeigt sich eine Links-Schiefe in den Verteilungen insbesondere dann deutlich, wenn die Werte häufig sehr niedrig, z. B. nahe der Nachweisgrenze, liegen und nur mit geringer Wahrscheinlichkeit maximale Extremwerte erreichen können. Mit dem Fehlen negativer Meßwerte (Wert nie <0) und der Möglichkeit, einen „quasi“ unbegrenzt hohen Betrag anzunehmen, sind die Beträge der Meßwerte linksseitig scharf begrenzt, aber rechtsseitig offen. Analog gilt dies auch für den Phytoplankton-Datensatz (Biovolumina, Oberflächen, Abundanzen) der 11 untersuchten Gewässer. Sowohl die absoluten als auch die relativen Phytoplanktonwerte (Abb. 7) sind häufig stark linksschief verteilt, da im allgemeinen eine höhere Biomasseentwicklung nur saisonbedingt, also nur in kurzen Zeitabschnitten, auftritt. Darüber hinaus ergibt sich aus der Heterogenität der hier untersuchten Gewässergruppe, daß eine Massenentwicklung einer Algenart bzw. -gruppe nur in einem Gewässer bzw. In wenigen Gewässern gleichzeitig vorliegt und damit für das gesamte Gewässerspektrum wiederum gerade niedrige Biovolumina der einzelnen Taxa sehr häufig sind.

zu B: Eine starke Heterogenität der Gewässer zeigt sich u. a. in der unterschiedlich mächtigen Biomasseentwicklung (Abb. 8). Ein Gewässervergleich anhand der absoluten Biovolumina der Gewässer stützt sich im wesentlichen auf die Arten der extremen Massenentwicklungen, insbesondere der nährstoffreichen Gewässer. Dominante Arten der Gewässer geringerer Biomasseentwicklung werden dann nicht genügend berücksichtigt. Mit den relativen Phytoplanktondaten, z. B. dem **relativen Biovolumen**, werden diese Taxa, deren Verbreitungsschwerpunkte in den meso- schwacheutrophen Gewässern liegen, stärker gewichtet. Datensätze der relativen Phytoplanktondaten widerspiegeln also detaillierter die gewässerspezifischen Phytoplankton-Dominanzstrukturen.

Die **Standardisierung** des Datensatzes nivelliert unterschiedliche Größenordnungen/Skalierungen der Variablen (z. B. Größenangleichung bei krassen Biovolumen-Unterschieden zwischen verschiedenen Algentaxa), nicht aber die der Objekte (verschieden mächtige Biomasseentwicklung der Gewässer) untereinander. Daher stehen die Standardisierung und die relativen Datenangaben in keinem theoretischen Zusammenhang. Praktisch jedoch kann zumindest partiell über eine Standardisierung des Plankton-Datensatzes eine Nivellierung zwischen den Gewässern indirekt bedingt werden.

Die statistischen Methoden wurden folgender Literatur entlehnt:

allgemeine Statistik:	CROXTON & COWDEN 1955, WEBER 1986, SACHS 1992
Deskriptive und Explorative Datenanalyse:	HEILER & MICHELS 1994
Multivariate Statistik:	BORTZ 1985; BACKHAUS et al. 1994; HENRION et al. 1988; HENRION & HENRION 1995
Multivariate Statistik für ökologische und taxonomische Fragestellungen:	JONGMAN et al. 1987; SNEATH & SOKAL 1973

Für die statistische Analysen wurden SYSTAT (Version 5), STATGRAPHICS Plus (Version 5.5), STATGRAPHICS Plus for Windows (Version 1.4), SPSS for Windows (Release 6) und PC-ORD (Version 2) genutzt. Für spezielle Fragestellungen wurden die Programme wie folgt angewandt:

HCA	-SYSTAT, STATGRAFICS Plus for Windows
PCA-Variablenreduktion	-SPSS
PCA-Biplot-Darstellungen	-STATGRAPHICS Plus, STATGRAFICS Plus for Windows, z. T. erneutes Zeichnen in Excel 5.0
CCA	-PC-ORD, erneutes Zeichnen der Jointplot-Darstellung in Excel 5.0
DA	-STATGRAFICS Plus for Windows, SPSS
Mehrfaches gekerbtes Box-Whisker-Plot	-STATGRAPHICS Plus
trigonale TN-TP-SRSi-Grafiken	-GRAPHER TM for Windows

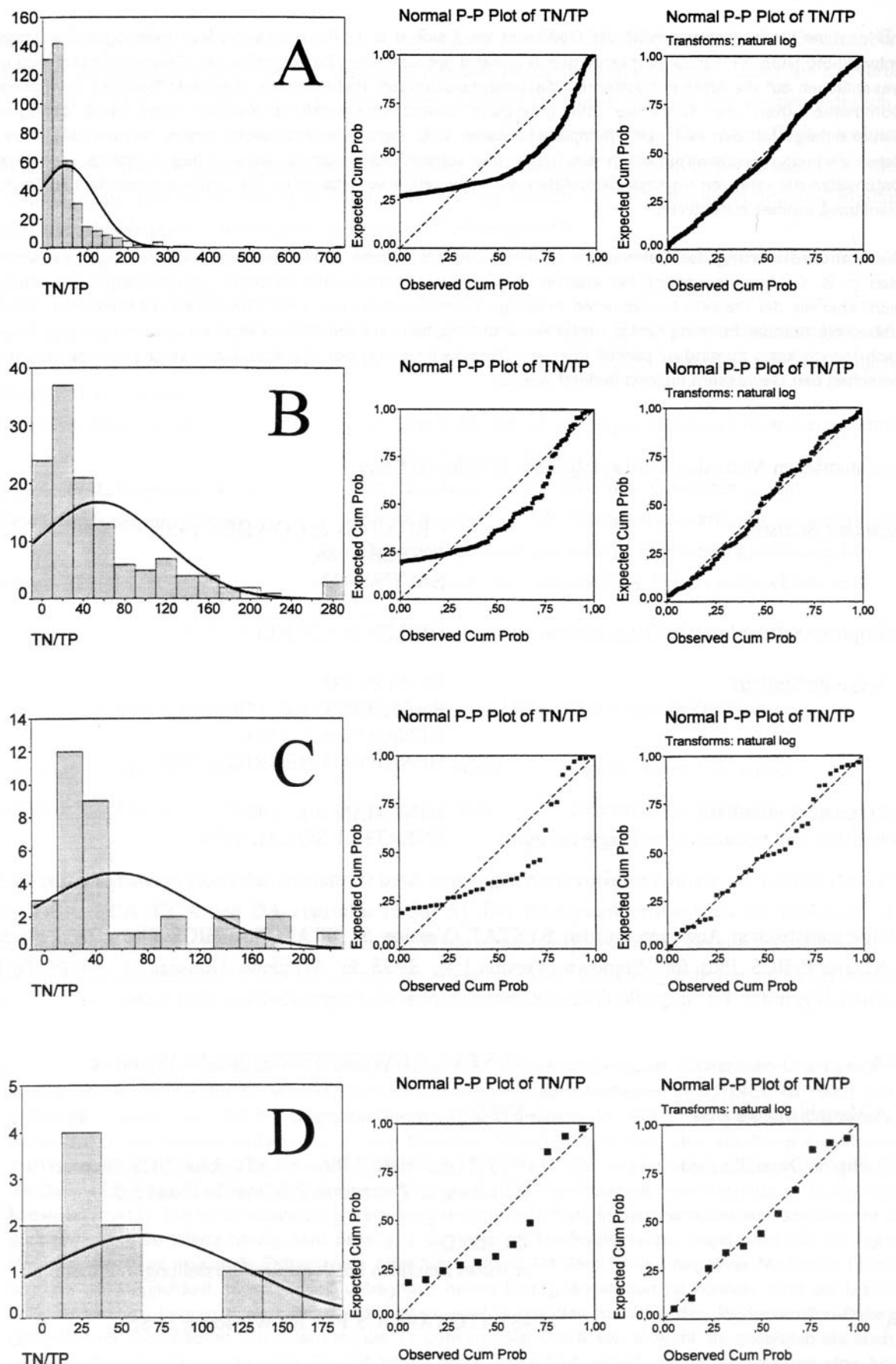


Abb. 6 (linke Seite): Häufigkeitsverteilung empirischer Stichproben. Am Beispiel des molaren TN/TP-Verhältnisses wird die Anpassung an eine Normalverteilung grafisch veranschaulicht.

Die Häufigkeitsverteilungen der nicht-transformierten Stichproben sind in Histogrammen dargestellt und zeigen linksschiefe Verteilungen. Mit dem Fehlen negativer Meßwerte (Wert nie <0) und der Möglichkeit, einen „quasi“ unbegrenzt hohen Betrag anzunehmen, sind die Stichprobenverteilungen linksseitig scharf begrenzt, aber rechtsseitig offen. Im P-P-Normalverteilungsplot werden die kumulierten Häufigkeiten der Stichprobe (Observed Cum Prob) in Abhängigkeit zu den erwarteten kumulierten Häufigkeiten der theoretischen Normalverteilung (Expected Cum Prob) dargestellt (Scatterplots). Dabei zeigt sich sowohl für den Ausgangsdatensatz (**A**) als auch für die gepoolten Datensätze (**B** bis **D**), daß mit der Transformation der Daten (Normal P-P Plot; Transforms: natural log) eine bessere Anpassung an eine Normalverteilung gegeben ist.

[Datenbasis: **A** - Original-Einzelprobendatensatz Stichprobenumfang $n=422$; **B** - Saison-Mittelwerte $n=129$; **C** - Gewässer-Jahresmittelwerte $n=34$; **D** - Gewässer-Mittelwerte $n=11$.]

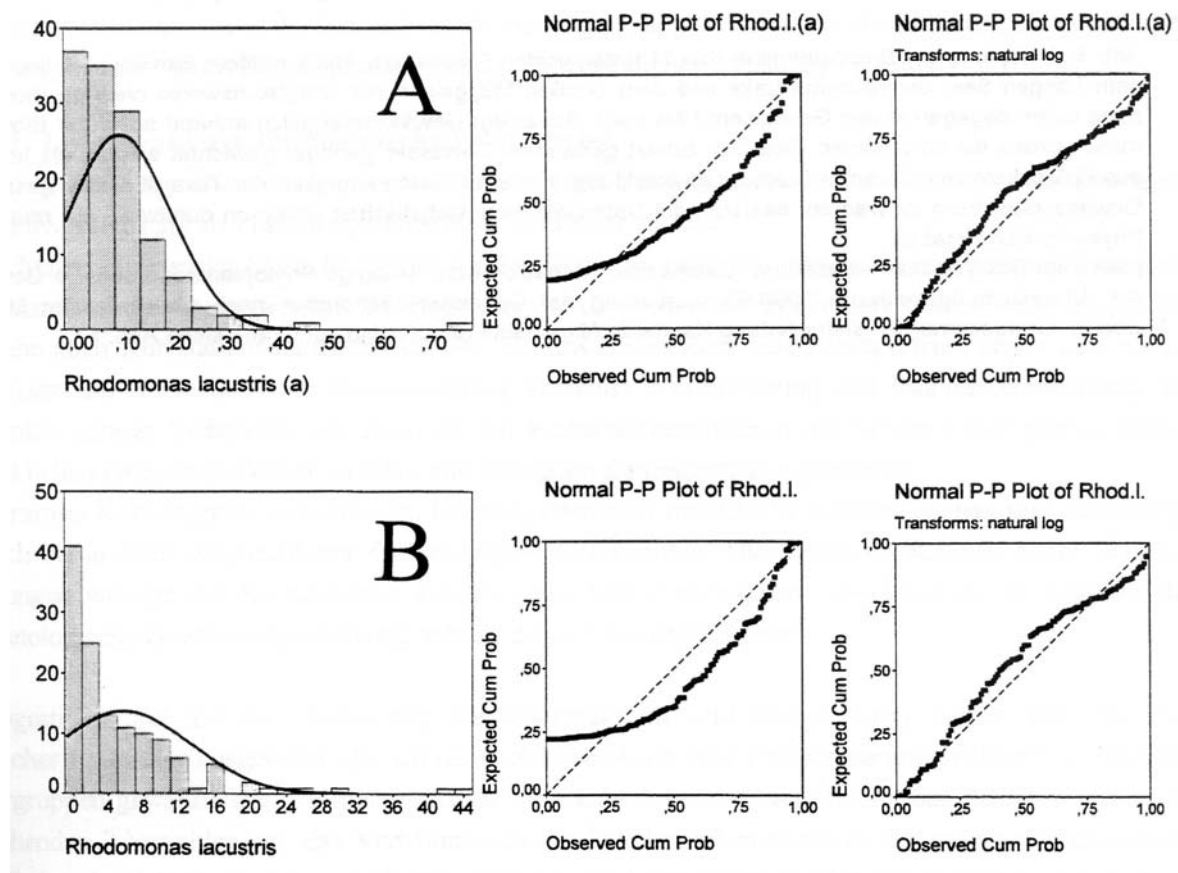


Abb. 7: Häufigkeitsverteilung empirischer Stichproben. Sowohl bei dem absoluten (**A**) als auch bei dem relativen Algen-Biovolumen-Datensatz (**B**) von *Rhodomonas lacustris* zeigt sich eine bessere Anpassung der log-transformierten gegenüber den nicht-transformierten Daten an eine Normalverteilung.

[Datenbasis: Saison-Mittelwerte, Stichprobenumfang jeweils $n=129$, Erläuterung siehe auch Abb. 6.]

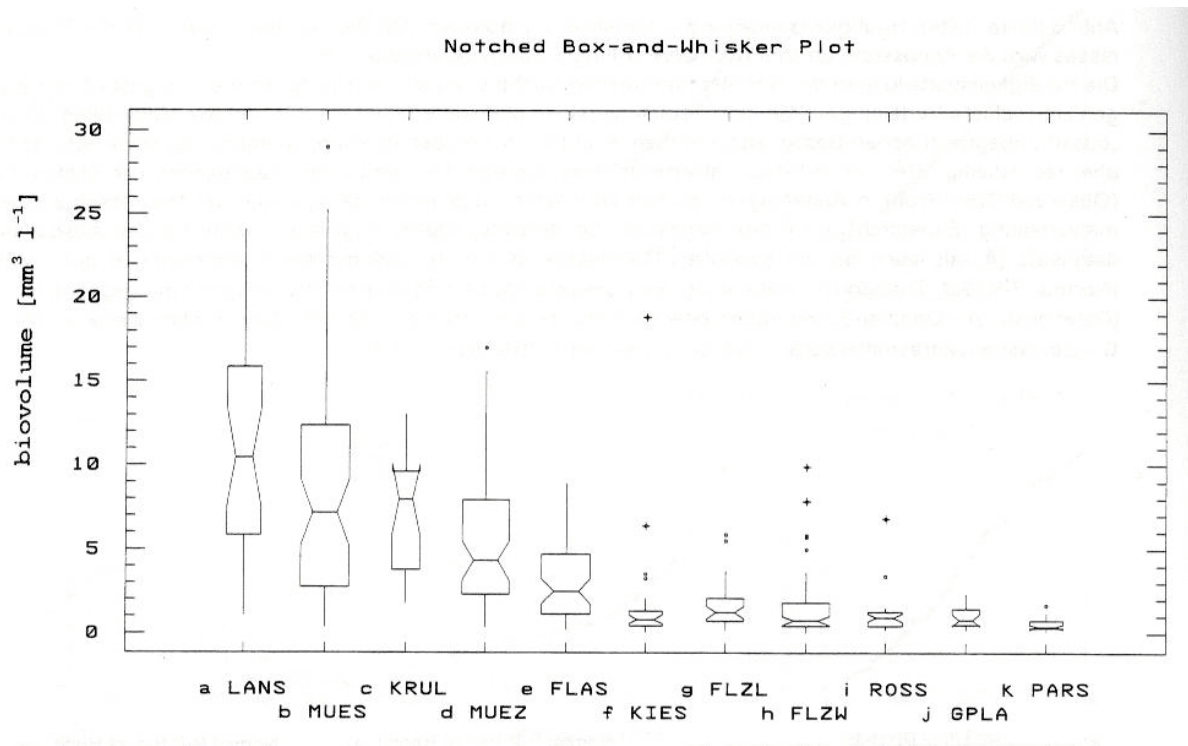


Abb. 8: Verteilung der Biovolumina in den 11 untersuchten Gewässer. Hohe mittlere Biovolumina liegen in dem Langen See, der Krumme Lake und dem Großen Müggelsee vor. Vergleichsweise niedrige Biovolumina treten dagegen in den Gewässern f bis j auf. Bei einem Gewässervergleich anhand absoluter Biovolumina würden die dominanten Taxa der zuletzt genannten Gewässer geringer gewichtet werden als solche aus Gewässern mit extremer Biomasseentwicklung. Um eine Gleichrangigkeit der Taxa über das gesamte Gewässerspektrum zu wahren, basieren die Datensätze der statistischen Analysen durchweg auf relativen Phytoplanktonangaben.

[Gekerbte Box-Whisker-Darstellung. Datenbasis: monatlich bzw. 14-tägige Phytoplanktonproben je Gewässer. Untersuchungszeitraum 1990-93. Sortierung der Gewässer-Stichproben nach abnehmenden Mittelwerten. Gewässernamen siehe Anfang Kapitel 2. Allgemeine Erläuterung zur Grafik siehe Abb. 17.]

3. Ergebnisse

3. 1. Limnologische Charakteristik der 11 Gewässer

Das Kapitel zur limnologischen Charakteristik gliedert sich in drei Abschnitte.

Im ersten Abschnitt wird die Auswahl der limnologischen Parameter zur Beschreibung der hydrochemischen, hydrologischen und morphometrischen Besonderheiten der 11 Gewässer vorgestellt (Kapitel 3. 1. 1.).

Schwerpunkt der limnologischen Beschreibung im zweiten Abschnitt ist es, die 11 Gewässer in **wenige**, limnologisch ähnliche Gruppen zu fassen (Kapitel 3. 1. 2.). Damit soll es gelingen, den Datensatz zu strukturieren und so die Vielfalt der 11 untersuchten Gewässer übersichtlicher zu gestalten. Im nachfolgenden Kapitel zur Struktur und Dynamik des Phytoplanktons wird dann der Frage nachgegangen, inwieweit limnologisch ähnliche Gewässer auch eine ähnliche Phytoplanktonstruktur aufweisen bzw. limnologisch unähnliche Gewässer auch durch verschiedenartige Phytoplankton-Zusammensetzungen gekennzeichnet sind (Kapitel 3. 2.).

Im dritten Abschnitt der limnologischen Beschreibung werden die jahreszeitlichen Schwankungen von Nährelementkonzentrationen bzw. von relativen Nährelementverhältnissen dargestellt (Kapitel 3. 1. 3.). Die saisonalen Unterschiede sind im Zusammenhang mit der jahreszeitspezifischen Phytoplankton-Zusammensetzung sowie der Jahresdynamik von Algengruppen und -arten, insbesondere der dominanten Cyanophyceen- und Bacillariophyceen-Arten von wesentlicher Bedeutung (Kapitel 3. 2.).

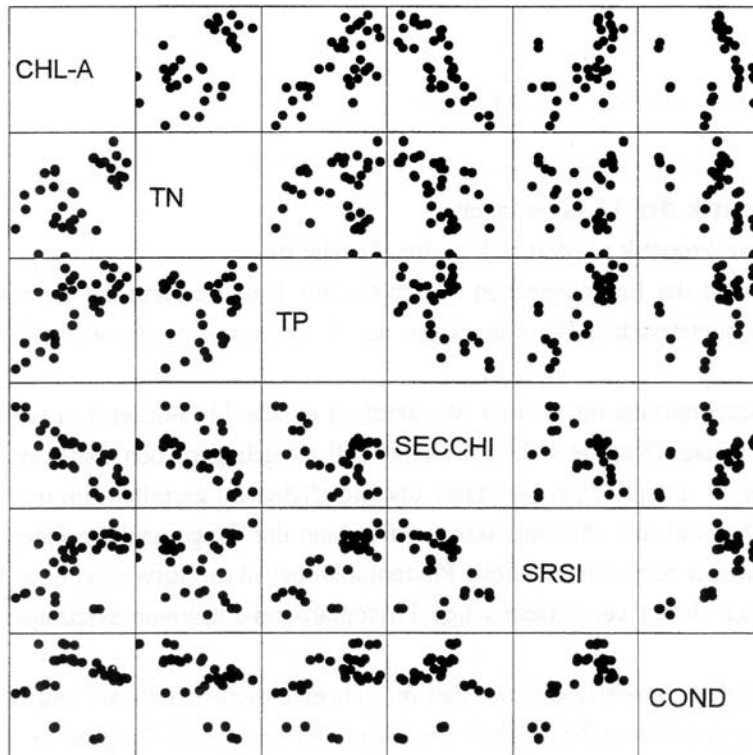
3. 1. 1. Auswahl der limnologischen Parameter

Für die limnologische Beschreibung des recht breiten Gewässerspektrums sind sowohl hydrochemische und hydrologische als auch morphometrische Parameter relevant.

Im Matrix-Scatterplot (Abb. 9) werden die Korrelationen zwischen einigen limnologischen Parametern veranschaulicht. Dazu werden die Parameter jeweils paarweise kombiniert nacheinander dargestellt (siehe auch Korrelationsmatrix in Abb. 9). Für das untersuchte Gewässerspektrum ergibt sich erwartungsgemäß ein recht klarer Zusammenhang zwischen Wassertrübung und Biomasseentwicklung. So werden geringe Sichttiefen vor allem an den Probenahmestandorten mit hohem Chlorophyll-a-Gehalt und hohen Gesamt-Stickstoff- und Gesamt-Phosphor-Konzentrationen gemessen.

Derartige Korrelationen zwischen den Umweltparametern sind häufig systemimmanent und demzufolge auch bei anderen vergleichbaren Gewässerspektren erkennbar. Daher sind im Rahmen dieser Untersuchungen weniger die Korrelationen zwischen den Umweltparametern von Interesse als vielmehr die limnologische Gewässereinschätzung anhand dieser Umweltparameter.

Abgestimmt auf das hier untersuchte Gewässerspektrum wird eine derartige Kombination limnologischer Parameter ausgewählt, die auf übersichtliche Weise eine Differenzierung in spezifische Gewässergruppen gewährleistet. Morphometrische, physikalische und chemische Größen fließen in die nachstehenden 7 Variablen ein: das Verhältnis von der Durchmischungstiefe zu der maximalen Gewässertiefe ($Z_{\text{mix}}/Z_{\text{max}}$) bzw. zu der euphotischen Zone ($Z_{\text{mix}}/Z_{\text{eu}}$); der Chlorophyll-a-Gehalt (Chl a); die molaren Konzentrationen des Gesamt-Stickstoffs (TN) und des Gesamt-Phosphors (TP) sowie das Verhältnis beider Konzentrationen (TN/TP) und die Leitfähigkeit. Diese Variablen sind Basis der Hauptkomponentenanalyse (PCA) der Abb. 10. Ausgewählte Originaldaten der Gewässer-Mittelwerte sind in Tabelle II zusammengestellt.



Correlation Matrix:

	CHL-A	TN	TP	SECCHI	SRSI	COND
CHL-A	1,00000					
TN	,55038	1,00000				
TP	,69977	-,00467	1,00000			
SECCHI	-,78745	-,54171	-,49254	1,00000		
SRSI	,56443	-,03441	,80481	-,28762	1,00000	
COND	-,00090	-,57012	,49474	,18770	,71084	1,00000

Abb. 9: Beziehungen zwischen limnologischen Parametern.

[Paarweise Kombination der Parameter im Matrix-Scatterplot. Datenbasis: Gewässer-Jahresmittelwerte über den gesamten Untersuchungszeitraum (n=34), Parameter von oben nach unten: Chlorophyll-a [$\mu\text{g l}^{-1}$], Gesamt-Stickstoff [$\mu\text{mol l}^{-1}$], Gesamt-Phosphor [$\mu\text{mol l}^{-1}$], Sichttiefe [m], gelöstes reaktives Silizium [$\mu\text{mol l}^{-1}$], Leitfähigkeit [mS m^{-1}].]

Ein wesentlicher Schwerpunkt der Phytoplanktonanalyse umfaßt die Struktur und Dynamik der dominanten Arten der Cyanophyceen und Bacillariophyceen. Neben den allgemein für alle Algenklassen relevanten Makro-Nährelement-Konzentrationen, d. h. neben denen von Phosphor und Stickstoff, werden speziell für die Bacillariophyceen auch die Silizium-Konzentrationen berücksichtigt (siehe Abb. 14-16).

Die gelösten Fraktionen des Phosphors, Stickstoffs bzw. Siliziums stellen die den Algen eigentlich verfügbaren Nährstoffkomponenten dar. In diesem Datensatz liegen für die gelösten Fraktionen, insbesondere den gelösten Phosphor, unterschiedliche Analysemethoden zugrunde (siehe Kapitel 2. 2.). Um jedoch eine Vergleichbarkeit der Daten über den gesamten Untersuchungszeitraum zu gewährleisten, wird bei der Darstellung der saisonalen Unterschiede bzw. der Jahresdynamik von Phosphor und Stickstoff auf die Gesamt-Phosphor- bzw. Gesamt-Stickstoff-Konzentrationen ausgewichen. Dieser Kompromiß ist insofern vertretbar, da insbesondere für den Phosphor, aber auch für den Stickstoff, kurzgeschlossene Kreisläufe zwischen partikulär gebundenen und gelösten Fraktionen vorliegen. Im Jahresverlauf folgt der Konzentrationswechsel der gelösten Stickstoff- bzw. Phosphorkomponenten im wesentlichen der Dynamik der Gesamt-Stickstoff- (TN) bzw. der Gesamt-Phosphor-

Konzentration (TP) (siehe untersuchte Gewässer des BMFT-Projektes in KOHL et al. 1994). Darüber hinaus ist auch ein Teil des bereits partikulär gebundenen Phosphors und Stickstoffs dem Algenwachstum noch verfügbar (siehe zeitliche Entkopplung zwischen der Ressourcenaufnahme und dem Ressourcenverbrauch durch Wachstum im „Zellquoten“-Modell von DROOP 1983). So dient gerade bei den „storage adapted“-Arten ein intrazellulärer Speicher-Pool von N und P als Nährelement-Reserve für ein Wachstum unter N- und P-Limitationsbedingungen (SOMMER 1985). Im Gegensatz zu Phosphor und Stickstoff liegt für Silizium kein „kurzgeschlossener Kreislauf“ im Epilimnion vor. So ist die Hälfte des partikulär gebundenen Siliziums toter Kieselalgen frühestens nach 50 Tagen als Nährelement, d. h. in gelöster Form (SRSi), wieder verfügbar (LAMPERT & SOMMER 1993). Darüber hinaus kann Silizium auch nicht in Form eines intrazellulären Nährelement-Reservepools gespeichert werden. Somit werden in die Darstellungen zu den schwankenden Nährelementkonzentrationen der 11 Gewässer Berlin-Brandenburgs sowohl Gesamt-Konzentrationen (TN, TP) als auch eine gelöste Fraktion (SRSi) einbezogen (Kapitel 3. 1. 3. und 3. 2. 2.).

Ungeachtet dessen, der Vollständigkeit halber, wird auf der Basis von Gewässer-Mittelwerten das Konzentrationsverhältnis zwischen dem Gesamt-Stickstoff bzw. Gesamt-Phosphor und den jeweilig gelösten Komponenten dieser Nährelemente für die 11 Gewässer dargestellt (siehe Abb. 12 A-B).

Tab. II: Morphometrische, physikalische, chemische und biologische Parameter zu den 8 untersuchten Seen. (Gewässer-Mittelwert der Epilimnionproben. Seen von links nach rechts: Langer See, Großer Müggelsee, Flakensee, Kiessee, Parsteiner See, Rosinsee, Krumme Lake, Großer Plagesee; Seen ohne Zuflüsse. max. Gewässertiefe=maximale Gewässertiefe, TN=Gesamt-Stickstoff, TP=Gesamt-Phosphor, SRSi=gelöstes reaktives Silizium. Morphometrische Angaben von ANWAND 1973.)

Gewässer	LANS	MUES	FLAS	KIES	PARS	ROSS	KRUL	GPLA
max. Gewässertiefe [m]	7	7,5	8,5	4,5	27	9	4,8	5
Gewässerfläche [km ²]	1,53	7,7	0,73	0,2	11,0	0,2	0,15	0,78
Sichttiefe [m]	0,9	1,6	2,1	1,4	4,4	3	0,8	1,8
Leitfähigkeit [mS m ⁻¹] 20°C	59	65	87	88	47	53	18	23
TN [μmol l ⁻¹]	107	89	46	62	56	84	105	84
TP [μmol l ⁻¹]	7,05	6,29	5,29	1,5	0,54	0,78	2,36	0,7
SRSi [μmol l ⁻¹]	122	102	76	29	6,7	11	3,4	3,6
Phytoplankton-Biovolumen [mm ³ l ⁻¹]	13,47	11,26	3,25	1,88	0,53	1,13	9,18	0,98

3. 1. 2. Gruppenbildung limnologisch ähnlicher Gewässer

Die Abb. 10 zeigt die Gruppierung der 11 Gewässer bezugnehmend auf morphometrische, chemische und physikalische Variablen. In dieser Gruppenbildung widerspiegeln sich die Wesenszüge der limnologischen Charakteristik für die 11 Gewässer.

Die Bezeichnung der Gruppen ist im Prinzip beliebig. Um die weitere Erörterung zu erleichtern, wurden jedoch solche Bezeichnungen gewählt, die auf einzelne limnologische Besonderheiten der vier Gewässergruppen hinweisen. Damit folgt die Bezeichnung der Gewässergruppen keiner einheitlichen hydrochemischen, hydrologischen und morphometrischen Klassifikation.

Der Lange See (1) und der Große Müggelsee (2) sind Flußseen mit hohen Chlorophyll-a-Konzentrationen und geringen Gewässertiefen. Diese Gewässer haben meist vollständig durchmischte Wasserkörper mit geringen Sichttiefen (hohes $z_{\text{mix}}/z_{\text{eu}}$ -Verhältnis). Gleiches gilt auch für den Müggelsee-Zufluß. Diese drei Gewässerstandorte werden im weiteren „**polymiktische Flußseen**“ genannt.

Sowohl der Flakensee (4) und seine beiden Zuflüsse (5, 6) als auch der Kiessee (7) weisen höhere Leitfähigkeiten auf und sollen hier als „**mineralreiche Gewässer**“ bezeichnet werden (siehe auch Originaldaten in Tabelle II). Die höchste Leitfähigkeit (121 mS/m) wurde im Flakensee-Zufluß Woltersdorfer Schleuse (5) gemessen.

Der Parsteiner See (8) und der Rosinsee (9) sind tiefe, dimiktische, mesotrophe Seen und sind aufgrund der geringen TP-Konzentrationen durch relativ hohe TN/TP-Verhältnisse gekennzeichnet (siehe auch Tabelle II und Abb. 11 A-B, Abb. 10 verweist auf die streng negative Korrelation zwischen TP und TN/TP). Sie erhalten die Bezeichnung „**dimiktische, mesotrophe Seen**“.

Die Krumme Lake (11) und der Große Plagesee (10) weisen die niedrigsten Leitfähigkeiten und relativ hohe TN/TP-Verhältnisse auf. Es sind **dystrophe Seen**. Sie werden folgend auch derart bezeichnet.

Die Krumme Lake liegt in einem **Verlandungsmoor** der Spreeniederung mit sandigen Böden. Die Eutrophierung dieses einst oligotrophen Moorsees wurde in den letzten Jahren durch eine erhebliche Grundwasserabsenkung im Zuge der Trinkwassergewinnung der Berliner Stadtwerke (Sackung der Sauerarm- und Zwischenmoore und eine dadurch bedingte Mineralisation der obersten Torfschichten) sowie durch Nährstoffeintrag forciert (FISCHER et al. 1982).

Der Große Plagesee dagegen liegt in einem wenig besiedelten Biosphärenreservat (Lageskizze Abb. 1). Er befindet sich in einem vielfältig strukturierten Verlandungsmoor mit kleinflächig wechselnden Anteilen von sandigem und lehmigem Material. Angrenzende kalkreich-mesotrophe Hoch- und Zwischenmoore stehen im engen Kontakt zum Großen Plagesee. Der hohe Anteil vermoorter Flächen im Grundwasserbereich sowie stabile Wasserstände bewirkten in den letzten Jahren weitestgehend eine Beständigkeit auf einem - im Vergleich zur Krummen Lake - nährstoffärmeren Niveau (FISCHER et al. 1982).

Damit tragen zwar beide Seen dystrophen Charakter, unterscheiden sich jedoch erheblich hinsichtlich der trophischen Verhältnisse.

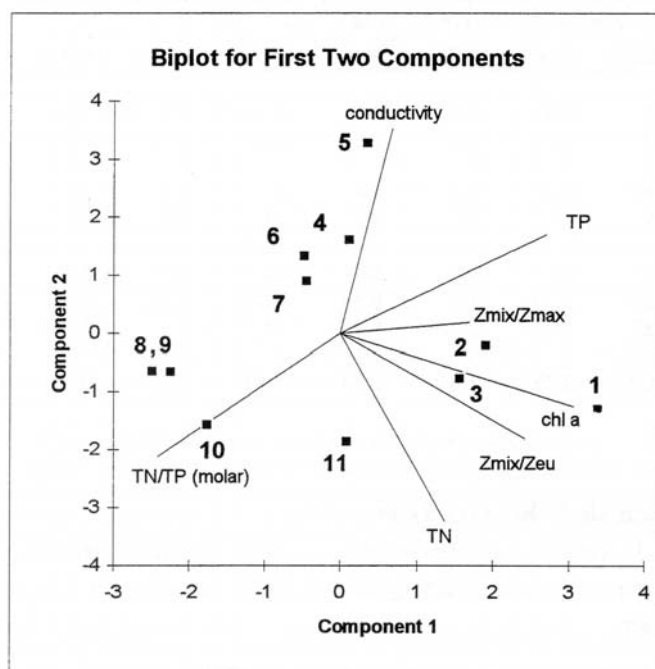


Abb. 10: Hauptkomponentendarstellung zu den morphometrischen, chemischen und physikalischen Parametern (Vektoren) in den 11 Gewässern. Jeder Punkt (Quadrat) repräsentiert dabei ein Gewässer.

[Biplot-Darstellung, Datenbasis: Gewässer-Mittelwerte, Varianz für die 1. und 2. Hauptkomponente: 46%+36%. Abkürzungen: 1-Langer See, 2-Großer Müggelsee, 3-Müggelsee-Zufluß, 4-Flakensee, 5-Flakensee-Zufluß Woltersd. Schleuse, 6-Flakensee-Zufluß Lößnitz, 7-Kiessee, 8-Parsteiner See, 9-Rosinsee, 10-Großer Plagesee, 11-Krumme Lake; Z_{eu} -euphotische Zone, Z_{max} -maximale Gewässertiefe, Z_{mix} -Durchmischungstiefe, Chl a-Chlorophyll-a, TP-Gesamt-Phosphor, TN-Gesamt-Stickstoff, conductivity-Leitfähigkeit.]

Abb. 11 A-B ordnet die untersuchten Gewässer in das analytisch-empirische Schema von FORSBERG & RYDING (1980) ein und widerspiegelt, in Ergänzung zu Abb. 10, detaillierter die trophischen Verhältnisse.

Für die untersuchten nährstoffreichen Gewässer (LANS, MUES, MUEZ, FLAS, FLZL, FLZW; Abb. 11 A) zeigen sich die charakteristisch niedrigen TN/TP-Verhältnisse (Abb. 11 B). Auffällig ist dabei, daß sich die Flakensee-Gruppe (FLAS, FLZL, FLZW) hinsichtlich der TP-Konzentrationen und der TN/TP-Verhältnisse gut in die Gruppe der hocheutrophen, polymiktischen Flußseen (LANS, MUES, MUEZ) einordnen läßt. Ungeachtet dessen treten jedoch in der Flakensee-Gruppe unerwartet niedrige Chlorophyll-a-Konzentrationen auf (siehe auch KOHL et al. 1994). Neben dieser vergleichsweise geringen Biomasseentwicklung unterscheidet sich die Flakensee-Gruppe von den übrigen oben ge-

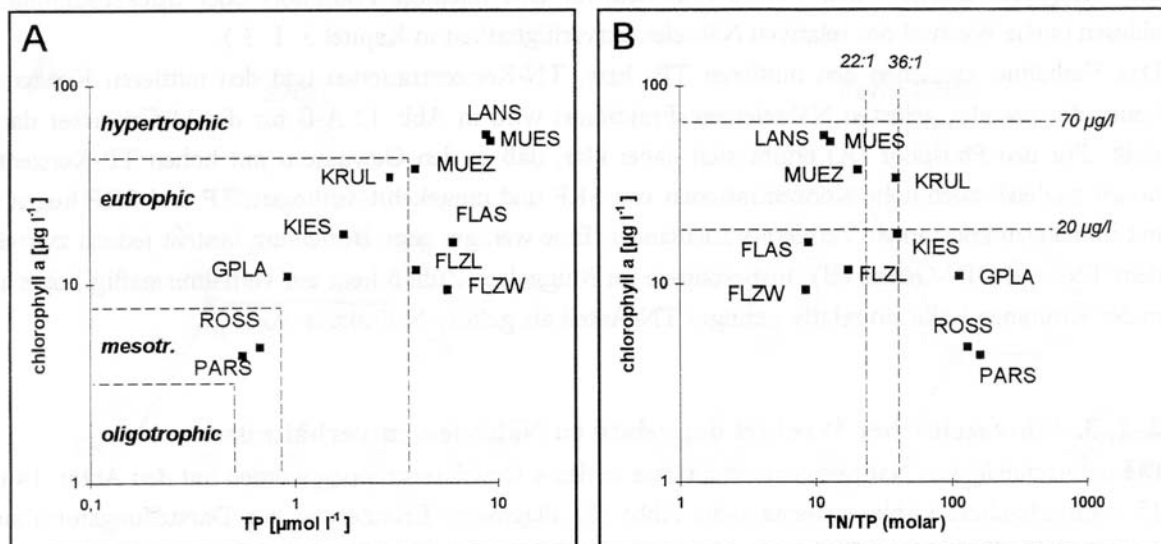


Abb. 11 A-B: Beziehung zwischen dem Chlorophyll-a-Gehalt und der Gesamtphosphor-Konzentration (TP) (A) bzw. dem Gesamtstickstoff/Gesamtphosphor-Verhältnis (TN/TP) (B) während der Sommerperioden in den 11 Gewässern. Trophieabstufung und Darstellung nach FORSBERG & RYDING 1980.

[Datenbasis: Mittelwert der Sommermittelwerte (Juni-September), Untersuchungszeitraum 1990-93.

Gewässerabkürzung: **LANS**-Langer See, **FLAS**-Flakensee, **FLZL**-Flakensee-Zufluß Löcknitz, **FLZW**-Flakensee-Zufluß Woltersdorfer Schleuse, **MUES**-Großer Müggelsee, **MUEZ**-Müggelsee-Zufluß; 1990-92: **KIES**-Kiessee, **PARS**-Parsteiner See, **ROSS**-Rosinsee; 1990-91: **GPLA**-Großer Plagesee, **KRUL**-Krumme Lake.]

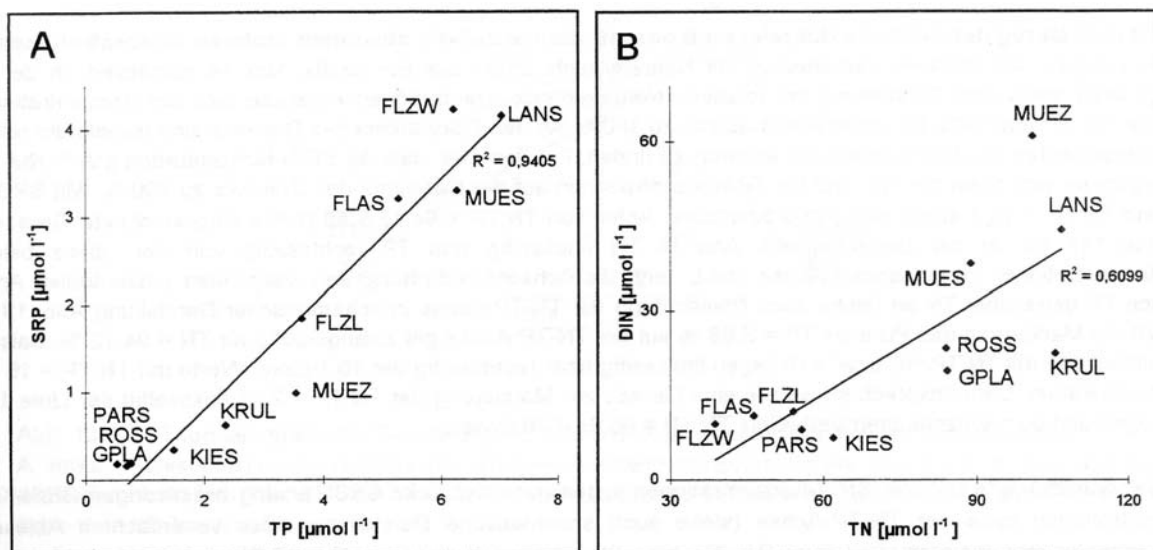


Abb. 12 A-B: Beziehung zwischen dem TP- und TN-Gehalt und den jeweils gelösten Komponenten.

[Datenbasis: Gewässer-Mittelwerte. Linie = lineare Regressionskurve, R^2 =Bestimmtheitsmaß; SRP-gelöster reaktiver Phosphor, TP-Gesamtphosphor, DIN-gelöster anorganischer Stickstoff; TN-Gesamtstickstoff; Gewässerabkürzung siehe Abb. 11 A-B.]

nannten hypertrophen Gewässern auch aufgrund eines abweichenden Artenspektrums (Tabelle III S. 68-71) sowie einer veränderten Algengruppen-Dominanzstruktur des Phytoplanktons (Kapitel 3. 2. 1.).

Die sommerlich niedrigen Chlorophyll-a-Konzentrationen bei zugleich hohen TN/TP-Verhältnissen verweisen darauf, daß der Phosphor als limitierender Faktor bei der Phytoplanktonentwicklung im Kiessee, Großen Plagesee, Rosinsee und Parsteiner See eine wesentliche Rolle spielt (Abb. 11 B). Dagegen läßt sich für die nährstoffreichen Gewässer - insbesondere für den Langer See, den Großen Müggelsee und

den Müggelsee-Zufluß - keine klare Präferenz für eine alleinige Phosphor- oder Stickstofflimitation ablesen (siehe Wechsel der relativen Nährelementverfügbarkeit in Kapitel 3. 1. 3.).

Das Verhältnis zwischen den mittleren TP- bzw. TN-Konzentrationen und den mittleren Konzentrationen der jeweilig gelösten Nährelement-Fractionen wird in Abb. 12 A-B für die 11 Gewässer dargestellt. Für den Phosphor (A) ergibt sich dabei klar, daß in den Gewässern mit hohen TP-Konzentrationen zugleich auch hohe Konzentrationen von SRP und umgekehrt vorliegen. TP und SRP liegen damit im nahezu konstanten Verhältnis zueinander. Eine weniger enge Beziehung besteht jedoch zwischen dem TN- und DIN-Gehalt (B). Insbesondere im Müggelsee-Zufluß liegt ein verhältnismäßig hoher und in der Krummen Lake ein relativ geringer TN-Anteil als gelöste N-Fraktion vor.

3. 1. 3. Jahreszeitlicher Wechsel der relativen Nährelementverhältnisse

Die unterschiedlichen Nährelementverhältnisse in den 4 Gewässergruppen werden mit den Abbn. 14 und 15 veranschaulicht (Ableseschema siehe Abb. 13, allgemeine Erläuterung zur Darstellungsform siehe auch PAUFLER 1981 zu Gibbssches Dreieck). Die trigonale Darstellungsweise erlaubt es, die relativen Konzentrationen von drei wesentlichen Nährelementen - dem Gesamtstickstoff (TN), dem Gesamt-Phosphor (TP) und dem gelösten reaktiven Silizium (SRSi) - in einer Grafik gleichzeitig darzustellen. Darüber hinaus lassen sich unterschiedliche Proportionen zwischen den einzelnen Nährelementen ablesen.

In der Abb. 14 beziehen sich die relativen Nährelementkonzentrationen auf die molaren Konzentrationen [$\mu\text{mol l}^{-1}$] von Saison-Mittelwerten. Zur grafischen Orientierung markiert die fett gezeichnete Gerade nahe der linken Dreieckseite das Verhältnis **TN:TP = 16:1**.

Mit dem **Bezug der relativen Nährelementkonzentrationen auf die absoluten molaren Konzentrationen** ist es möglich, die molaren Verhältnisse der Nährelemente direkt aus der Grafik Abb. 14 abzulesen. In der trigonalen grafischen Darstellung der relativen Nährelementkonzentrationen ergänzen sich die Konzentrationen von TN, TP und SRSi für jeden Punkt additiv zu 100%. An den Eckpunkten des Dreiecks sind jeweils die reinen Komponenten bei Abwesenheit der anderen zu finden. Für den Fall, daß die SRSi-Konzentration gleich Null ist, ergänzen sich allein die TN- und die TP-Konzentrationen auf der Basislinie des Dreiecks zu 100 %. Mit $\text{SRSi}=0$ und $\text{TN:TP} = 16:1$ ergibt sich ein prozentualer Anteil von $\text{TN:TP} = 94,12:5,88$ (siehe eingezeichnete Gerade in Abb. 14). Da in der Dreiecksgrafik Abb. 14 TN linksseitig und TP rechtsseitig von der, diese beiden Konzentrationen verbindenden Achse steht, zeigt die Achsenbeschriftung den steigenden prozentualen Anteil von TP gegenüber TN an (siehe auch Pfeilrichtung der TN-TP-Achse in schematischer Darstellung Abb. 13 B). Mit der Markierung des Punktes TP = 5,88 % auf der TN-TP-Achse gilt zwangsläufig für TN = 94,12 %. Saisonmittelwerte mit $\text{TN:TP} > 16$ bzw. < 16 liegen linksseitig bzw. rechtsseitig der 16:1-Linie, Werte mit $\text{TN:TP} = 16$ auf der Geraden. Dementsprechend würde eine Gerade zur Markierung der $\text{TN:TP} = 20:1$ linksseitig der Linie 16:1 liegen und dem prozentualen Verhältnis $\text{TN:TP} = 95,24:4,76$ folgen.

Saisonmittelwerte höherer SRSi-Konzentrationen liegen nahe der Ecke SRSi, analog bei niedrigen SRSi-Konzentrationen nahe der TN-TP-Achse (siehe auch schematische Darstellung eines vereinfachten Ablesens minimaler bzw. maximaler relativer TN-, TP- bzw. SRSi-Konzentrationen in Abb. 13 B).

Da die Beträge sowohl der SRSi- als auch TN-Konzentrationen sehr hoch gegenüber den TP-Konzentrationen sind, liegen die Punkte der einzelnen Saison-Mittelwerte ausschließlich nahe der linken Dreieckseite. Zugunsten einer übersichtlicheren Darstellung in der Abb. 14 wurde darauf verzichtet, innerhalb einer jeden Gewässergruppe den Saisonwerten entsprechend der jahreszeitlichen Zugehörigkeit verschiedene Symbole zuzuordnen (siehe dagegen Abbn. 15-16).

In Abb. 14 zeigen sich sowohl für die „dystrophen“ als auch die „dimiktischen, mesotrophen“ Seen wiederum hohe TN/TP-Verhältnisse ($\text{TN/TP} > 16$) und zwar durchweg für alle Saisonwerte.

Innerhalb der „mineralreichen Gewässer“ ergeben sich unterschiedliche TN/TP-Verhältnisse zwischen der Flakenseegruppe (FLAS, FLZL, FLZW) und dem Kiese (KIES). Die Saisonmittelwerte des Flakensees und seiner beiden Zuflüsse (2a) weisen im Vergleich zum Kiese (2b) - aber auch gegenüber allen anderen untersuchten Gewässern - meist verhältnismäßig hohe TP-Konzentrationen bei geringeren

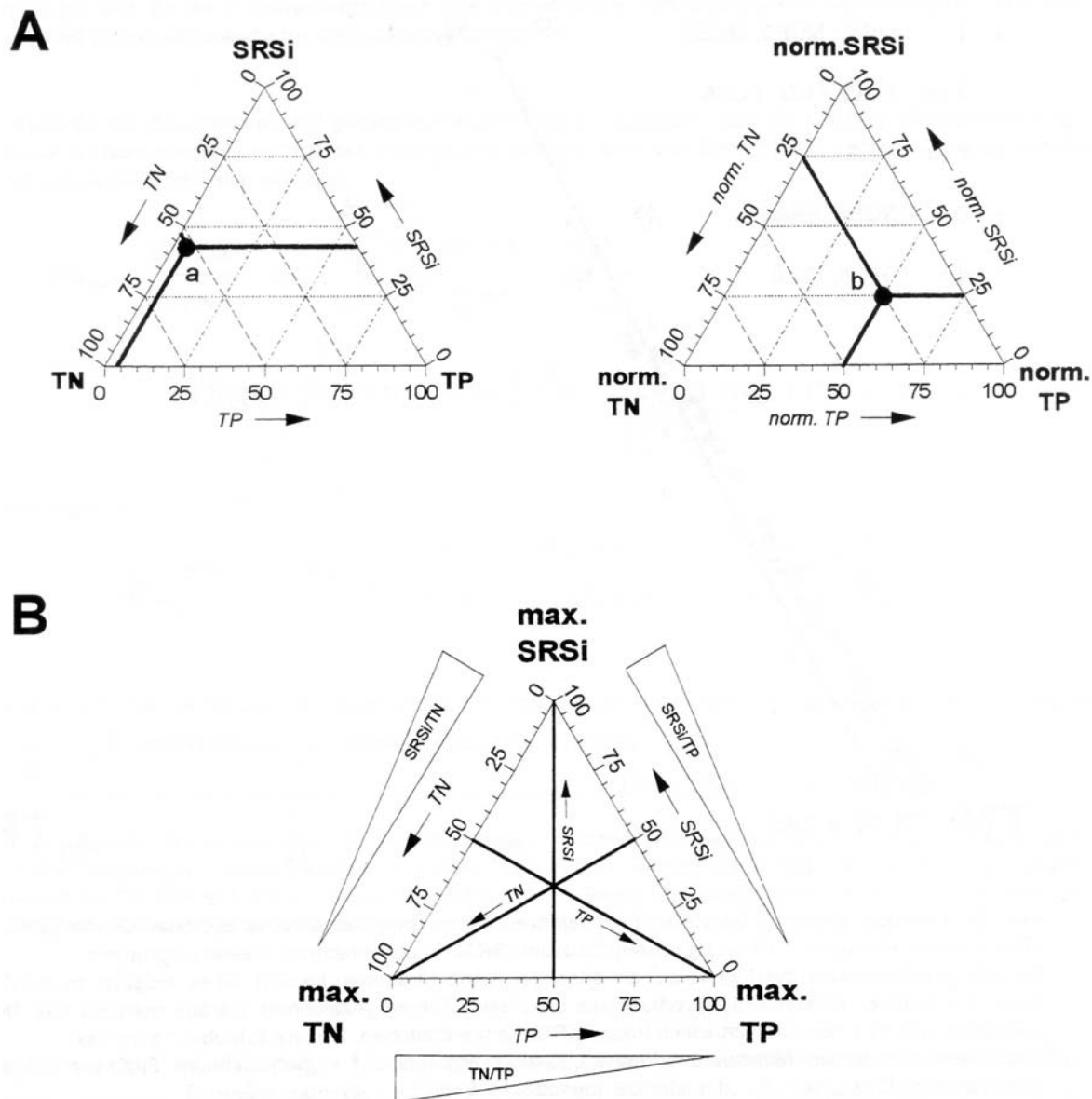


Abb. 13 A-B: Trigonale grafische Darstellung der relativen Nährelementverhältnisse. Ableseschema.

A: links - Ablesebeispiel für **relative** Nährelement-Konzentrationsverhältnisse. Der Punkt a zeigt das Konzentrationsverhältnis TN : TP : SRSi = 52,18 : 4,99 : 42,83 an. Die Summe dieser drei relativen Konzentrations-Verhältnisse ist 100.

rechts - Ablesebeispiel für **relative normierte** Konzentrationsverhältnisse. Der Punkt b zeigt die normierten Konzentrationsverhältnisse $TN_{norm} : TP_{norm} : SRSi_{norm} = 25 : 50 : 25$ an. Die Summe dieser drei relativen normierten Konzentrations-Verhältnisse beträgt 100. Aus den relativen normierten Konzentrationsverhältnissen lassen sich die relativen Nährelement-Konzentrationsverhältnisse berechnen. Mit $TN_{norm}=25$ und

$$\sum_{i=1}^n TN_i = 10255,22 \quad (n = \text{Anzahl der Saison-Mittelwerte} = 129) \quad \text{berechnet sich aus } TN_{norm} = \frac{TN}{\sum_{i=1}^n TN_i} \quad \text{ein TN-Konzentrationsanteil von } 256380,5.$$

Analog ergibt sich mit $\sum_{i=1}^n TP_i = 490,14$ und $\sum_{i=1}^n SRSi_i = 8416,07$ für $TP = 24507,0$ und $SRSi = 210401,75$. Aus $TN + TP + SRSi = 256380,5 + 24507,0 + 210401,75 = 491289,25$ ergibt sich ein prozentualer Anteil von TN : TP : SRSi = 52,18 : 4,99 : 42,83. Damit entspricht das relative normierte Konzentrationsverhältnis des Punktes b in der Darstellung rechts dem relativen Konzentrationsverhältnis des Punktes a in der Darstellung links.

B: Die drei eingezeichneten Winkelhalbierenden (fett gezeichnete Linien) markieren den Konzentrationsverlauf der an der Ecke stehenden Komponente bei konstantem Verhältnis (1:1) der anderen beiden Komponenten. Nähere Erläuterung im Text. Zeichnerische Umsetzung siehe Software Grapher For Windows.

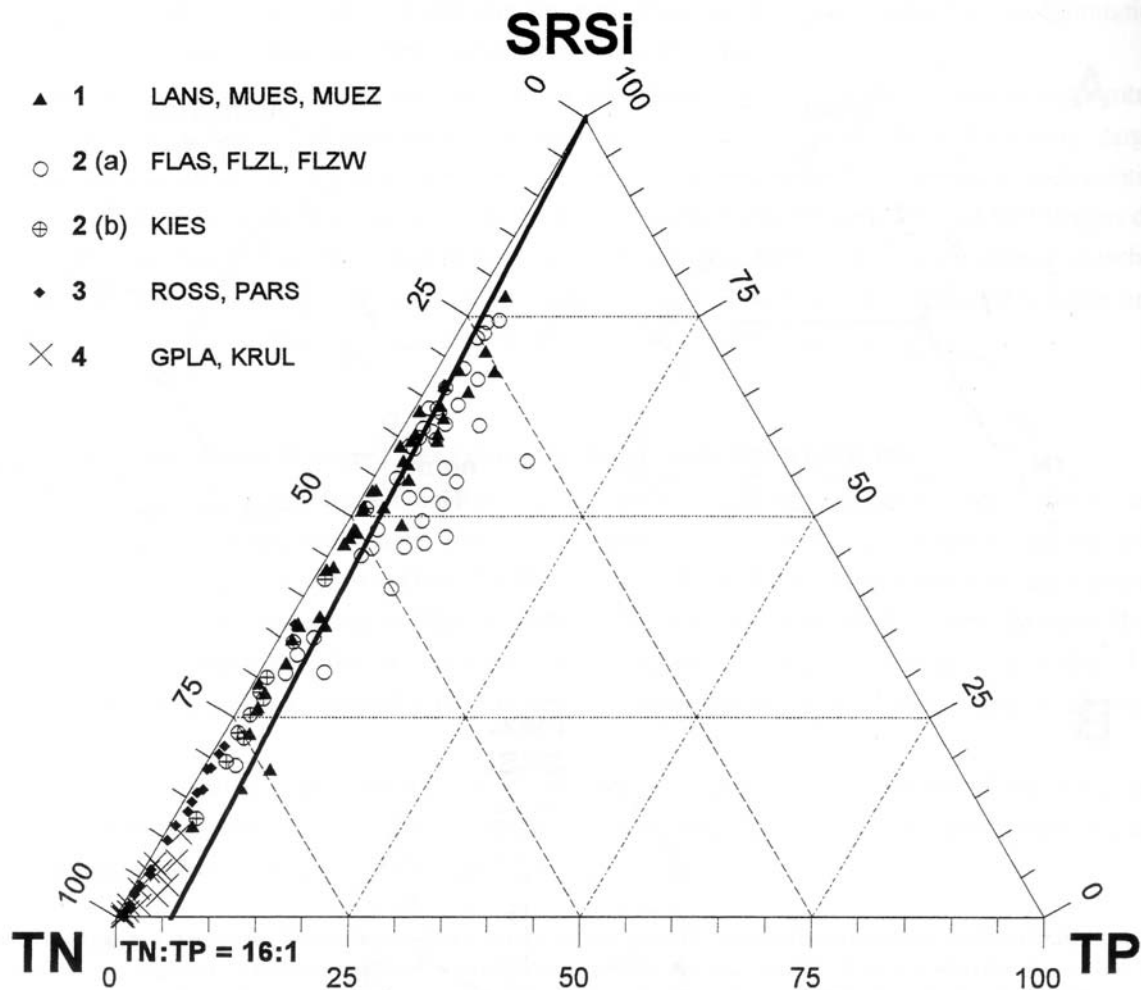


Abb. 14: Trigonale grafische Darstellung der relativen Nährelementverhältnisse zwischen Gesamt-Stickstoff (TN), Gesamt-Phosphor (TP) und gelöstem Silizium (SRSi) in den einzelnen Gewässergruppen.

Da sich das Nährelementverhältnis auf die absoluten Konzentrationen bezieht, ist es möglich, in der Grafik direkt die relativen Konzentrationsverhältnisse abzulesen. Die eingezeichnete Gerade markiert das TN/TP-Verhältnis von 16:1 bei unterschiedlich hohen SRSi-Konzentrationen. Nähere Erläuterung im Text.

[Datenbasis für: Saison-Mittelwerte [$\mu\text{mol l}^{-1}$], Gewässergruppen: 1 - „polymiktische Flußseen“, 2 (a, b) - „mineralreiche Gewässer“, 3 - „dimiktische, mesotrophe Seen“, 4 - „dystrophe Seen“.]

TN-Konzentrationen auf. Folglich sind die Saison-Mittelwerte meist durch niedrige TN/TP-Verhältnisse ($\text{TN/TP} < 16:1$) gekennzeichnet. Dagegen werden für die Saison-Mittel im Kiessee durchweg höhere TN/TP-Verhältnisse ($\text{TN/TP} > 16:1$) nachgewiesen. Allein bei den „polymiktischen Flußseen“ streuen die Saisonmittelwerte stark um das kritische TN/TP-Verhältnis von 16:1 (vergleiche dazu Abb. 15, 16).

Für die „dystrophen Seen“ sind extrem niedrige SRSi-Konzentrationen und auch sehr niedrige SRSi/TN- und SRSi/TP-Verhältnisse charakteristisch. Hohe SRSi-Konzentrationen wurden dagegen in den „polymiktischen Flußseen“ und „mineralreichen Gewässern“ (insbesondere in dem Flakensee und seinen beiden Zuflüssen) gemessen.

Im Gegensatz zu Abb. 14 werden in der Abb. 15 die saisonalen Unterschiede der relativen **normierten** Nährelemente für die einzelnen Gewässergruppen dargestellt (Teilabbildungen 1-4). Die fett eingezeichnete Gerade markiert wiederum das TN/TP-Verhältnis von 16:1. Den einzelnen Punkten der Saison-Mittelwerte einer jeweiligen Gewässergruppe (1-4) wurden entsprechend der jahreszeitlichen Zugehörigkeit verschiedene Symbole zugeordnet.

Der **Vorteil** der Darstellung der relativen Verhältnisse von normierten Konzentrationen liegt in der günstigen räumlichen Verteilung der Punkte (vergleiche dazu ungünstig dicht gelagerte Verteilung der Punkte in Abb. 14). Somit ergibt sich für die 4 Gewässergruppen eine übersichtliche Darstellungsweise der Frühjahrs-, Sommer-, Herbst- und Winter-Mittelwerte für die qualitative Diskussion.

Der **Nachteil** der Bezugnahme auf genormte Konzentrationen liegt darin, daß die relativen Konzentrationsverhältnisse der Nährelemente nicht direkt in der Grafik ablesbar sind. Der Schnittpunkt der 16:1-Geraden mit der TN-TP-Achse berechnet sich wie folgt:

$$\text{mit } \text{TN}_{\text{norm}} = \frac{100 \text{TN}}{\sum_{i=1}^n \text{TN}_i} \quad \text{und} \quad \text{TP}_{\text{norm}} = \frac{100 \text{TP}}{\sum_{i=1}^n \text{TP}_i} \quad \text{gilt:}$$

$$\text{TN} : \text{TP} = \text{TN}_{\text{norm}} 100 \sum_{i=1}^n \text{TN}_i : \text{TP}_{\text{norm}} 100 \sum_{i=1}^n \text{TP}_i = 16 : 1$$

Daraus ergibt sich:

$$\text{TN}_{\text{norm}} : \text{TP}_{\text{norm}} = \frac{100 * 16 \sum_{i=1}^n \text{TP}_i}{\sum_{i=1}^n \text{TN}_i + 16 \sum_{i=1}^n \text{TP}_i} : \frac{100 * \sum_{i=1}^n \text{TN}_i}{\sum_{i=1}^n \text{TN}_i + 16 \sum_{i=1}^n \text{TP}_i}$$

Über alle 11 Gewässer für den gesamten Untersuchungszeitraum (n=Anzahl der Saison-Mittelwerte=129) ergibt sich mit $\sum_{i=1}^n \text{TN}_i = 10255,22$ und $\sum_{i=1}^n \text{TP}_i = 490,14$ folgendes Verhältnis:

$$\text{TN}_{\text{norm}} : \text{TP}_{\text{norm}} = 43,33 : 56,67 \quad (\text{für TN:TP} = 16:1).$$

Der Schnittpunkt der in der Abb. 15 eingezeichneten Geraden wird auf der TN-TP-Achse mit dem Wert TP = 56,67 abgetragen (siehe Beschreibung oben zu Abb. 14). Analog ergibt sich für den hier vorliegenden Datensatz für TN:TP=20:1 $\text{TN}_{\text{norm}} : \text{TP}_{\text{norm}} = 48,87 : 51,13$. In Bezug auf vereinfachtes Ablesen siehe wiederum schematische Darstellung der Abb. 13.

Die aus der Abb. 14 abgeleiteten Unterschiede der relativen Nährelement-Konzentrationen und -Verhältnisse kommen in der Darstellungsweise der relativen normierten Nährelementkonzentrationen der Abb. 15 wesentlich deutlicher zum Ausdruck. Darüber hinaus sind Unterschiede bezüglich der saisonalen Wechsel der Nährelementkonzentrationen für die einzelnen Gewässergruppen besser ersichtlich.

Bei den „**polymiktischen Flußseen**“ (Abb. 15 -1) zeigt sich für alle 3 dargestellten Nährelemente - TN, TP und SRSi - gleichermaßen eine hohe Dynamik der saisonalen Wechsel. Für die Frühjahrs- und Winter-Mittelwerte herrschen ausnahmslos TN/TN-Verhältnisse größer 16:1 vor, wogegen mit den Sommer- und Herbst-Mittelwerten das TN/TP-Verhältnis von 16:1 meist unterschritten wird. Mit der Kopplung der jahreszeitlich wechselnden TN/TP-Verhältnisse an jahreszeitliche Schwankungen der SRSi-Konzentrationen ergeben sich häufig für den Herbst und Winter relativ hohe SRSi/TN-Verhältnisse ($\text{SRSi}/\text{TN} > 7:1$), wogegen im Frühjahr vergleichsweise niedrige SRSi/TN-Verhältnisse vorliegen ($\text{SRSi}/\text{TN} < 7:1$; die Gerade $\text{SRSi}/\text{TN} = 7:1$ ergibt sich mit $\sum_{i=1}^n \text{SRSi}_i = 8416,07$ und $\sum_{i=1}^n \text{TN}_i = 10255,22$ aus: $\text{norm. SRSi}/\text{norm. TN} = 45:55$). Die SRSi/TN-Verhältnisse der Sommer-Mittelwerte streuen stark. Die höchsten SRSi/TP-Verhältnisse liegen bei den Winter-Mittelwerten vor ($\text{SRSi}/\text{TP} > 40:1$). Extrem niedrige normierte SRSi/TP-Verhältnisse werden bei einzelnen Sommer-Mittelwerten angezeigt (siehe MUES 1993 und LANS 1991 in Abb. 16).

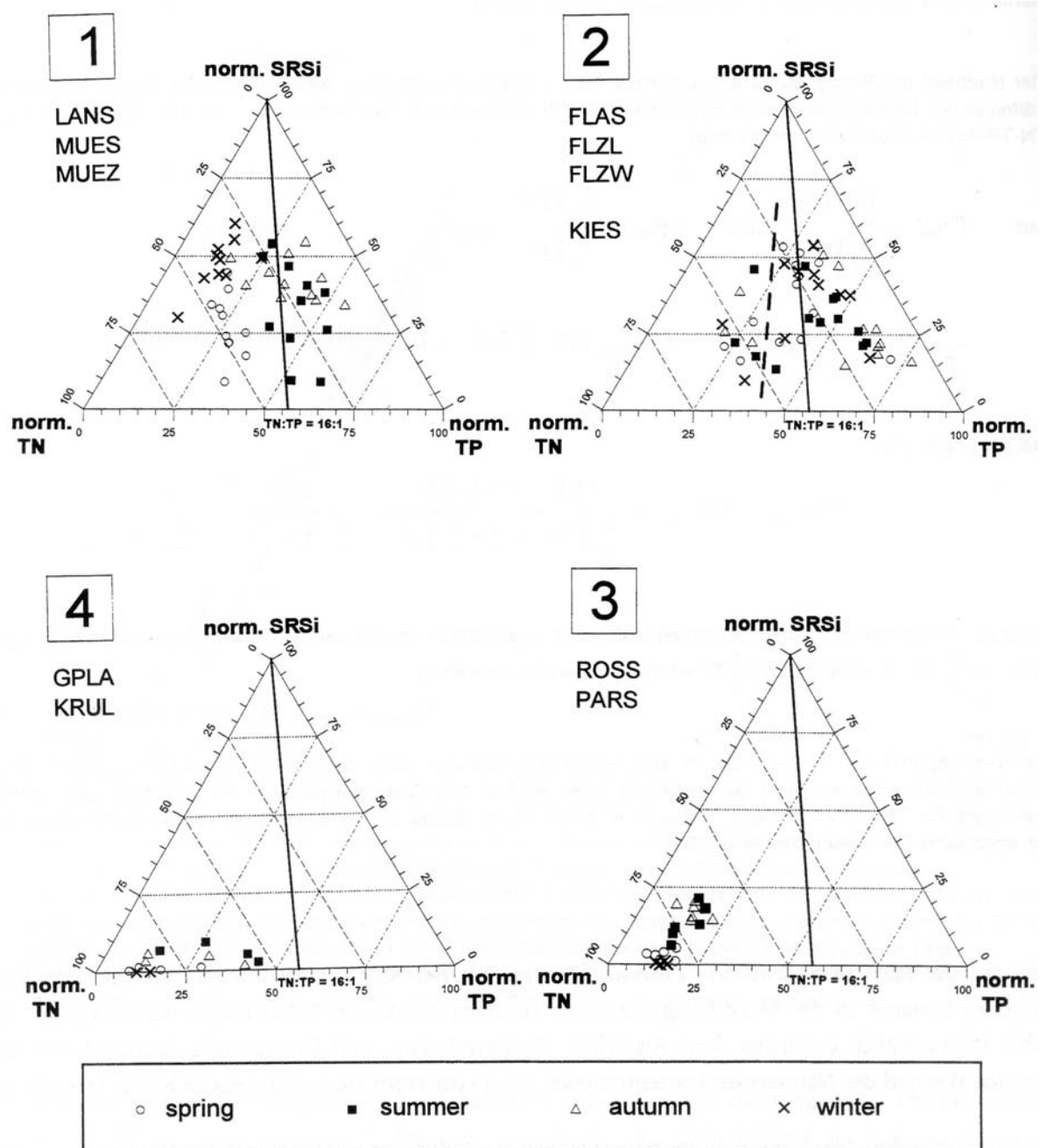


Abb. 15: Trigonale grafische Darstellung der saisonalen Unterschiede der relativen normierten Nährlementverhältnisse (norm. TN, norm. TP, norm. SRSi) der einzelnen Gewässergruppen.

Jeder Punkt repräsentiert einen Frühjahrs-, Sommer-, Herbst- oder Winter-Saisonmittelwert und kennzeichnet das jeweilige Konzentrationsverhältnis zwischen TN, TP und SRSi. Die eingezeichnete Gerade markiert das TN/TP-Verhältnis von 16:1 (vergleiche dazu Abb. 14). Die Berechnung zur Darstellung der relativen normierten Nährlementverhältnisse umfaßt eine Datenreihe über alle 11 Gewässer für den gesamten Untersuchungszeitraum. Zugunsten einer übersichtlichen grafischen Darstellung wurden jedoch die Saison-Mittelwerte der 4 Gewässergruppen in Teilabbildungen (1-4) untergliedert. In der Teilabbildung 2 separiert die gestrichelte Linie die Saison-Mittelwerte der Flakenseegruppe (FLAS, FLZL, FLZW; rechtsseitig) gegenüber denen des Kieselsees (KIES, linksseitig). Nähere Erläuterung in Abbn. 13, 14 und Text.

[Datenbasis: normierte TN-, TP-, SRSi-Konzentration = $C_{\text{norm}} = \frac{100 C}{\sum_{i=1}^n C_i}$; $\sum_{i=1}^n \text{TN}_i = 10255,22$, $\sum_{i=1}^n \text{TP}_i = 490,14$,

$\sum_{i=1}^n \text{SRSi}_i = 8416,07$, $n = \text{Anzahl der Saison-Mittelwerte} = 129$. Gewässergruppen s. Abb. 14.]

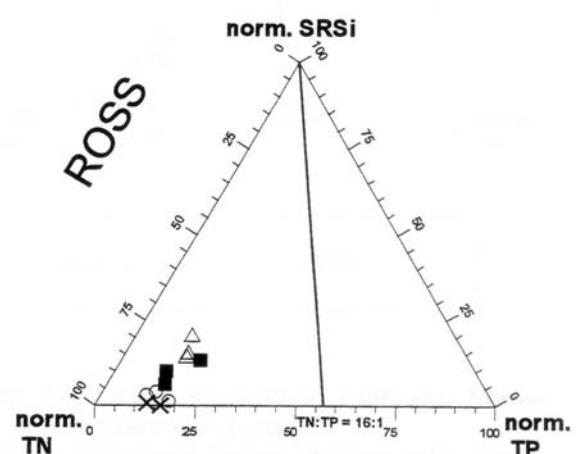
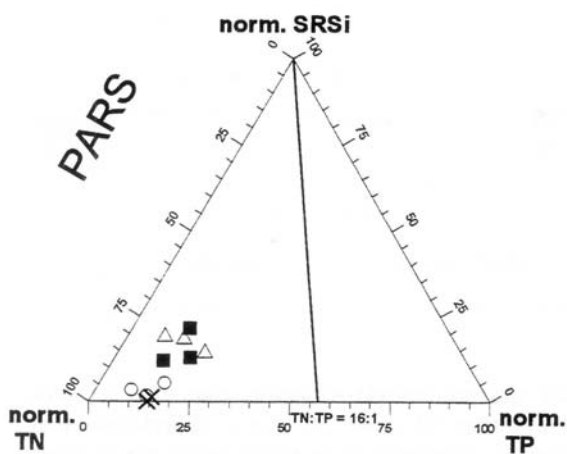
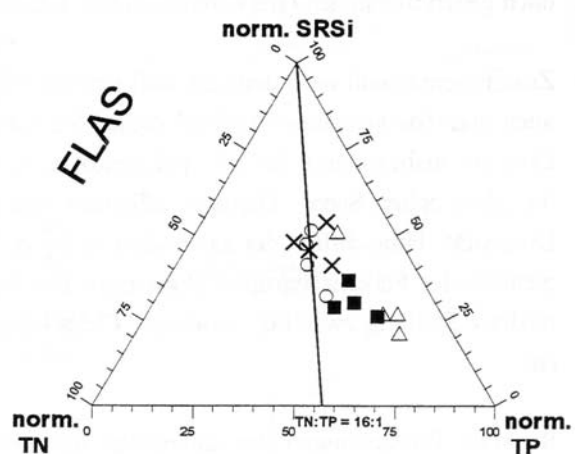
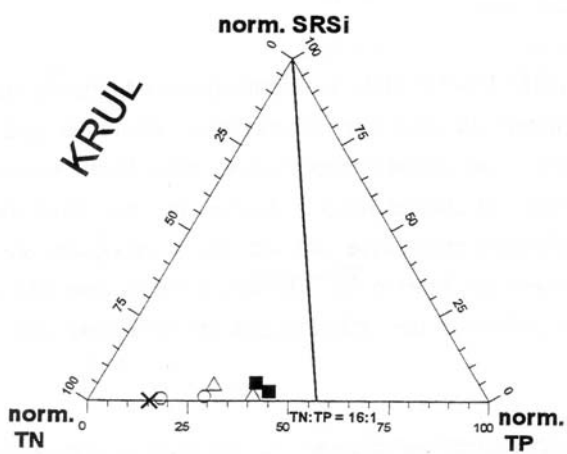
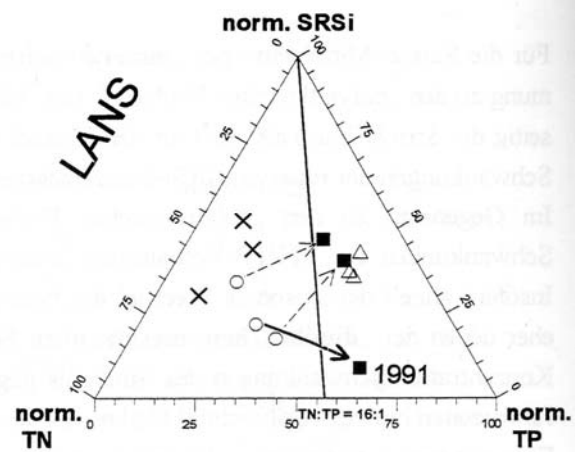
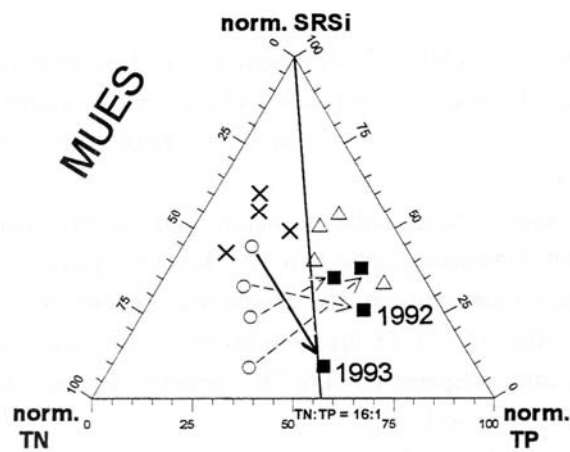
Für die Saison-Mittelwerte der „**mineralreichen Gewässer**“ (Abb. 15 -2) zeigen sich in Übereinstimmung zu den „polymiktischen Flußseen“ sowohl für die Flakenseegruppe (FLAS, FLZL, FLZW, rechtsseitig der Strichellinie) als auch für den Kiessee (KIES, linksseitig der Strichellinie) erhebliche saisonale Schwankungen der relativen SRSi-Konzentrationen.

Im Gegensatz zu den „polymiktischen Flußseen“ sind jedoch verhältnismäßig geringe saisonale Schwankungen der TN/TP-Verhältnisse innerhalb der Flakenseegruppe bzw. im Kiessee erkennbar. Insofern ähnelt der saisonale Wechsel der Nährelementkonzentrationen der „mineralreichen Gewässer“ eher denen der „**dimiktischen, mesotrophen Seen**“ (Abb. 15 -3), da hier wiederum höhere saisonale Konzentrationsschwankungen des Siliziums gegeben sind, wogegen die TN/TP-Verhältnisse über alle Jahreszeiten hinweg relativ stabil bleiben (siehe auch FLAS in Abb. 16).

Eine wiederum andersartige Dynamik zeigt sich in den „**dystrophen Seen**“ (Abb. 15 -4), bei denen verhältnismäßig hohe saisonale TN/TP-Schwankungen nahezu beständig niedrigen SRSi-Konzentrationen gegenüberstehen (siehe insbesondere KRUL in Abb. 16).

Zusammenfassend wird deutlich, daß sowohl vergleichbare TN-TP-SRSi-Konzentrationsverhältnisse als auch ähnliche saisonale Wechsel dieser Verhältnisse innerhalb jeder Gewässergruppe vorhanden sind. Dies gilt insbesondere für die „polymiktischen Flußseen“, die „dimiktischen mesotrophen Seen“ sowie die „dystrophen Seen“. Dagegen offenbart sich innerhalb der „mineralreichen Gewässer“ eine stärkere Diversität. Hinsichtlich der saisonalen relativen Nährelementverhältnisse läßt sich der Kiessee klar gegenüber der Flakenseegruppe abgrenzen. Die Nährelementverhältnisse des Kiesees nehmen eine intermediäre Stellung zwischen denen der Flakenseegruppe und denen der „dimiktischen mesotrophen Seen“ ein.

Separate Darstellungen der saisonalen normierten Nährelementverhältnisse für einzelne ausgewählte Gewässer werden in der Abb. 16 (siehe folgende Seite) gegeben und in den Kapiteln 3. 2. 2. 2.-3. in Beziehung zur Jahresdynamik des Cyanophyteen- und Bacillariophyteen-Planktons diskutiert.



○ spring

■ summer

△ autumn

× winter

Abb. 16: Trigonale grafische Darstellung der saisonalen Unterschiede der relativen normierten Nährelementverhältnisse (norm. TN, norm. TP, norm. SRSi) in dem Großen Müggelsee (MUES), dem Langen See (LANS), der Krumme Lake (KRUL), dem Flakensee (FLAS), dem Parsteiner See (PARS) und dem Rosinsee (ROSS). In diesen Seen liegen im Winter und Frühjahr höhere TN/TP-Verhältnisse als im Sommer und Herbst vor. Für den Großen Müggelsee und Langen See verbinden Pfeile den Frühjahrswert mit dem zeitlich folgenden Sommerwert. Im Großen Müggelsee 1992 und 1993 sowie im Langen See 1991 nehmen vom Frühjahr zum Sommer die mittleren normierten SRSi-Konzentrationen im Verhältnis zu den anderen Jahren stärker ab. Im Sommer-Mittel des Großen Müggelsees 1993 und im Langen See 1991 liegen im Vergleich zu den Sommerwerten der anderen Jahre dieser beiden Gewässer ausgesprochen geringe SRSi-Konzentrationen bei ansonsten vergleichbaren TN:TP-Verhältnissen kleiner 16:1 vor (siehe auch veränderte Phytoplanktonstrukturen dieser beiden Gewässerjahre in Kapitel 3. 2. 2. 2., 3. 2. 2. 3. 2, 3. 2. 2. 4).
[Datenbasis: normierte Saison-Mittelwerte, identisch zu Abb.15. Nähere Erläuterung zur Grafik siehe Abbn. 13-15.]

Überblick

Anhand von 7 limnologischen Parametern lassen sich die 11 untersuchten Gewässer in folgende 4 Gewässergruppen gliedern (siehe PCA Abb. 10):

„polymiktische Flußseen“	(Langer See, Großer Müggelsee, Müggelsee-Zufluß),
„mineralreiche Gewässer“	(Flakensee, Flakensee-Zufluß Löcknitz, Flakensee-Zufluß Wolt. Schleuse, Kiessee),
„dimiktische, mesotrophe Seen“	(Parsteiner See, Rosinsee),
„dystrophe Seen“	(Großer Plagesee, Krumme Lake).

Nach FORSBERG & RYDING (1980) sind die untersuchten Gewässer mesotroph (Rosinsee, Parsteiner See), eutroph (Großer Plagesee, Krumme Lake, Kiessee) bzw. hypertroph (Langer See, Großer Müggelsee, Müggelsee-Zufluß, Flakensee, Flakensee-Zuflüsse). Die sommerlichen, trophischen Verhältnisse verweisen im Parsteiner See, Rosinsee, Großen Plagesee und Kiessee auf Zustände der Phosphor-Limitation. Dagegen läßt sich für die nährstoffreichen Gewässer - insbesondere für den Langen See, den Müggelsee und den Müggelsee-Zufluß - keine klare Präferenz für eine alleinige Phosphor- bzw. Stickstofflimitation ablesen (Abb. 11 A-B).

Die limnologisch ähnlichen Gewässer einer jeweiligen Gruppe zeigen auch ähnliche saisonale Wechsel der relativen Nährelementverhältnisse. In den „polymiktischen Flußseen“ ergeben sich sowohl für TN und TP als auch für SRSi erhebliche relative Konzentrationsschwankungen. Bei der Flakenseeegruppe und dem Kiessee aus der Gruppe der „mineralreichen Gewässer“ sowie den „dimiktischen, mesotrophen Seen“ sind stärkere saisonale Konzentrationsschwankungen von SRSi bei saisonal nur geringfügig schwankenden TN/TP-Verhältnissen auffällig. Dagegen werden in den „dystrophen Seen“, insbesondere in der Krummen Lake, bei nahezu gleichbleibend niedrigen SRSi-Konzentrationen relativ hohe Schwankungen der TN/TP-Verhältnisse offensichtlich (Abbn.14-16).

Damit ergibt sich die Frage, inwieweit die Struktur und die Dynamik des Phytoplanktons die limnologischen Besonderheiten zwischen den Gewässergruppen bzw. zwischen einzelnen Gewässern widerspiegeln (siehe Kapitel 3. 2.).

3. 2. Struktur und Dynamik des Phytoplanktons

3. 2. 1. Qualitative Phytoplanktonanalyse: Artenspektrum

Im Mittelpunkt der qualitativen Phytoplanktonanalyse steht die Variabilität der Merkmale bei zentrischen Diatomeen, die anhand einiger planktischer Vertreter aufgezeigt und kritisch diskutiert wird. Parallelen zu den in der Literatur beschriebenen Merkmalsvariabilitäten bei Arten der Chlorophyta s. l. werden gesucht. Darüber hinaus wird die Algenflora der für den Raum Berlin-Brandenburg typischen Gewässer dargelegt.

3. 2. 1. 1. Bewertung morphologischer Merkmale

Die Struktur und Dynamik des Phytoplanktons wird hier auf der Ebene der Arten bzw. höherer Taxa untersucht. In der Hierarchie der Taxa gilt der Rang der Art traditionell als Grundrangstufe (Internationaler Code der Botanischen Nomenklatur siehe GREUTER et al. 1989). Die infraspezifischen Taxa (Unterarten, Varietäten, Formen, Morphotypen usw.) bleiben unberücksichtigt, da die Kriterien zur Abgrenzung dieser Sippen uneinheitlich definiert und damit z. T. auch recht willkürlich gewichtet sind. Der genetische Hintergrund polymorpher Sippen einer Art ist dabei häufig ungeklärt (GEISSLER & JAHN 1986).

Es gibt Bestrebungen, das Artkonzept - insbesondere für die einzelnen eukaryotischen Algenklassen, mit Einschränkung aber auch für die prokaryotischen Cyanophyceae - ähnlich zu diskutieren (z. B.: Cyanophyceae: ANAGNOSTIDIS & KOMÁREK 1985; Bacillariophyceae: GEISSLER 1970 a, Ettl 1993; Chlorophyceae: KOMÁREK 1987). Jedoch lassen sich die Kriterien der biologischen Artdefinition bei vielen einzelligen Algen, insbesondere bei den Blaualgen, im Vergleich zu den höheren Pflanzen nur schwer anwenden. So ist für die praktische, systematische Arbeit die Definition von Morphospezies, nach der sich Arten (Genotypen) aufgrund diakritischer, qualitativer und/oder quantitativer Merkmale voneinander abgrenzen lassen, stärker relevant. In die moderne Algensystematik fließen neben den morphologischen Merkmalen verstärkt ökologische, physiologische und biochemische Charakteristika ein (u. a. ROUND et al. 1990, COX 1993, SCHMID 1994). Bei der Klassifizierung der Algentaxa finden zunehmend Methoden der numerischen Taxonomie (SNEATH & SOKAL 1973) Anwendung (z. B. THERIOT & STOERMER 1984, KOMÁREK & MARVAN 1992, TEUBNER 1995).

Ein Dilemma hinsichtlich eines klaren Artkonzepts in der Algentaxonomie sieht LANGE-BERTALOT (1990) u. a. darin, daß zwischen den beiden Kategorien der Artdefinition nicht konsequent differenziert wird, somit einerseits reale Arten im Sinne der Populationsbiologie (Biospezies), andererseits aber taxonomische oder typologische Arten (Morphospezies) beschrieben werden.

Der Beschreibung von Morphospezies liegt die Suche nach stabilen, artdiagnostischen Merkmalen zugrunde. Dem steht die Variabilität vieler Merkmale gegenüber. Der Polymorphismus bei Algen ist Ausdruck einer möglichen, weiten Spanne der phänotypischen Plastizität. Eine Übersicht zu polymorphen Strukturen verschiedener Taxa wird beispielsweise von TRAINOR et al. (1971) gezeigt. Verschiedene Ursachen der Merkmalsvariabilität bei den Diatomeen werden u. a. von GEISSLER & JAHN (1986) diskutiert.

Ausgewählte Beispiele illustrieren eine differenzierte Bewertung der Variationsbreiten von Merkmalen:

3. 2. 1. 1. 1. Beschreibung der Merkmalsvariabilität zwischen einzelnen Individuen

Beispiel für Kopplung der Merkmalsvariabilität an den Modus der Zellteilung

Infolge der vegetativen Zellteilungen und der dadurch fortschreitenden Größenreduktion (MacDonald-Pfitzer-Hypothese) weisen viele Kieselalgenarten ein weites Zellgrößenspektrum auf. Erst nach dem

Schritt der generativen Fortpflanzung, mit der Auxosporenbildung, werden wieder Zellen maximaler Größe gebildet (siehe Tafel IV: Abbn. 1-3).

Mit abnehmendem Valvendurchmesser ist oft eine Tendenz zur Vereinfachung der Schalenstruktur zu beobachten, was sich am Beispiel von *Cyclotella radios*a veranschaulichen läßt. Bei dieser Art wird die gleichmäßige Anordnung der Rippen am Schalenrand häufig durch verkürzte Striae unterbrochen. Dabei kann die Anzahl der verkürzten Striae je Valvenfläche variieren (Tafel VI: Abbn. 1-8). Die Häufigkeitsverteilung der Anzahl der verkürzten Striae je Valvenfläche in Abhängigkeit zum Valvendurchmesser wird mit der Abb. 17 anhand von 4145 Theken veranschaulicht. Dabei wird deutlich, daß sich das Vorkommen von 4-5 verkürzten Striae auf die großen Schalen beschränkt. Im Einklang damit zeigt sich bei kleinen Zellen sehr häufig ein Fehlen der Striae bzw. das Vorhandensein von nur wenigen verkürzten Striae. Somit liegt die Vermutung nahe, daß die unterschiedliche Zahl der verkürzten Striae weniger artspezifisch (*C. radios*a/*C. bodanica* siehe HUSTEDT in HUBER-PESTALOZZI 1942), sondern eher allgemein in Abhängigkeit vom Valvendurchmesser variiert. Ein Merkmal, das deutlich mit dem Valvendurchmesser korreliert, stellt meist ein Kontinuum dar und ist als quantitatives Kriterium zur Abgrenzung von Arten wenig bedeutsam (GEISSLER 1970 a, 1982, 1986; HAWORTH 1983, THERIOT & STOERMER 1984; THERIOT et al. 1988, TEUBNER 1995).

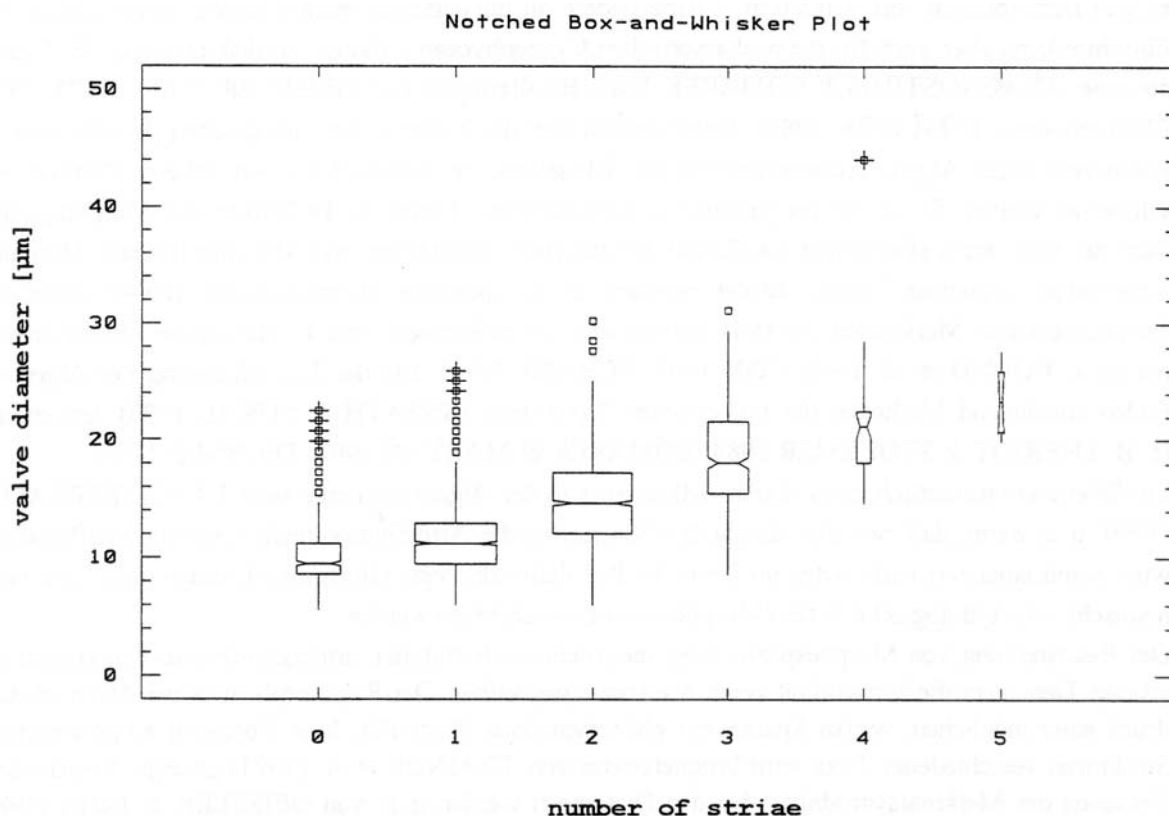


Abb. 17: Häufigkeitsverteilung der Anzahl der verkürzten Randstreifen (Striae) je Theke in Abhängigkeit vom Valvendurchmesser am Beispiel der Art *Cyclotella radios*a.

[Gekerbte Box-Whisker-Darstellung. Datenbasis (Gesamt-Stichprobe): 4145 Theken aus den 11 Gewässern. Die Linie innerhalb einer jeweiligen „Box“ zeigt den Medianwert der Valvendurchmesser einer Gruppe Theken mit gleicher Anzahl verkürzter Striae an. Die Kerbe (Längenausmaß der Einkerbung) markiert den 95 %-igen Vertrauensbereich des Medians. Die Kastenlinien oben und unten zeigen das untere und obere Quartil an. Damit enthält die Box 50 % der Beobachtungen einer jeweiligen (Teil-)Stichprobe. Die Quadrate bzw. „+“ kennzeichnen Ausreißer bzw. extreme Ausreißer. Die Breite der Box ist proportional der Anzahl der Beobachtungen zwischen den hier dargestellten 6 (Teil-)Stichproben (Theken mit 0, 1, 2, 3, 4 oder 5 Randstreifen).]

Beispiel für Kopplung der Merkmalsvariabilität an wechselnde Umweltfaktoren

Beispiele der Kopplung der Merkmalsvariabilität an wechselnde Umweltfaktoren veranschaulichen auch sprunghafte Veränderungen morphologischer Muster.

In der Systematik der *Scenedesmus*-Arten (coccale Chlorophyceae) werden neben der Kolonieforn häufig Zellwandstrukturen, z. B. das Vorhandensein von Stacheln, Rippen und Wärrchen, als taxonomisch signifikante Differentialmerkmale gewertet. In den letzten Jahren wurde jedoch mit Kulturversuchen an Klonen die Stabilität dieser Merkmalsausprägungen für mehrere *Scenedesmus*-Arten widerlegt oder zumindest in Frage gestellt (TRAINOR & EGAN 1991). So konnten etwa HEGEWALD (1989) und HEGEWALD & SCHNEPF (1991) in Kulturen zeigen, daß bei aufeinanderfolgenden Generationen (Autosporenbildung) im selben Klon je nach Nährstoffbedingungen verschiedene Zellwandstrukturen gebildet werden können. Aus Mutterzönobien mit Stacheln und ohne Rippen gehen stachellose Autosporen mit deutlich ausgebildeten Rippen hervor und umgekehrt. In natürlichen Populationen (Freilandmaterial) läßt sich dieser Gestaltwechsel bei *Scenedesmus* schwer nachvollziehen, weil nach der Autosporation die frei gewordenen Tochterzellen keinen räumlichen Konnex zu den Mutterzellwänden haben.

3. 2. 1. 1. 2. Beschreibung der Merkmalsvariabilität innerhalb einzelner Individuen

Interessante Ansatzpunkte zur Untersuchung der innerartlichen Variabilität bieten Algen der Desmidiales (Conjugatophyceae) und Bacillariophyceae, deren Zellen durch die Existenz von Halbzellen bzw. halben Zellwänden gekennzeichnet sind. Den Arten dieser beiden Algengruppen ist gemeinsam, daß bei der vegetativen Zellteilung jeweils eine Hälfte der Mutterzellwand auf die beiden Tochterzellen übergeht und nur die fehlende Hälfte neu gebildet wird (siehe *Cosmarium depressum* Tafel VII: Abb. 9). Somit vereinen diese Individuen in sich - über Generationen - zeitlich getrennt gebildete Zellwandstrukturen. Nach Vollzug einer Zellwandmorphogenese ist die Strukturbildung abgeschlossen. Einmal ausgebildete zellulosehaltige bzw. verkieselte Zellwandstrukturen (Größe, Form, Oberfläche) sind manifest. Eine Veränderung morphologischer Strukturen, bedingt z. B. durch wechselnde Umweltbedingungen, könnte erst mit der Zellwandmorphogenese der folgenden Generation, d. h. mit der Neubildung der fehlenden Tochterzellwandhälfte, geprägt werden (vergleiche dazu *Scenedesmus* oben). Die Information über einen sprunghaften Wechsel der Merkmalsausprägung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Generationen bliebe dann jedoch hier innerhalb eines Individuums aufgezeichnet und könnte somit evident die Variabilität polymorpher Sippen bei diesen beiden Algengruppen veranschaulichen.

Tatsächlich wurden beispielsweise für den *Staurostrum tohopekaligense*-Komplex (Desmidiales) phänotypisch verschiedene Halbzellen beschrieben (LING & TYLER 1995). Aufgrund einer hohen Merkmalsplastizität innerhalb der Individuen konnten die Beschreibungen von mehreren Sippen paarweise überlappend miteinander kombiniert werden. Dabei wurde für die untersuchten Populationen ein unterschiedlich breites morphologisches Spektrum nachgewiesen. Die größte morphologische Variabilität zeigte sich in flachen tropischen Gewässern, während die Populationen in den tiefen, stabil geschichteten Seen weniger vielgestaltig waren.

Im Material der hier untersuchten Seen konnte analog für den *Cyclotella kuetzingiana/ocellata/comensis*-Formenkreis ein vernetztes Überlappen verschiedener „Muster“ innerhalb der Diatomeenzellen nachgewiesen werden. Die Merkmalsvariabilität der verkieselten Zellwandstrukturen wurde jeweils zwischen zusammengehörigen Thekenpaaren einer Frustel analysiert. Ausgehend von der Existenz heterovalvarer Diatomeenzellen (siehe 3. 2. 1. 2. 1.) wurde die größtmögliche phänotypische Unähnlichkeit zwischen den zwei zusammengehörigen Theken einer Zelle einerseits und der gleitende Übergang zwischen ähnlichen Theken verschiedener Zellen andererseits herausgearbeitet. In diesem Sinne aneinandergereihete Thekenpaare der untersuchten *Cyclotella*-Zellen illustrieren somit eine gedankliche Verknüpfung morphologisch unähnlicher Schalenmuster (Tafel VII: Abbn. 1-6). Anhand multivariater sta

tistischer Methoden wurden die Variationen und Co-Variationen der verschiedenen Merkmale aufgezeigt (TEUBNER 1995).

Bei der Interpretation verschiedenartiger Schalenmuster wird darüber hinaus die Relevanz der Zellwandmorphogenese für taxonomisch-limnologische Fragestellungen deutlich.

Sowohl bei *Cyclotella radios*a als auch im *C. kuetzingiana/ocellata/comensis*-Formenkreis konnte mehrfach beobachtet werden, daß innerhalb einer Zelle eine Theke mit kurzen, zum Schalenrand zurückgedrängten Streifen einer Theke gegenüber liegt, bei der lange Streifen weit in das Schalenzentrum hineinreichend zu sehen sind (Tafel VIII: Abbn. 5, 6). Es wird vermutet, daß die beiden Theken dieser Frusteln unterschiedliche Stadien der Zellwandmorphogenese repräsentieren (SCHMID, persönl. Mitteilung). Bei den Theken mit weit in die Schalenmitte hineinreichenden Streifen wird im REM das Fehlen einer horizontalen Ausdifferenzierung der Schalenstruktur deutlich (PICKETT-HEAPS et al. 1990). Zwischen den Rippen („basal siliceous layer“, Terminologie siehe ROSS et al. 1979) sind noch keine Areolenreihen gebildet (Tafel VIII: Abb. 2). Bei vollständig verkieselten Theken (Tafel VIII: Abb. 1) sind die reihenförmig angeordneten Areolen (Striae) zwischen den Rippen (Interstriae) sichtbar.

SCHULTZ & TRAINOR (1969) beschreiben dieses Phänomen verschieden langer Striae am Beispiel überlappender „*C. meneghiniana*“- und „*C. cryptica*“-Muster innerhalb einer Frustel. Es ist zu erwarten, daß dieses Erscheinungsbild abgestufter Striae-Längen innerhalb einer Zelle auch bei weiteren Sippen der Gattung *Cyclotella* beobachtet werden kann. Diese möglicherweise den allgemeinen Prozeß der Zellwandmorphogenese repräsentierenden Unterschiede der Zellwandstruktur haben demzufolge keine taxonomische Signifikanz.

In Beziehung zu den unterschiedlichen Striae-Längen stehen auch verschieden starke Gabelungen der Streifen in der Randzone. Bei fertig verkieselten, „typischen“ Theken von *C. radios*a sind nur in der Randzone die Striae bzw. Interstriae sichtbar. Da über die kurze Distanz eines schmalen Schalenrandes nur wenig verkürzte Striae eingeschoben liegen, zeigt sich eine nahezu gleichmäßig parallele Anordnung der Interstriae (Tafel VIII: Abb. 5a). Dagegen weisen die Theken mit weit in das Schalenzentrum hineinreichenden Streifen - d. h. Theken, die möglicherweise ein Stadium unvollständiger Verkieselung repräsentieren - eine mehrfache, unregelmäßige Gabelungen der Rippen auf (Tafel VIII: Abb. 5b).

Darüber hinaus wurden im LM bei vereinzelt Theken von *C. kuetzingiana/ocellata/comensis* und *C. radios*a dunkle Schalenränder beobachtet (Tafel VIII: Abbn. 3, 4). Diese Schalenränder weisen auf die unvollständige Morphogenese der Kammern (Alveolen) hin (SCHMID, persönl. Mitteilung; siehe auch Tafel VIII: Abb. 2) und verdeutlichen wiederum, daß Variationen eines Merkmals Ausdruck der Dynamik der Zellwandmorphogenese sein können.

Die vorgestellten Beispiele machen die Bedeutung einer differenzierten Algendagnostik für die Limnologie deutlich, da nur nach Klärung der Merkmalsvariabilitäten/Merkmalsausprägungen aussagekräftige Phytoplankton-Quantifizierungen möglich erscheinen. Der Limnologe wird bei der Untersuchung von Phytoplanktonproben mit den Phänomenen der Morphogenese, der Zellzyklen und der Merkmalsvariabilität der Organismen konfrontiert.

3. 2. 1. 2. Vorkommen der Algentaxa

Der Schwerpunkt dieser algologischen Studie liegt in der Determination der dominanten Planktonarten, insbesondere der Cyanophyceae, Bacillariophyceae, Chlorophyta s. l. und Cryptophyceae. Die Vorkommen der Algentaxa in den untersuchten Gewässern für den gesamten Beobachtungszeitraum sind in Tabelle III (S. 68-71) aufgelistet. Die Auswahl der abgebildeten Algentaxa (Tafeln I-X, S. 47-67) zielt auf eine Präsentation dominanter Taxa bzw. Veranschaulichung der artdiagnostischen Merkmale einzelner seltener bzw. kritischer Taxa. Die Darstellung der Algenarten aus verschiedenen Habitaten

zeigt einen Ausschnitt möglicher Variationen. Auf die Grenzen lichtmikroskopischer Beobachtungen bei der Determination der Taxa wird hingewiesen.

3. 2. 1. 2. 1. Anmerkungen zur Liste der Algentaxa

Cyanophyceae

Chroococcales Wettst. Tafel I und II.

Microcystis Kütz.

Diakritische Merkmale bei den *Microcystis*-Arten sind neben der Zellgröße und der Gallertausbildung auch die Kolonieform sowie die Anordnung der Zellen in den Kolonien (KOMÁREK 1991). In den untersuchten Gewässern sind 7 *Microcystis*-Arten beobachtet worden (siehe Tabelle III, S. 68-71), von denen die häufigsten 4 Arten abgebildet sind.

Eine unregelmäßige Zellanordnung in irregulär geformten Kolonien und eine zerfließende Gallerte, die die Kolonie nicht klar abgrenzt, sind charakteristisch für *M. aeruginosa* (Tafel I: Abb. 1). Zum Teil konnten in der Gallerte dieser *Microcystis*-Kolonien endophytische Algen, *Pseudanabaena mucicola* (Tafel I: Abb. 2) und *Nitzschia fonticola*, beobachtet werden (TÄUSCHER 1980, CHANG 1988). *M. flos-aquae* ist *M. aeruginosa* sehr ähnlich, soll aber aufgrund der nahezu kugelförmigen Kolonien und den dichter angeordneten Zellen als eigenständige Art abgrenzbar sein (KOMÁREK 1991). In der älteren Literatur werden die beiden zuletzt genannten *Microcystis*-Arten als Formen innerhalb der Art *M. aeruginosa* diskutiert. Kompakte bzw. lockere Zellanlagerungen oder auch geschlossen-kugelförmige bzw. gelappte Kolonien werden als variable Formen, in Abhängigkeit vom Alter der Kolonien oder auch von Turbulenzen des Wasserkörpers, interpretiert (GEITLER 1932, KOMÁREK & Ettl 1958, STARMACH 1966).

M. ichthyoblabe und *M. novacekii* (Tafel I: Abb. 3) zeigen ähnlich zerklüftete Kolonieformen. Für *M. ichthyoblabe* wird eine sehr enge Spanne der Zelldimensionen (2-3 µm) angegeben (GEITLER 1932, STARMACH 1966). Aufgrund dieser geringen Zelldimensionen soll diese Art gegenüber *M. novacekii* abgrenzbar sein (KOMÁREK 1991). Andererseits gibt KOMÁREK (1991) bezüglich nicht determinierter Modifikationen an: „One population corresponds to *M. ichthyoblabe* with the form of colonies (disintegrating groups of cells), but with extremely large cells (4,5) 5-8 µm in diameter“. Die Grenzen der Bewertung des diakritischen Merkmals der Zellgröße werden offensichtlich.

Bei der quantitativen Phytoplanktonanalyse wurde die Vereinfachung getroffen, das Biovolumen von *M. aeruginosa*, *M. flos-aquae*, *M. novacekii* und *M. ichthyoblabe* als Gruppe zu erfassen. Da *M. aeruginosa* in den untersuchten Gewässern die dominante Art innerhalb dieser Artengruppe ist, wird hier von der *M. aeruginosa* s. l. -Gruppe gesprochen.

Bei *M. wesenbergii* sind die Zellen meist ein- oder doppelschichtig in flächigen Kolonien angeordnet. Bei elektronenmikroskopischen Untersuchungen dieser Art konnten CAIOLA et al. (1987) dichtliegende granulierten und stachelartige Strukturen sowie Membranfragmente in den kolonienumhüllenden Gallertscheiden nachweisen. Im LM erscheint die Gallerte, die die Kolonien gleichmäßig umrandend abgrenzt, stark lichtbrechend (Tafel I: Abb. 4).

M. viridis ist aufgrund der deutlich dreidimensionalen Kolonien („packet-like“; KOMÁREK 1991) ebenfalls leicht im LM bestimmbar. Die lichtbrechende Gallerte liegt den einzelnen, kugelförmigen Zellen dicht an und erscheint somit im LM, projiziert auf eine Ebene, wellig (Tafel I: Abbn. 5, 6).

Bei der quantitativen Phytoplanktonanalyse ist die Bestimmung der Biovolumina der *Microcystis*-Arten mit Kompromissen behaftet. Wird der Schwerpunkt auf eine statistisch abgesicherte Biovolumen-Bestimmung gelegt, müssen die Zellen aus dem Kolonieverband gelöst werden, um die Bedingung der unabhängigen Zählereignisse zu erfüllen. Methoden zur Separation der Zellen aus dem Kolonieverband werden von HUMPHRIES & WIDJAJA (1979) und REYNOLDS & JAWORSKI (1978) beschrieben. Nach der Separation der Zellen kann jedoch nur das Biovolumen der Gesamtheit der in der Probe vorkommenden *Microcystis*-Arten ermittelt werden. Eine Artbestimmung, allein auf der Zellgröße basierend, ist nicht möglich. Wichtige artdiagnostische Merkmale wie die Gallertbegrenzung und die Form der Kolonie sowie die Zellanordnung sind nicht mehr erkennbar (siehe oben).

Ist jedoch aufgrund der artspezifisch-physiologischen Unterschiede (differenzierte Verbreitung, Pigmentgehalt, Potenz der Toxinbildung) eine Aufgliederung in *Microcystis*-Arten beziehungsweise Artengruppen von stärkerem Interesse, muß das Biovolumen je Kolonie ausgewertet werden. Die Kenntnis von der artspezifischen, räumlichen Dichte der Zellen in der Kolonie, d. h. die bevorzugte Anordnung in Form von mehr oder weniger locker, irregulär liegenden Zellen bzw. von ein- bis dreifachen, geschlossenen Zellschichten ermöglicht dabei eine biometrische Schätzung der Art-Biovolumina aus den Kolonien.

Beide Methoden der Biovolumen-Berechnung, d. h. aus Einzel-Zellen und aus Kolonien, wurden in der hier vorliegenden Phytoplanktonanalyse angewendet, wobei der Schwerpunkt in der Erfassung der Kolonie-Biovolumina einzelner *Microcystis*-Arten lag (siehe Kapitel 2. 5.).

***Gomphosphaeria* - Komplex**

Die Arten der ursprünglichen Gattung *Gomphosphaeria* Kützing können in 3 Gruppen untergliedert werden, die sich bezüglich Koloniestruktur, Zellzyklus und Modus der Reproduktion unterscheiden. Es wurden neben der Gattung *Gomphosphaeria* zwei weitere, eigenständige Gattungen, *Woronichinia* Elenk. und *Snowella* Elenk., herausgearbeitet (KOMÁREK & HINDÁK 1988). Von den 4 in den untersuchten Gewässern vertretenen Arten dieser Gattungen werden 3 abgebildet. Für *Woronichinia* sind kompakte Kolonien ellipsoidförmiger Zellen mit (*W. naegeliana*, Tafel II: Abbn. 1, 2) bzw. ohne Gasvesikel (*W. compacta*, Tafel II: Abb. 3) charakteristisch. Dagegen sind lockere Kolonien kugelförmiger Zellen ohne Gasvesikel für *Snowella litoralis* (Tafel II: Abb. 1) kennzeichnend (KOMÁRKOVÁ-LEGNEROVÁ & CRONBERG 1994).

***Cyanodictyon* Pascher**

Bei *Cyanodictyon imperfectum* (Tafel II: Abbn. 4, 5) liegen die kugelförmigen Zellen paarweise in Gallertscheiden zu Filamenten angeordnet (CRONBERG & WEIBULL 1981). Die Kolonien zeigen Eisen-Inkrustierungen. Diese im See Trummen (Schweden) in einer Massenentwicklung beobachtete, 1981 erstmals beschriebene Art konnte nur sporadisch im epilimnischen Plankton mehrerer hier untersuchter Gewässer nachgewiesen werden (vergl. HICKEL & POLLINGHER 1988, ECONOMOU-AMILLI & SPARTINO 1991, KOMÁRKOVÁ-LEGNEROVÁ & CRONBERG 1994).

***Marssoniella* Lemm.**

Bei *Marssoniella* (Tafel II: Abb. 7) sind die zugespitzt eiförmigen Zellen ähnlich wie bei den *Gomphosphaeria*-Arten angeordnet (KOMÁREK & ETTL 1958). LEMMERMANN hat für *Marssoniella elegans* Lemm. als Fundort den Summt-See bei Berlin angegeben (in GEITLER 1932), welcher unweit

des hier untersuchten Kieselsees liegt. Im Kieselsee wurde z. T. ein massenhaftes Auftreten von *Marssoniella* beobachtet.

Nach KOMÁREK & VAVRA (1967) handelt es sich jedoch bei *Marssoniella* nicht - wie in älterer Literatur angenommen - um eine Blaualge, sondern um die Sporen des in Crustacea (Cyclops) lebenden Parasiten *Gurleya* (Microsporidia, Protozoa). Nach KOMÁREK & VAVRA (1968) sind diese „*Marssoniella*“-Kolonien der Art *Gurleya marssoniella* zuzuordnen. Somit bleibt dieses ehemals als Blaualge beschriebene Taxon nur am Rand dieser Phytoplanktonuntersuchung erwähnt.

Aphanothece Nägeli

Pico- bis nanoplanktische Sippen (*Aphanothece clathrata*, Tafel II: Abb. 6) sind nur bei Massenentwicklungen quantitativ im Rahmen der Zählroutine (Lugolproben) ausgewertet worden. Von einer detaillierten, separaten Auszählung mittels Fluoreszenzmikroskopie zur Abgrenzung vom Bakterioplankton wurde abgesehen.

Stichprobenhafte, fluoreszenzmikroskopische Beobachtungen über den Untersuchungszeitraum haben gezeigt, daß in den eutrophen bis hypertrophen Gewässern der Biovolumenanteil der nano- und picoplanktischen Algen gegenüber den Massenentwicklungen der Cyano-, Bacillario- bzw. Chlorophyceae sehr gering ist. Aufgrund der geringen Biovolumenanteile wird dieses Nano- und Picoplankton in diesen nährstoffreichen Gewässern vernachlässigt. In den nährstoffärmeren Seen jedoch, z. B. dem Parsteiner See, erreichen diese Algen höhere Biovolumenanteile und wurden demzufolge bei diesen Gewässern in der Planktonanalyse berücksichtigt. Nach der fluoreszenzmikroskopischen Identifikation wurden diese kleinzelligen Algen in der lugolfixierten Probe analog den anderen Algentaxa am Umkehrmikroskop ausgezählt.

Oscillatoriales Elenk.

Tafel III: Abb. 1.

Eine umfassende Revision der Taxa der Oscillatoriales wurde mit der taxonomischen Bewertung ultrastrukturell-cytomorphologischer Merkmale, insbesondere der Anordnung der Thylakoide, eingeleitet (ANAGNOSTIDIS & KOMÁREK 1988 a, KOMÁREK & ČÁSLAVSKÁ 1991).

In den untersuchten Gewässern zählen zu den dominanten Arten dieser Ordnung *Planktothrix agardhii* (Syn.: *Oscillatoria agardhii* Gom.), *Limnothrix redekei* (Syn.: *Oscillatoria redekei* Van Goor) (MEFFERT et al. 1981, MEFFERT 1988) und *Planktolyngbya subtilis* (Syn.: *Lyngbya limnetica* Lemm., siehe ANAGNOSTIDIS & KOMÁREK 1988 a) (Tafel III: Abb. 1).

Nostocales (Borzi) Geitler

Tafel III: Abbn. 2-8.

Aphanizomenon Morr. ex Born. et Flah.

In den 11 Gewässern wurden 4 *Aphanizomenon*-Arten gefunden.

Bis in die heutige Zeit wird versucht, innerhalb der Gattung *Aphanizomenon* neben einer morphologisch begründeten Abgrenzung der Sippen auch differenzierte Muster der Verbreitung aufzuzeigen.

Nach KOHL et al. (1985) können *A. gracile* und *A. flos-aquae* als eigenständige Arten betrachtet werden. *A. gracile* grenzt sich aufgrund bevorzugt einzeln vorliegender Trichome, einer meist höheren Heterocystenfrequenz sowie der eher kugelförmigen Gestalt der Heterocysten von *A. flos-aquae* ab (Tafel III: Abbn. 2, 7). Über die taxonomische Fragestellung hinaus ist das Separieren dieser beiden Arten aus limnologischer Sicht interessant. Denn diese morphologisch recht ähnlichen Arten treten zwar

unter limnologisch ähnlichen Bedingungen, aber in völlig verschiedenen Blaualgen-Dominanzstrukturen auf (siehe Kapitel 4. 6.).

Gegenüber diesen beiden Arten sind die solitären Trichome von *A. issatschenkoi* (Tafel III: Abb. 6) aufgrund der stark verschmälerten, längeren Endzellen leicht abgrenzbar (KOMÁREK & ETTL 1958; STARMACH 1966; ANAGNOSTIDIS et al. 1988 b).

Währenddessen die drei genannten *Aphanizomenon*-Arten in mehreren eutrophen Gewässern der untersuchten Standorte vertreten sind, konnte *A. skujae* (Syn.: *A. cf. flos-aquae* sensu Skuja, siehe KOMÁRKOVÁ-LEGNEROVÁ & CRONBERG 1992) ausschließlich in der Krummen Lake beobachtet werden (siehe Tabelle III).

Anabaena Bory

Weitere N₂-fixierende, im Plankton der untersuchten Gewässern verbreitete Blaualgen sind die *Anabaena*-Arten. Von den vier determinierten *Anabaena*-Arten sind *A. spiroides* (Tafel III: Abb. 8) und *A. flos-aquae* (Tafel III: Abb. 7) abgebildet (KOMÁRKOVÁ 1988, KOMÁRKOVÁ-LEGNEROVÁ & ELORANTA 1992).

Bacillariophyceae

Centrales

Tafel IV, V, VI: Abbn. 1-11, VII: Abbn. 1-8 und VIII.

Melosira sensu lato (*Melosira* Agardh, *Aulacoseira* Thwaites, *Ellerbeckia* Crawford)

Dominante Arten dieser koloniebildenden (Zellketten) zentrischen Diatomeen sind *Aulacoseira granulata*, *A. italica*, *A. ambigua* und *Melosira varians*. Die Determination der Arten im LM, speziell bei der Auszählung lugolfixierter Phytoplanktonproben, ist schwierig. *Melosira varians* kann im LM auch ohne Präparation aufgrund der charakteristischen Form von Zellen, Auxosporen und Initialvalven (Tafel IV: Abbn. 3, 4) (ROUND et al. 1990) und fehlender Strukturen wie grobe Areolen, Verbindungsdornen und Sulci (Tafel IV: Abbn. 4, 5) leicht gegenüber den *Aulacoseira*-Arten abgegrenzt werden (*A. granulata* Tafel IV: Abb. 1). Artdiagnostische Merkmale einer Reihe von *Aulacoseira*-Arten wie z. B. *A. ambigua* (Tafel IV: Abb. 6) sind nur im REM sicher erkennbar. *Ellerbeckia arenaria* Crawford (Tafel IV: Abb. 7) wurde vereinzelt gefunden.

Einzellige zentrische Diatomeen

Stephanodiscus Ehrenb.

Häufig auftretende Arten sind *Stephanodiscus neoastreae*, *S. hantzschii* und *S. minutulus*/*S. parvus*.

Für *S. hantzschii* werden anhand von Morphotypen verschiedene Merkmalsausprägungen innerhalb der Art beschrieben (HÅKANSSON & BAILEY-WATTS 1993). Verschiedene Grade der Verkieselung, unterschiedlich grobe Schalenstrukturen, das gelegentliche Vorhandensein eines Anulus (Tafel V: 7, 9) und die Verschiedengestaltigkeit der äußeren Öffnung des marginalen Lippenfortsatzes sind Ausdruck der innerartlichen phänotypischen Plastizität in Abhängigkeit von verschiedenen Nährstoffsituationen (vergleiche dazu GEISSLER 1982, 1986).

Darüber hinaus konnten HÅKANSSON & BAILEY-WATTS (1993) auch zeigen, daß durch die Unterbrechung der regelmäßigen Anordnung der Randdornen die Lage des marginalen Lippenfortsatzes leicht im LM lokalisierbar ist. An der Stelle des einzelnen fehlenden Randdorns liegt dann die Öffnung dieses Lippenfortsatzes (Tafel V: Abbn. 7, 8).

Zur Systematik von *S. minutulus* und *S. parvus* bestehen kontroverse Meinungen. Nach HÅKANSSON (1991, in KRAMMER & LANGE-BERTALOT) sind *S. minutulus* und *S. parvus* distinkte Arten. *S. parvus* wird dabei aus *S. hantzschii* fo. *parva* Grunow ex Cleve et Möller hergeleitet (STOERMER & HÅKANSSON 1984).

Dagegen arbeiten KOBAYASI et al. (1985) die Conspezifität von *S. minutulus* und *S. parvus* mit der Begründung heraus, daß das einzige diskriminante Merkmal, nämlich die Wellung der Schalen, ein Kontinuum darstellt. Die in der Struktur identischen Schalen zeigen danach nur eine graduelle Abstufung von einer flachen (*S. parvus*) bis zu einer stark konzentrisch gewellten Oberfläche (*S. minutulus*).

Aufgrund der geringen Zellgrößen sind im LM Unterschiede in der Wellung nur schwer zu erkennen. Damit ist es zweckmäßig, für die Phytoplanktonanalyse der 11 Gewässer - unabhängig von den beiden oben genannten kontroversen Auffassungen - diese Diatomeen als *S. minutulus/parvus* - Gruppe zu erfassen (Tafel V: Abb. 6).

Innerhalb der Gruppe der großschaligen, konzentrisch gewellten *Stephanodiscus*-Arten läßt sich *S. neo-astraea* aufgrund der unregelmäßigen Anordnung der Randdornen (Tafel V: Abbn. 1, 2) im LM einfach gegenüber *S. alpinus* und *S. medius* abgrenzen. Dagegen sind *S. medius* (HÅKANSSON 1986 a) und *S. alpinus* (HICKEL & HÅKANSSON 1993) morphologisch sehr ähnlich. Als diakritisches Merkmal wird neben dem Fehlen bzw. Vorhandensein eines zentralen Stützenfortsatzes die unterschiedliche Anzahl der Areolenreihen je Faszikel im marginalen Bereich der Schalenfläche angegeben: *S. medius* 2 bis 3 (Tafel V: Abbn. 3, 4) und *S. alpinus* 2 (Tafel V: Abb. 5). Während *S. alpinus* in mehreren Gewässern beobachtet wurde, beschränkt sich das Vorkommen von *S. medius* allein auf den Rosinsee (siehe Tabelle III, S. 68-71). Jedoch konnten die Schalen mit regelmäßiger Schalenstruktur in den Rosinsee-Proben im LM nicht immer eindeutig nur einem der beiden Taxa zugeordnet werden. Daher wurde bei der quantitativen Phytoplanktonanalyse das Biovolumen der *S. alpinus/medius*- Gruppe erfaßt.

Cyclotella (Kütz.) Brébisson

Die LM-Beobachtungen an kleinen, meist hyalin verkieselten *Cyclotella*-Arten bewegen sich oft an der Grenze der optischen Auflösung (CHANG & STEINBERG 1989). Trotzdem wurde im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen versucht, die in ausgewählten Proben im REM diagnostizierten, kleinschaligen Arten im LM wiederzufinden und quantitativ über den gesamten Untersuchungszeitraum auszuwerten.

Die Abbn. 14, 15 der Tafel V veranschaulichen bei Frusteln von *C. atomus* die zueinander versetzte Anordnung der beiden, je Theke einzeln in der Schalenmitte liegenden Stützenfortsätze. Für *C. pseudo-stelligera* sind die röhrenförmigen Öffnungen der marginalen Stützenfortsätze und die unregelmäßig verzweigten Randstreifen (Interstriae) charakteristisch (Tafel V: Abbn. 10, 11). Darüber hinaus zeigen sich Varianten in der Merkmalsausprägung innerhalb einer Frustel. Theken mit sternförmigem und strukturlosem Mittelfeld liegen meist kombiniert in einer Zelle vor. Eine analoge Darstellung liegt für *C. stelligeroides* Hustedt von HUSTEDT (1945) vor. Heterovalvare Strukturen werden darüber hinaus auch bei anderen Taxa der stelligeroiden Gruppe, wie z. B. *C. woltereckii* Hustedt (KLEE & HOUK 1996), beschrieben (siehe auch heterovalvare Zellen bei *C. kuetzingiana/ocellata/comensis*). Eine weitere morphologisch ähnliche Art ist *C. stelligera* (Tafel V: Abb. 9, Bildmitte). HAWORTH & HURLEY (1986) demonstrieren die Variabilität dieses *C. stelligera*-Formenkreises und folgern, die morphologisch

ähnlichen Sippen, d. h. *C. pseudostelligera*, *C. glomerata* Bachmann und *C. woltereckii*, der *C. stelligera* als Varietäten zuzuordnen.

In den untersuchten Gewässern verbreitete, großschalige *Cyclotella*-Arten sind *C. meneghiniana* (Tafel V: Abbn. 12, 13) und *Cyclotella radiosae*.

Die systematische Abgrenzung in und zwischen den Formenkreisen von *C. radiosae* und *C. bodanica* Grunow ist diffizil. Bei der Auswertung der Dauerpräparate der untersuchten 11 Gewässerstandorte wurden sämtliche Schalen dieses Formenkreises der Art *C. radiosae* zugeordnet. Ausnahmslos war im LM am Schalenrand bei jeder 3.-4. (5.) Rippe eine sogenannte Schattenlinie zu sehen. Diese je nach Fokussierung hellen bzw. dunklen Linien sind verstärkte Rippen, die jeweils einen Stützenfortsatz tragen (Tafel VI: Abbn. 1-8, Tafel VIII: Abb. 5; HÅKANSSON & CARTER 1990). Für Arten aus dem *C. radiosae*-Komplex soll dieser relativ weite Abstand der Schattenlinien diakritisch gegenüber den Arten des *C. bodanica*-Komplexes sein. Aufgrund des Vorhandenseins zentraler Stützenfortsätze (Tafel VII: Abbn. 7, 8) konnten die Schalen der untersuchten Gewässer innerhalb des *C. radiosae*-Komplexes gegenüber *C. glabriuscula* (Grunow) Håkansson abgegrenzt werden (HÅKANSSON 1986 b).

Bei der taxonomischen Einordnung einer Reihe von *Cyclotella*-Taxa (*C. krammeri* Håkansson, Syn. *C. kuetzingiana*; *C. kuetzingiana* var. *radiosa* Fricke, *C. kuetzingiana* var. *planetophora* Fricke, *C. ocellata*, *C. comensis*) treten immer wieder Unsicherheiten auf. Neben der strengen, separierenden Einordnung arbeiten einige Autoren die phänotypischen Ähnlichkeiten heraus und geben gleitende morphologische Übergänge zwischen den einzelnen Sippen an (CLEVE-EULER 1951; KLEE & STEINBERG 1987; HÅKANSSON 1990, 1991 [in KRAMMER & BERTALOT], 1993; SCHMIDT 1993).

Die Anwendung einer schonenden Präparationsmethode bewirkt weitestgehend, daß im Dauerpräparat die beiden Theken einer Frustel nicht auseinanderfallen (siehe Kapitel 2. 4.). Mit der Auswertung von Frusteln kann dann die Variabilität der verkieselten Schalenstruktur innerhalb einer jeden Zelle (siehe Kapitel 3. 2. 1. 1.), innerhalb einer Population sowie zwischen Populationen untersucht werden. Für die Untersuchung der oben genannten *Cyclotella*-Taxa wurden 113 Frusteln aus dem Kiessee, dem Rosinsee, dem Parsteiner See und dem Großer Plagesee stochastisch ausgewählt. Eine Datenmatrix zur phänotypischen Beschreibung dieser 226 Theken wurde unter Einbeziehung von 11 morphologischen Schalenmerkmalen erstellt. Frusteln mit Theken ähnlicher bzw. verschieden geprägter Schalenoberflächen werden iso- bzw. heterovalvar genannt. Nach den Ergebnissen der Hierarchischen Clusteranalyse sind 55 % der untersuchten 113 Frusteln heterovalvar. Die Ergebnisse der Hauptkomponentenanalyse zeigen, daß sich die relativen Längen der Randstreifen (Rippen) (Länge bezogen auf Valvendurchmesser) in Abhängigkeit vom Valvendurchmesser ändern. Die Anordnung der Vertiefungen im Zentralfeld, welche im LM als mehr oder weniger grobe Punkte erkennbar sind, und der Grad der radialen Wellung der Schalenoberfläche variieren dagegen unabhängig vom Valvendurchmesser. Aus der Existenz von verschiedenen Schalen-„Mustern“ („*C. kuetzingiana* var. *radiosa*“-Muster, „*C. kuetzingiana* var. *planetophora*“-Muster, „*C. ocellata*“-Muster, „*C. comensis*“-Muster) innerhalb einer Frustel wird gefolgert, daß diese diversen schalenmorphologischen Strukturen wenig oder keine taxonomische Bedeutung haben. Unter Beachtung der Einschränkung, daß ausschließlich lichtmikroskopische Untersuchungen durchgeführt wurden, wird abgeleitet, alle 226 untersuchten Theken einer einzigen Art zuzuordnen, welche eine weite Spanne der phänotypischen Plastizität in der verkieselten Zellwandstruktur zeigt (Tafel VII: Abbn. 1-6). Die unterschiedliche Variationsbreite der verkieselten Schalenstruktur in den untersuchten Populationen steht nicht im Widerspruch zur Vereinigung dieser Schalenmuster auf der Ebene der Artbeschreibung (ausführliche Darstellung dieser Ergebnisse in TEUBNER 1995).

Bei der quantitativen Phytoplanktonanalyse wurden *C. kuetzingiana* var. *radiosa*, *C. kuetzingiana* var. *planetophora*, *C. ocellata* und *C. comensis* als Gruppe zusammengefaßt und mit dem Arbeitsnamen *C. kuetzingiana/ocellata/comensis* bezeichnet.

Weitere beobachtete, im LM meist leicht erkennbare, einzellige zentrische Diatomeenarten sind der Vollständigkeit halber abgebildet: *Cyclostephanos dubius* (Tafel VI: Abbn. 9, 10), *C. invisitatus* (Tafel VI: Abb. 11), *Actinocyclus normanii* (Tafel IV: Abb. 8), *Thalassiosira lacustris* (Tafel IV: Abb. 9) und *Thalassiosira weissflogii* (Tafel IV: Abbn. 10, 11).

Pennales

Tafel VI: Abbn. 12-15

Tabellaria Ehrenb.

Obwohl die Gattung *Tabellaria* nur wenige Arten umfaßt, zeigt sich eine bemerkenswerte Variabilität der Schalenstrukturen (u. a. LANGE-BERTALOT 1988, DOKULIL & KOFLER 1994). Selbst bei regional variierenden „Formenschwärmen“ einzelner Arten ist die Merkmalsausprägung nicht konstant, woraus sich die Kompliziertheit der Abgrenzung von *Tabellaria*-Arten ergibt. Sämtliche *Tabellaria*-Schalen aus den hier untersuchten Gewässern werden dem *T. flocculosa*-Sippenkomplex zugeordnet. Zutreffende Artmerkmale in Schalenansicht sind: die breitere Auftreibung der Schalenmitte gegenüber der an den Schalenenden, eine stärkere Erweiterung der Axialarea in der Schalenmitte sowie sichtbare Dörnchen am Schalenrand (Tafel VI: Abb. 13). Die Zellen können sternförmige Kolonien („Pelagialform“, Tafel VI: Abb. 14) oder zickzack-kettenförmige Kolonien („Litoralform“, Tafel VI: Abb. 15) bilden.

Fragilaria Lyngbe

Herkömmlich werden die Zellen der Gattung *Synedra* als einzellige Formen und die der Gattung *Fragilaria* als koloniebildende Formen beschrieben. Dieses einzige Differentialmerkmal zwischen beiden Gattungen, nämlich die Potenz zur Zellverkettung, wurde jedoch als unzulänglich erkannt. So trifft weder das Fehlen von „linking spines“ auf alle *Synedra*-Arten, noch das Vorhandensein dieser Dornen auf alle *Fragilaria*-Arten zu (LANGE-BERTALOT 1980, 1991 in KRAMMER & LANGE-BERTALOT). Nach LANGE-BERTALOT gibt es mit der herkömmlichen Gattungsuntergliederung z. T. Dopplungen in den Artbeschreibungen („Doppelgänger“). Für eine Reihe von Arten konnte gezeigt werden, daß sie einerseits als einzellige Form in der Gattung *Synedra* und andererseits als koloniebildende Form in der Gattung *Fragilaria* beschrieben worden sind (Beispiel für identische Schalenstruktur bei einzelliger *Synedra ulna* und koloniebildender *Fragilaria ungeriana*). Deshalb rechtfertigt LANGE-BERTALOT den Wegfall der Gattung *Synedra*. Demnach werden mehrere Taxa aus dieser Gattung in die Gattung *Fragilaria* überführt, wie beispielsweise: *Fragilaria ulna* var. *ulna* (Syn.: *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenberg) und *Fragilaria ulna* var. *acus* (Syn.: *Synedra acus* Kützinger).

Dagegen hält ROUND (1991) mit der Suche nach evidenten Gattungsdifferentialmerkmalen an einer Untergliederung in *Synedra* und *Fragilaria* fest und plädiert darüber hinaus für neue, eigenständige Gattungen innerhalb dieses Komplexes. Es wird die Anordnung der Striae bewertet, die für die untersuchten *Synedra*-Arten bzw. *Fragilaria*-Arten jeweils stabil ausgeprägt ist. So ist für die *Synedra*-Arten bis auf wenige Störstellen eine gleichmäßig gegenüberliegende Anordnung der Striae auffällig. Dagegen liegen bei den *Fragilaria*-Arten die Striae gleichmäßig alternierend angeordnet. Die fundamentale Tragweite dieser zwei Varianten der Anordnung der Striae wird auch dahingehend diskutiert, daß sie auf verschiedene Strategien bei der Zellwandmorphogenese zurückzuführen sein könnten. Es wird angenom

men, daß bei *Fragilaria* die Rippen alternativ wachsen, d. h. der Algorithmus der Rippenbildung („swings from side to side“) ein sukzessives Entstehen aufeinanderfolgender Rippen bedingt. Dagegen sollen bei *Synedra* die sich gegenüberliegenden Rippen jeweils simultan, also zeitlich parallel, angelegt werden.

Bei den hier vorliegenden Untersuchungen wird der Namensgebung der *Fragilaria/Synedra*-Arten nach LANGE-BERTALOT gefolgt.

Insbesondere im Frühjahrsplankton der nährstoffreicheren, untersuchten Gewässer, nämlich im Großen Müggelsee und Langen See, konnte neben *Fragilaria ulna* var. *acus* häufig *Nitzschia acicularis* beobachtet werden. Bei der Planktonzählroutine im LM ist *N. acicularis* aufgrund der spindelförmigen Zellform in Schalenansicht auch unpräpariert selbst bei geringer Vergrößerung in der Lugolprobe leicht erkennbar (Tafel VI: Abb. 12). Die hyalin verkieselten Schalen dieser Art bleiben meist nur bei einer schonenden Präparationsweise erhalten (siehe Kapitel 2. 4.). Daher eignet sich diese Art als Marker, der darauf hinweist, daß mit großer Wahrscheinlichkeit auch weitere schwach verkieselte Strukturen, insbesondere Schalen nanoplanktischer, einzelliger zentrischer Diatomeenarten, nach der Präparation auf dem Dauerpräparat erhalten geblieben sind. Das Wiederfinden des gesamten Schalengrößenspektrums aller Diatomeenarten einer Planktonprobe ist von wesentlicher Bedeutung bei der quantitativen Auswertung der Dauerpräparate.

Cryptophyceae

Tafel IX: Abbn. 2-4.

Über klassische LM-Beobachtungen hinausreichend (ANTON & DUTHIE 1981), stützt sich heute die Systematik der Cryptophyceae auf elektronenmikroskopische Beobachtungen, wie z. B. das Vorhandensein einer plattenförmigen, charakteristischen Zelloberflächenstruktur, die eindeutige Artdiagnosen zulassen (SANTORE 1984; KUGRENS & LEE 1986; HILL 1991). Daraus leitet sich auch eine begrenzte Aussagefähigkeit der hier vorliegenden LM-Phytoplanktonanalyse ab.

Zu den einfach bestimmbaren Arten zählt *Cryptomonas rostratiformis* (Syn.: *C. curvata* Ehrenb. nach SKUJA in HEYNIG 1976; KLAVERNESS 1985). Da für *C. ovata* und *C. erosa* eine Identität nicht ausgeschlossen werden kann, ist es praktikabel, das Biovolumen dieser morphologisch sehr ähnlichen Taxa summativ in einer *C. ovata/erosa*-Gruppe anzugeben (Tafel IX: Abb. 4, Artengruppe siehe LENHART und SOMMER in KRIENITZ 1992).

WILLÉN et al. (1980) konnten zeigen, daß *Rhodomonas lacustris* (Tafel IX: Abb. 2) (Syn.: *R. minuta* Skuja, JAVORNICKY 1976) und *R. lens* (Tafel IX: Abb. 3) morphologisch distinkte Arten sind, die sich auch hinsichtlich ihrer Planktondynamik unterscheiden.

Bei den *Rhodomonas*- (LUND 1962) und *Cryptomonas*-Arten sind die charakteristischen Trichocysten, die den Schlund auskleiden, meist im LM erkennbar (Tafel IX: Abbn. 2, 4). Damit lassen sich bei der quantitativen Phytoplanktonanalyse im LM die Vertreter der Cryptophyceae gut als Gruppe gegenüber heterokonten Algen anderer Klassen abgrenzen (Chrysophyceae Tafel IX: Abb. 1).

Chlorophyta sensu lato

Tafel IX: Abbn. 5-11, X.

Für die quantitative Phytoplanktonanalyse der untersuchten Gewässer wird das Biovolumen von den **Prasinophyceae**, **Chlorophyceae**, **Conjugatophyceae**, **Chlamydomphyceae** und **Euglenophyceae** zu der Gruppe der **Chlorophyta s. l.** zusammengefaßt (System der Algenklassen nach KRAMMER & LANGE- BERTALOT 1991).

Neben Arten der Chlamydomphyceae (Tafel IX: Abb. 5: *Carteria pseudomultifilis*, Abb. 6: *Chlamydomonas metapyrenigera*) und Prasinophyceae (Tafel IX: Abb. 7 *Tetraselmis* spec. Stein) mit begeißelten vegetativen Zellen wurde eine Vielzahl von coccalen Chlorophyceae-Arten (Tafel IX: Abbn. 8-11, Tafel X: Abbn. 1-7) beobachtet (siehe Tabelle III S. 68-71). Die Bestimmung der Biovolumina der Arten der Chlorococcales ist z. T. recht zeitaufwendig. Artdiagnostische Merkmale, wie z. B. Chloroplastenstruktur, Pyrenoide, Mutterzellwandreste, Basalanker, sind bei geringer Vergrößerung nur schwer im LM erkennbar. Dennoch muß zum Auszählen der Planktonproben immer wieder auf größere Gesichtsfelder, d. h. auf eine geringere LM-Vergrößerung, umgeschaltet werden, um großflächig unabhängige Zählereignisse erfassen zu können. Im Kießsee koexistieren eine Reihe chlorococcaler Arten, die bei niedriger LM-Vergrößerung schwer unterscheidbar sind (z. B. *Quadricoccus ellipticus*, *Tetrachlorella alternans*, *Oocystis lacustris* und *Lagerheimia subsalsa*; *Monoraphidium contortum* und *Ankyra*-Arten; *Crucigeniella rectangularis* und *Willea wilhelmii*).

Charakteristisch für die coccale Organisationsstufe ist die Autosporenbildung (asexuelle Fortpflanzung), bei der sich der Protoplast der Mutterzelle in unbewegliche Teilstücke, die Autosporen, zerlegt (ETTL 1980). Die Reste der Mutterzellwand bleiben bei einer Reihe chlorococcaler Arten in ihrer ursprünglichen Gestalt vollständig (z. B. *Coenochloris hindakii* Tafel X: Abb. 4, *Quadricoccus ellipticus* Tafel X: Abb. 7) oder in Teilstücken erhalten (z. B. *Quadrigula* spec. Tafel X: Abb. 5) bzw. verschleimen zu Gallertsträngen (z. B. *Dictyosphaerium pulchellum*, Tafel X: Abb. 3). Der Verbleib der Mutterzellwandreste wird als taxonomisch relevantes Merkmal gewertet.

Für die heteropolaren Zellen der *Ankyra*-Arten ist ein zweiteiliger Anker charakteristisch. Die beiden Ankerzipfel liegen sichtbar gegenüber (*Ankyra judayi*, Tafel IX: Abb. 10) bzw. überdecken sich durch Überlagerung (*A. lanceolata*, Tafel IX: Abb. 9) (KRIENITZ et al. 1990).

3. 2. 1. 2. 2. Gewässerspezifische Verbreitung der Algentaxa

Die Artenliste (Tabelle III S. 68-71) zeigt, daß ein breites Artenspektrum verschiedener Algenklassen in allen 11 untersuchten Gewässern vorhanden ist. Die Chlorophyta s. l. sind dabei mit über 90 Taxa die artenreichste Algenklasse. Trotz dieser sehr hohen Zahl von Taxa (n) gegenüber den Cyanophyceae (n=42) und Bacillariophyceae (n=44) erreichen die Chlorophyta s. l. in der Mehrzahl der 11 Gewässer nur verhältnismäßig geringe Biovolumenanteile gegenüber den anderen beiden Algenklassen (Kapitel 3. 2. 2. 1.).

Für mehrere Arten der Bacillariophyceae, wie *Actinocyclus normanii*, *Cyclostephanos dubius*, *Cyclotella radiosa*, *C. kuetzingiana/ocellata/comensis*, *Stephanodiscus hantzschii*, *S. neoastraea*, *S. minutulus/parvus* und *Fragilaria ulna*, konnte ein Vorkommen über das gesamte untersuchte Gewässerspektrum erfaßt werden. Ein eher gewässerspezifisches Vorkommen wurde dagegen bei nur wenigen Arten der Bacillariophyceae festgestellt. So konnte beispielsweise *Thalassiosira weissflogii* allein an den mineralreichen Gewässerstandorten, in dem Flakensee und seinen beiden Zuflüssen, beobachtet werden.

Bei mehreren Cyanophyceae-Arten konnte wiederum ein Vorkommen in der Mehrzahl der 11 Gewässer nachgewiesen werden: z. B. *Microcystis aeruginosa*, *Limnothrix redekei*, *Planktolyngbya subtilis*, *Planktothrix agardhii*, *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae* und *A. gracile*. Auch zeigt sich

hier analog zu den Bacillariophyceae, daß Arten der Cyanophyceae, die allein in einem Gewässer (z. B. *Aphanizomenon skujae*) oder nur in wenigen der 11 Gewässer beobachtet wurden, seltener in der Artenliste vertreten sind.

Da das Spektrum der Arten der Cyanophyceae und Bacillariophyceae in den hier untersuchten Gewässern recht ähnlich ist, ist eine deutliche Differenzierung der Phytoplanktonzusammensetzung anhand dieser Arten erst mit dem Vergleich der Biovolumina zu erwarten (siehe insbesondere Kapitel 3. 2. 2. 2. und 3. 2. 2. 3.).

Überblick

Der Limnologe begegnet bei der Untersuchung von Phytoplanktonproben einer Vielzahl verschiedenster Taxa und wird dabei mit Problemen der Morphogenese, der Zellzyklen und der Merkmalsvariabilität der Organismen aus unterschiedlichen Gewässertypen/Lebensräumen konfrontiert. Die vorgestellten Beispiele, insbesondere der *Cyclotella*-Taxa, machen die Bedeutung einer differenzierten Algendiagnostik für die Limnologie deutlich, da nur nach Klärung der Merkmalsvariabilitäten/Merkmalausprägungen aussagekräftige Phytoplankton-Quantifizierungen möglich erscheinen (siehe u. a. mikroskopische Abbildungen der Tafeln I-X S. 47-67).

Über den Untersuchungszeitraum wurden in den 11 Gewässern ca. 200 Taxa beobachtet (Tabelle III S. 68-71). Tabelle III zeigt, daß ein ähnliches Artenspektrum der Cyanophyceae und Bacillariophyceae in allen untersuchten Gewässern vorliegt. Folglich ist eine deutliche Differenzierung der Zusammensetzung des Cyanophyceae- und Bacillariophyceae-Planktons erst mit dem Vergleich der Biovolumenanteile einzelner Arten bzw. Artengruppen zu erwarten (siehe Kapitel 3. 2. 2. 2. und 3. 2. 2. 3.).

Wegen des begrenzten Auflösungsvermögens im LM ist bei der quantitativen Phytoplanktonanalyse die Identifikation zahlreicher Arten schwierig bis unmöglich. Daher muß mehrfach der Kompromiß eingegangen werden, gleichzeitig auftretende, morphologisch sehr ähnliche Algen in Artengruppen zusammenzufassen.

Publikationen zu den hier vorliegenden Untersuchungen: TEUBNER 1995, 1996.

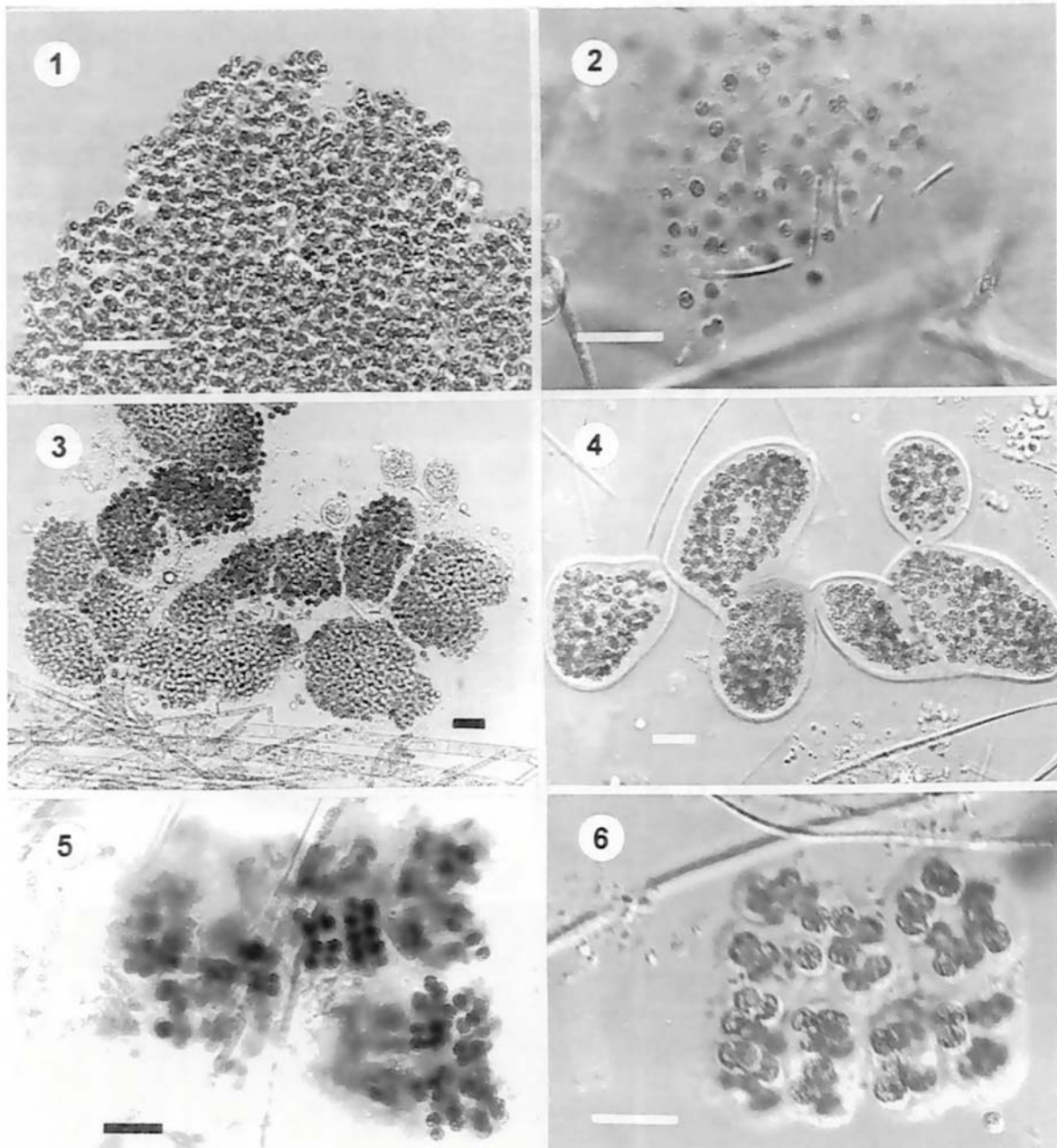
Tafel I-X: Mikroskopische Abbildungen

Ausgewählte Taxa der 11 Gewässer

Tafel I: Chroococcale Cyanophyceae.

Alle Maßstäbe=20 µm. Abbn. 1-6. LM, DIK, Formaldehydfixierte Proben.

Abbn. 1-6. *Microcystis*-Arten. Abbn. 1, 2. *M. aeruginosa*. Abb. 2. Zerfließende Gallerte grenzt die Kolonie nicht klar ab, in der Gallerte Trichome endophytischer Algen (*Pseudanabaena mucicola*). Abb. 3. Zerklüftete Kolonieform bei *M. novacekii*. Abb. 4. *M. wesenbergii* mit stark lichtbrechender Gallerte, die die Kolonie gleichmäßig umrandend abgrenzt. Abbn. 5, 6. *M. viridis* mit deutlich dreidimensionaler, paketartiger Zellanordnung. Abb. 6. Lichtbrechende Gallerte liegt dicht den Zellen an und erscheint somit, projiziert auf eine Ebene, wellig. (Abbn. 1-3, 5, 6. Großer Müggelsee, Abb. 4. Krumme Lake.)



Tafel II: Chroococcale Cyanophyceae.

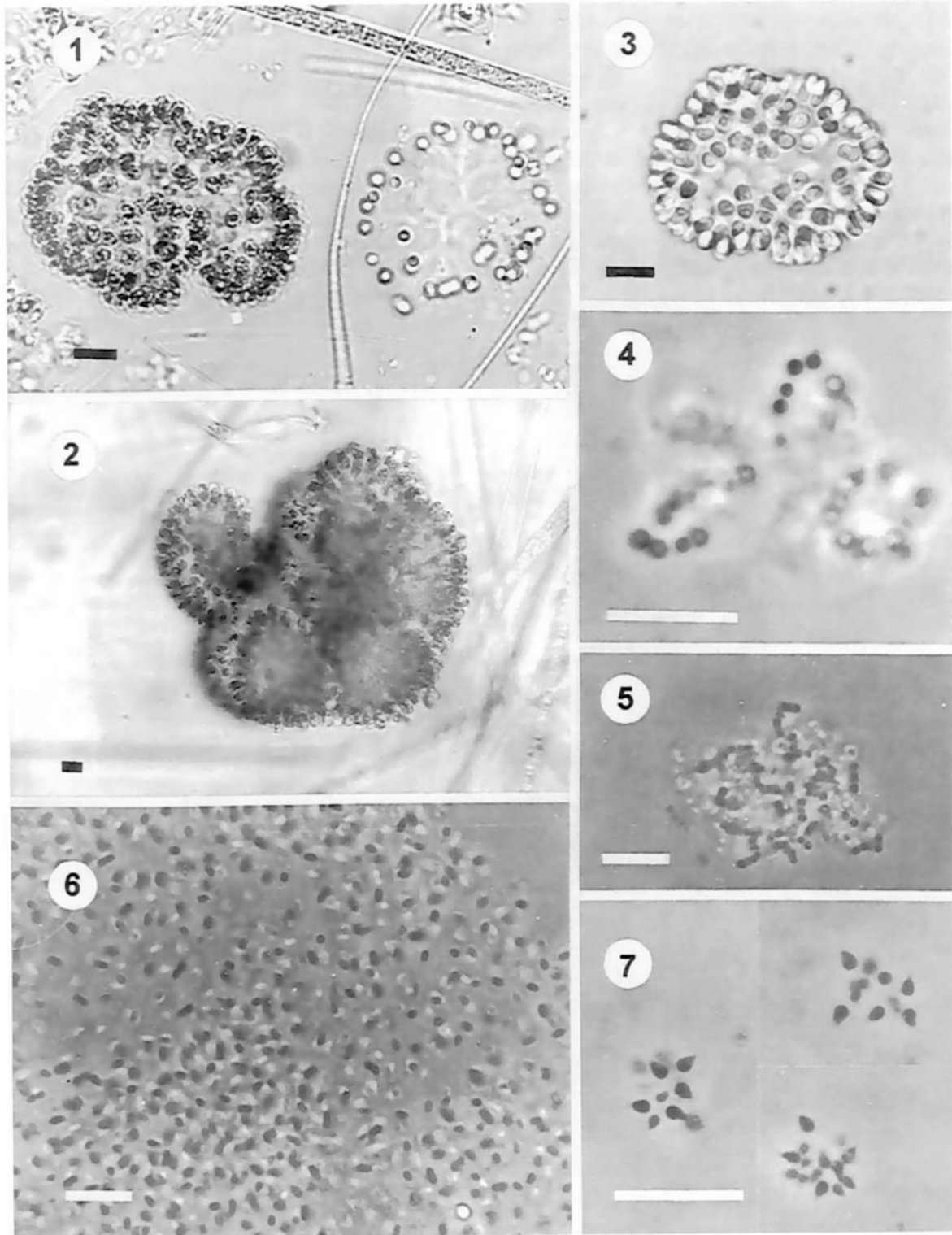
Alle Maßstäbe=10 µm. Abbn. 1-7. LM. Abbn. 4, 7. Phasenkontrast, DIK, Formaldehydfixierte Proben.

Abb. 1-3. *Gomphosphaeria*-Komplex. Abb. 1. *Woronichinia naegeliana* (links), Kolonie mit kompakt liegenden ellipsoiden Zellen mit Gasvesikeln; *Snowella litoralis* (rechts), die lockere Kolonieform kugelförmiger Zellen ermöglicht den Blick auf die Gallertstiele. Abb. 2. *W. naegeliana*, zusammengelagerte Kolonien. Abb. 3. *Woronichinia compacta*, kompakte Kolonien ellipsoider Zellen ohne Gasvesikel.

Abbn. 4, 5. *Cyanodictyon imperfectum* verschiedener Habitats. Die kugelförmigen Zellen liegen paarweise in Gallertscheiden zu Filamenten angeordnet.

Abb. 6. *Aphanothece clathrata*. Abb. 7. *Marssoniella* spec.

(Abbn. 1, 3, 4. Krumme Lake, Abb. 2. Großer Müggelsee, Abbn. 5, 6. Rosinsee, Abb. 7. Kiessee.)



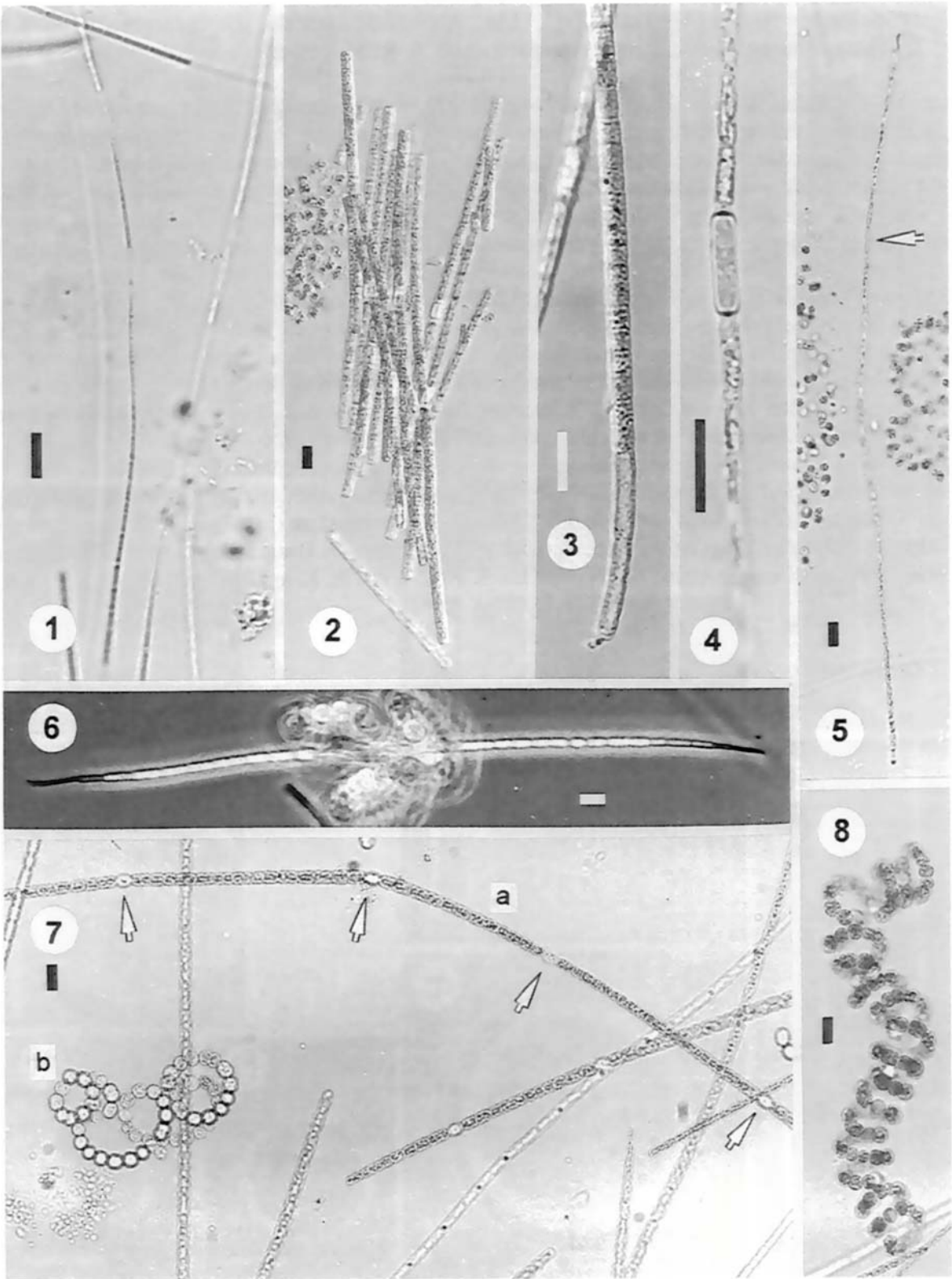
Tafel III: Trichale Cyanophyceae.

Alle Maßstäbe=10 µm. Abbn. 1-8. LM. Abbn. 1-5. DIK. Abb. 6. Phasenkontrast. Abbn. 7, 8. Hellfeld. Abbn. 1-8. Formaldehydfixierte Proben.

Abb. 1. Oscillatoriales, *Planktolyngbya subtilis*.

Abbn. 2-8. Nostocales. Abbn. 2, 3. *Aphanizomenon flos-aquae*. Abb. 2. Trichombündel. Meist nur eine Heterocyste je Trichom. Abb. 3. Einzelnes, aus einem Trichombündel herausgelöstes Trichom mit hyalinem Zellende (unteres Trichomende im Bild). Abbn. 4, 5. *A. skujae*. Abb. 4. Bildausschnitt des Trichoms mit Heterocyste (siehe Pfeil in Abb. 5). Abb. 6. *A. issatschenkoi*. Trichom mit stark verschmälerten Endzellen. Abb. 7. *A. gracile* (a), Trichomabschnitt mit 4 Heterocysten (siehe Pfeile); *Anabaena flos-aquae* (b). Abb. 8. *A. spiroides*.

(Abbn. 1, 4, 5. Krumme Lake, Abbn. 2, 3. Großer Müggelsee, Abbn. 6-8. Langer See.)



Tafel IV: Zentrische Diatomeen (Bacillariophyceae).

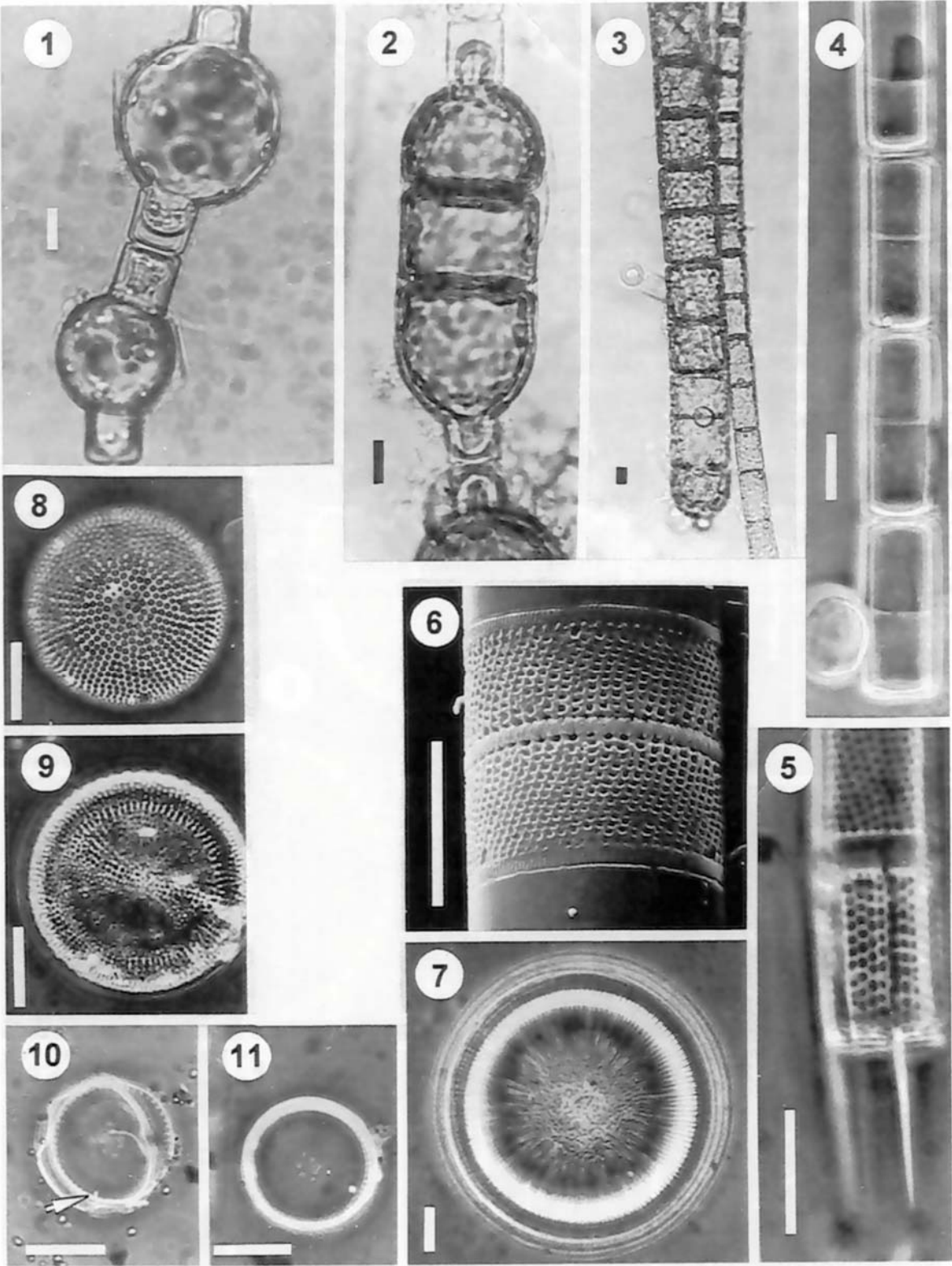
Alle Maßstäbe=10 µm. Abbn. 1-5, 7-11. LM. Abbn. 1-3. Hellfeld, Lebendprobe. Abbn. 4, 5, 7-11. Phasenkontrast, Kieselalgendauerpräparat. Abb. 6. REM, präparierte Kieselalgen.

Abbn. 1-7. *Melosira* sensu lato. Abbn. 1-4. *Melosira varians*. Beispiel der innerartlichen starken Streuung der Trichombreiten innerhalb einer Planktonprobe infolge abrupter Vergrößerung der Valvendurchmesser mit der generativen Fortpflanzung. Abb. 1. Kugelförmige Auxosporen, Protoplast nur teilweise aus den Mutterzellen-Schalen zurückgezogen (Auxospore mit „Nabel“). Abb. 2. Nach Teilung der kugelförmigen Initialzelle werden hemisphärische und folgend zylinderförmige vegetative Zellen gebildet, deren großer Valvendurchmesser aus dem Kugeldurchmesser der Initialzelle resultiert. Abb. 3. Vegetative Zellen, welche unmittelbar an die Teilung der Initialzellen anschließen (breites Trichom links, Terminalzelle mit hemisphärischer Initialvalve), haben ein kleineres Oberfläche/Volumen-Verhältnis als die Zellen von Trichomen nach langer vegetativer Zellteilungsfolge (schmales Trichom rechts). Abb. 4. Mantelfläche ohne grobe Areolierung. Abb. 5. *Aulacoseira granulata*. Endzelle mit langen Verbindungsdornen und parallel zur Pervalvarachse angeordneten großen Areolen. Abb. 6. *A. ambigua*, die für diese Art charakteristische bifide Form der Verbindungsdornen ist nur im REM erkennbar. Abb. 7. *Ellerbeckia arenaria*.

Abbn. 8-11. Einzellige zentrische Diatomeen. Abb. 8. *Actinocyclus normanii*.

Abb. 9. *Thalassiosira lacustris*. Abbn. 10, 11. *T. weissflogii*. Abb. 10. Fokus auf Lippenfortsatz am Schalenrand (Pfeil). Abb. 11. Fokus auf zentrale Stützenfortsätze (helle Punkte in Schalenmitte).

(Abbn. 1-5. Großer Müggelsee, Abb. 6. Krumme Lake, Abb. 7. Langer See, Abb. 8. Großer Plagesee, Abb. 9. Kiessee, Abbn. 10, 11. Flakensee. Abb. 6 von R. Klee.)



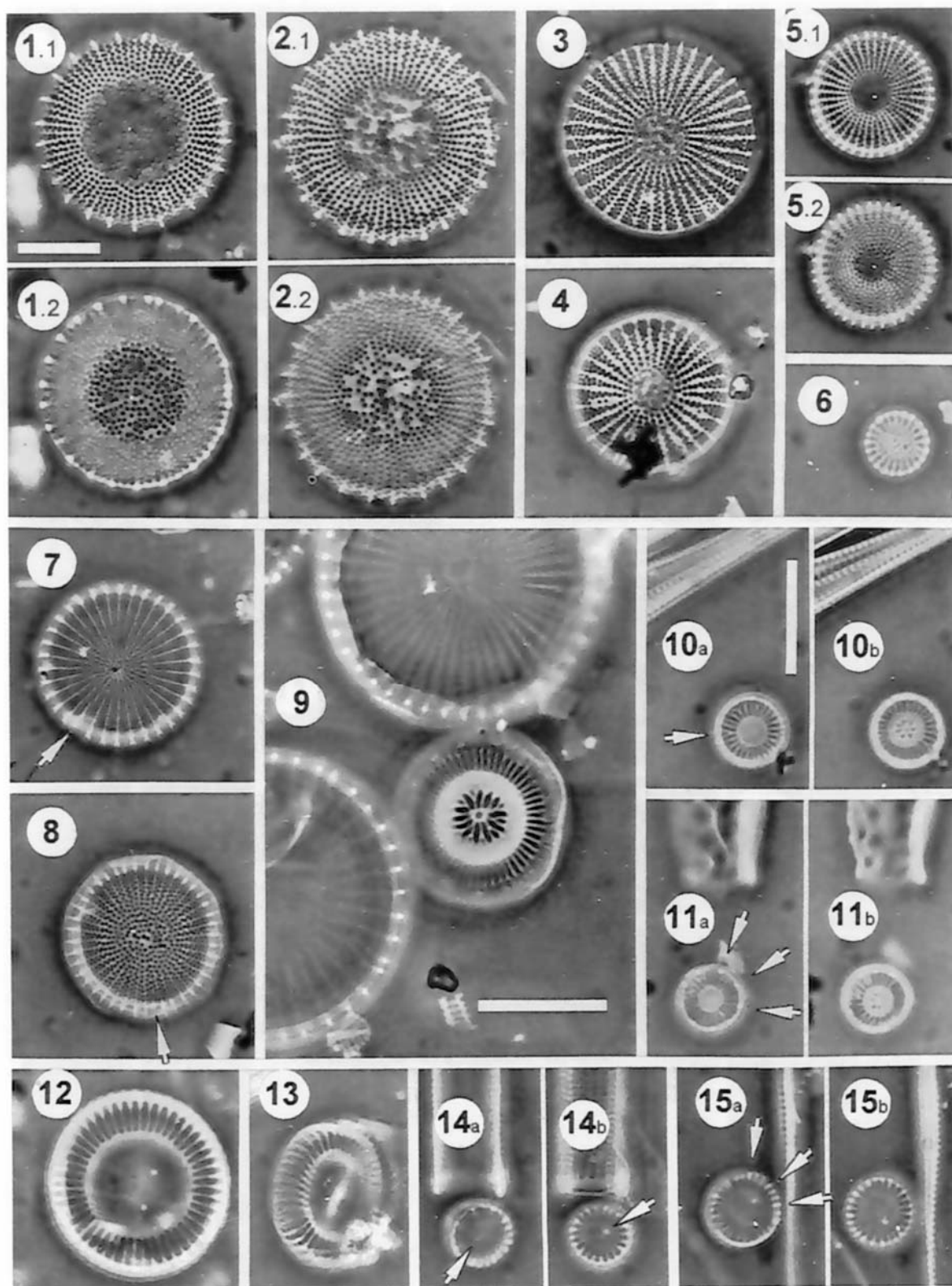
Tafel V: Einzellige zentrische Diatomeen (Bacillariophyceae).

Alle Maßstäbe=10 µm, in Abb. 1.1 für Abbn. 1-5, 7, 8, 12, 13, in Abb. 10 a für Abbn. 10, 11, 14, 15. Abbn. 1-15. LM, Phasenkontrast, Kieselalgendauerpräparate.

Abbn. 1-9. *Stephanodiscus*-Arten. Abbn. 1, 2. *S. neoastraea*. Fokussierung auf den marginalen (.1) und zentralen Bereich (.2) der konzentrisch gewellten Schalenflächen. Schalen mit unregelmäßiger Anordnung der Randdornen und variabler Anordnung der Areolen im Zentralfeld. Abbn. 3-5. Konzentrisch gewellte *Stephanodiscus*-Arten mit regelmäßiger Anordnung der Randdornen. Abbn. 3, 4. *S. medius*. Im marginalen Bereich 2-3 (-4) Areolenreihen (Faszikel) zwischen den Interfaszikeln. Abb. 5. *S. alpinus*. Verschiedene Fokussierung. Abb. 5.1. Im marginalen Bereich 2 Areolenreihen je Faszikel. Regelmäßig je Interfaszikel ein Randdorn. Abb. 6. *S. minutulus/parvus* mit zentralem Stützenfortsatz. Abbn. 7-9. *S. hantzschii*. Unterschiedlich stark verkieselte, grob und fein strukturierte Schalen. Abbn. 7, 9. Schalenzentrum mit Anulus (sichtbarer Ring). Abbn. 7, 8. Der marginale Lippenfortsatz (siehe Pfeile) unterbricht die regelmäßige Anordnung der Randdornen.

Abbn. 9-16. *Cyclotella*-Arten. Abb. 9. *C. stelligera* (Bildmitte) mit ausgeprägt sternförmigem Mittelfeld und unverzweigten Randstreifen (Interstriae). Abbn. 10-11. *C. pseudostelligera*-Frusteln. Theken einer Zelle mit strukturlosem (a) und sternförmigem Zentralfeld (b). Theken mit unregelmäßig verzweigten Striae (siehe Pfeil in Abb. 10) und hellen Punkten am Schalenrand (röhrenförmige Öffnungen der marginalen Stützenfortsätze, Pfeile in Abb. 11). Abbn. 12, 13. *C. meneghiniana*. Abb. 13. Schalen deutlich tangential gewellt. Abbn. 14, 15. *C. atomus*-Frusteln. Theke (a) und Theke (b) mit versetzt angeordneten zentralen Stützenfortsätzen.

(Abbn. 1, 7, 14. Flakensee, Abb. 2. Großer Müggelsee, Abbn. 3, 4. Rosinsee, Abbn. 5, 6, 13. Flakensee-Zufluß Woltersdorfer Schleuse, Abb. 7. Krumme Lake, Abbn. 8, 9, 15. Müggelsee-Zufluß, Abbn. 10, 11, 12. Parsteiner See.)



Tafel VI: Einzellige zentrische und pennate Diatomeen (Bacillariophyceae).

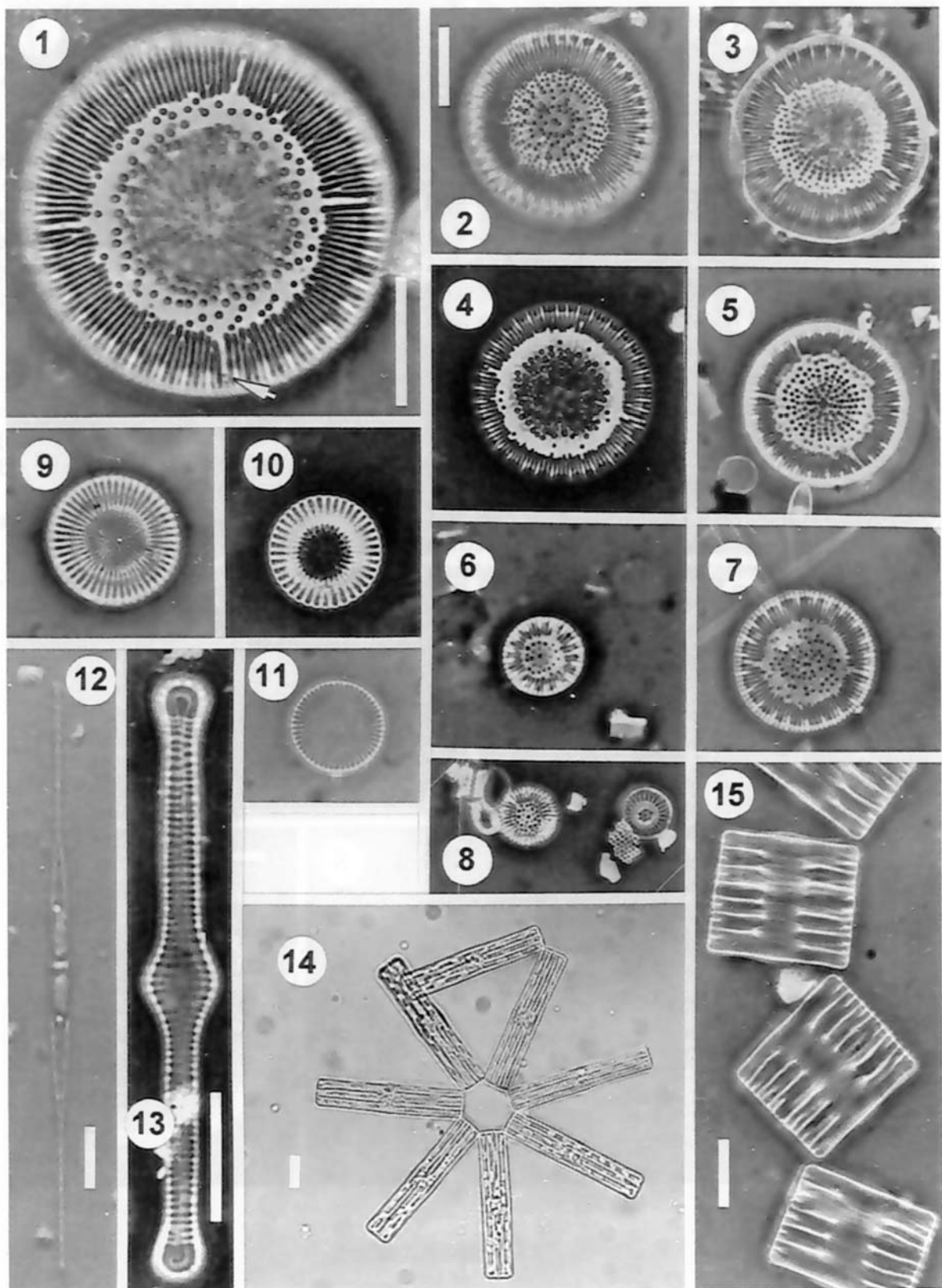
Alle Maßstäbe=10 µm, in Abb. 2 für Abbn. 2-11. Abbn. 1-15. LM. Abbn. 1-11, 13, 15. Phasenkontrast, Kieselalgendauerpräparate. Abbn. 12, 14. Hellfeld, Lebendprobe.

Abbn. 1-11. Einzellige zentrische Diatomeen. Abbn. 1-8. *Cyclotella radiosa* aus verschiedenen Habitaten. Am Schalenrand jeder 3.-4.(5.) Rippe liegt eine Schattenlinie (verstärkte Rippen, die jeweils einen Stützenfortsatz tragen; hier als helle Linien sichtbar). Anzahl verkürzter Randstreifen (Striae) je Schalenfläche variiert. Meist ist jeweils am Ende eines verkürzten Stria die Öffnung eines Lippenfortsatzes erkennbar (siehe Pfeil in Abb. 1). Abb. 8. *C. radiosa* (links) nur wenig größer als *C. pseudostelligera*. Abbn. 9-11. *Cyclostephanos*-Arten, 10. *Cst. dubius* mit feiner bzw. grober Areolierung. Abb. 11. *Cst. invisitatus*. Anulus in Schalenmitte.

Abbn. 12-15. Pennales. Abb. 12. *Nitzschia acicularis*. Abbn. 13-15. *Tabellaria flocculosa*.

Abb. 13. Schalenansicht zeigt stärkere Erweiterung der Axialarea in der Schalenmitte sowie Dörnchen am Schalenrand (siehe oberer Bildteil). Abbn. 14, 15. Gürtelbandansichten. Abb. 14. Sternförmige Kolonie. Abb. 15. Zickzack-kettenförmige Kolonie.

(Abbn. 1, 3, 9. Müggelsee-Zufluß, Abbn. 2, 7, 12. Großer Müggelsee, Abb. 4. Rosinsee, Abb. 5. Flakensee, Abb. 6. Kiessee, Abb. 8. Krumme Lake, Abb. 10. Parsteiner See, Abb. 11. Flakensee-Zufluß, Abbn. 13, 14. Parsteiner See, Abb. 15. Großer Plagesee.)



Tafel VII: Einzellige Individuen mit - über Generationen - zeitlich getrennt gebildeten Zellwandstrukturen. Einzellige zentrische Diatomeen und Desmidiales.

Abb. 8. Maßstab=1 µm. Sonstige Maßstäbe=10 µm, in Abb. 1 a für Abbn. 1-6. Abbn. 1-6. LM, Phasenkontrast, Kieselalgendauerpräparate. Abbn. 7, 8. REM, Abb. 9. LM. Hellfeld, Formaldehydfixierte Probe.

Abbn. 1-6. *Cyclotella kuetzingiana/ocellata/comensis*. Beide Theken (a, b) einer jeweiligen Frustel werden gezeigt. Abb. 1a. „*C. kuetzingiana* var. *planetophora*“-Muster. Abb. 2b. „*C. „kuetz.* var. *radiosa*“-Muster. Abb. 3. „*C. ocellata*“-Muster. Abb. 5. „*C. comensis*“-Muster. Angesichts der morphologischen Unähnlichkeit zwischen zwei Theken (a, b) einer einzelnen Zelle einerseits und dem gleitenden Übergang zwischen ähnlichen Theken verschiedener Zellen (siehe Richtungspfeile) andererseits, lassen sich die unterschiedlichen Schalenmuster gedanklich miteinander verbinden. Letztes wird anhand folgender Serie von Thekenpaaren illustriert:

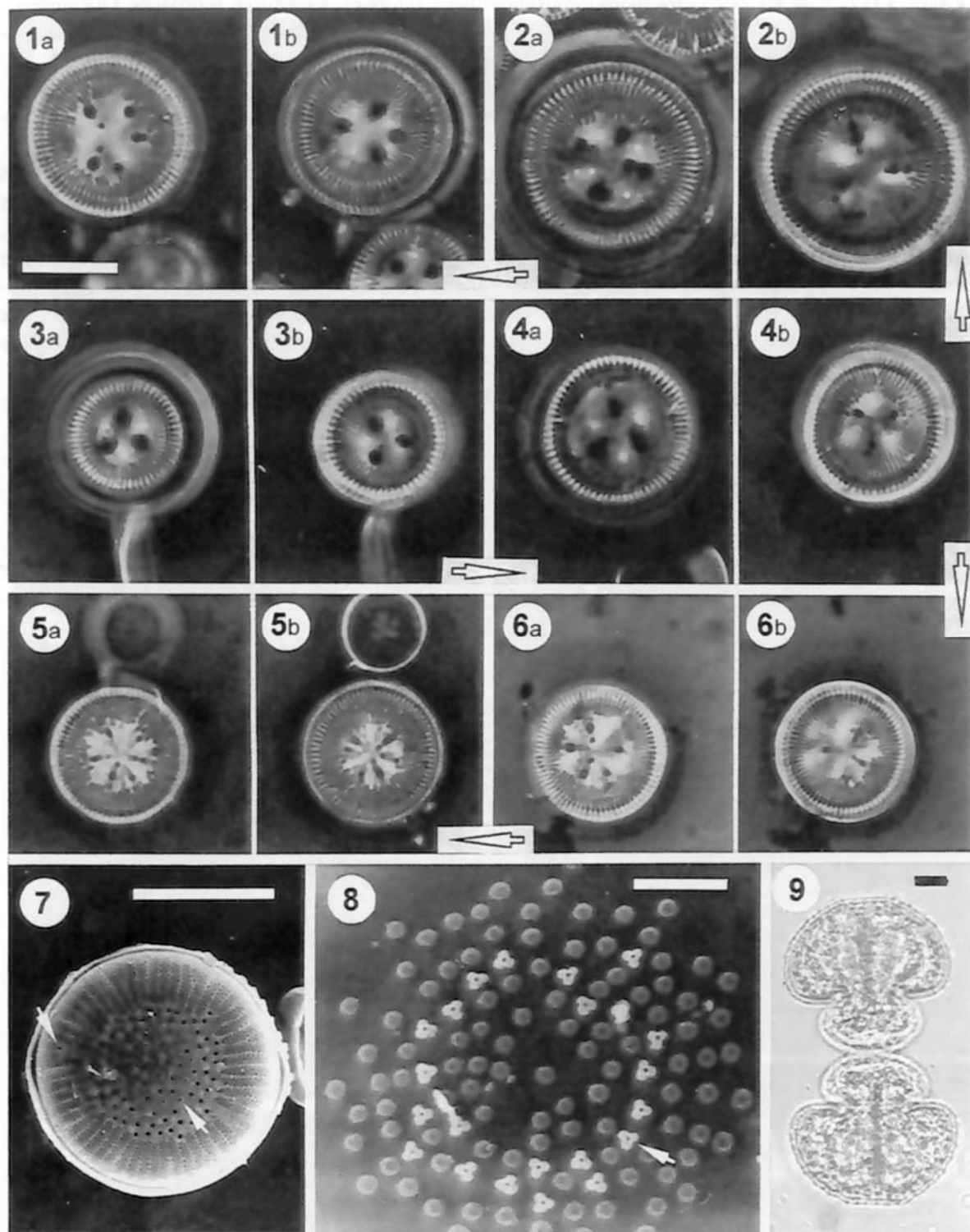
„*C. ocellata*“-Muster - „*C. kuetz.* var. *planetophora*“-Muster: 3a/b, 4a ⇒ 4b, 2b ⇒ 2a, 1b ⇒ 1a;

„*C. ocellata*“-Muster - „*C. comensis*“-Muster: 3a/b, 4a ⇒ 4b, 6 ⇒ 6a, 5b/a.

Abbn. 7, 8. *Cyclotella radiosa*. Abb. 7. Außenansicht der Schale, Lippenfortsatz am Ende verkürzter Striae (siehe Pfeil links), kleine Öffnungen der zentralen Stützenfortsätze (siehe Pfeil rechts) zwischen den Areolen. Abb. 8. Innenansicht des Schalenzentrums, zentrale Stützenfortsätze mit je 3 Satellitenporen sind deutlich erkennbar (siehe Pfeil).

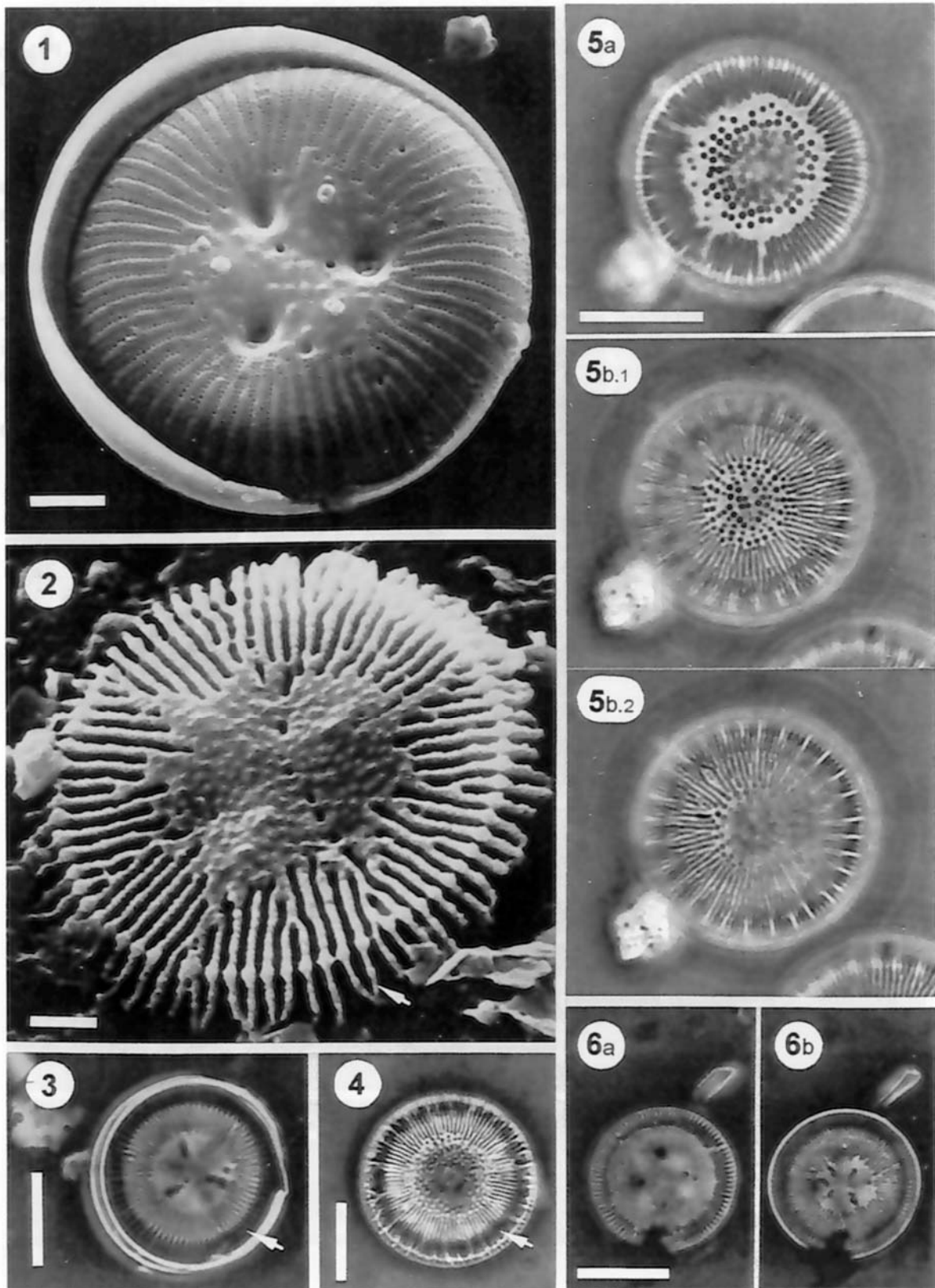
Abb. 9. *Cosmarium depressum*. Vegetative Zellteilung. Jeweils eine Mutterzellwandhälfte (große Halbzellen im Bild oben und unten) wird in die Tochterzelle übernommen.

(Abbn. 1, 2, 3. Kieselsee, Abb. 4. Rosinsee, Abbn. 5, 6. Parsteiner See, Abb. 7. Krumme Lake, Abb. 8. Großer Müggelsee, Abb. 9. Parsteiner See. Abb. 7 von R. Klee.)



Tafel VIII: Aspekte der Zellwandmorphogenese bei *Cyclotella*. Einzellige zentrische Diatomeen. Abbn. 1, 2. Maßstab=2 µm. Sonstige Maßstäbe=10 µm. Abbn. 1, 2. REM, Präparierte Kieselalgen. Abbn. 3-6. LM, Phasenkontrast, Kieselalgendauerpräparate.

Abbn. 1, 2. *C. kuetzingiana/ocellata/comensis*, Außenansicht der Schalen. Abb. 1. Vollständig verkieselte Theke. Am Schalenrand sind gebündelte Areolenreihen (Striae) und Interstriae sichtbar. Abb. 2. Unvollständig verkieselte Theke mit Rippen („basal siliceous layer“). Striae und Kammern (Alveolen, siehe Pfeil) fehlen. Abbn. 3, 4. Der dunkle Schalenrand (siehe Pfeile) verweist auf das Stadium der Kammerbildung. Abb. 3. *C. kuetzingiana/ocellata/comensis*. Abb. 4. *C. radiosa*. Abbn. 5, 6. Die beiden Theken (a, b) einer Frustel repräsentieren möglicherweise verschiedene Stadien der Zellwandmorphogenese. Innerhalb einer Frustel liegen den Theken (a) mit zum Schalenrand zurückgedrängten Streifen solche Theken (b) gegenüber, bei denen die Streifen weit in die Schalenmitte reichen. Abb. 5. *C. radiosa*. Abb. 5 b1,2. Fokusvarianten der Theke (b) zeigen die unregelmäßige Vergabung der Rippen. Abb. 6. *C. kuetzingiana/ocellata/comensis*. (Abbn. 1, 2, 4, 6. Rosinsee, Abb. 3. Kiessee, Abb. 5. Großer Müggelsee.)



Tafel IX: Abbn. 1-7. Begeißelte vegetative Zellen (Flagellaten) verschiedener Algenklassen.

Abbn. 8-11. Chlorococcales (Chlorophyceae).

Alle Maßstäbe=10 µm. Abbn. 1-11. LM. Abbn. 1, 3, 4, 5, 8, 11. DIK. Abbn. 2, 6, 9, 10. Phasenkontrast. Abb. 7. Hellfeld. Abbn. 1-4, 7. Lugolfixierte Proben. Abbn. 5, 6, 8-11. Formaldehydfixierte Proben.

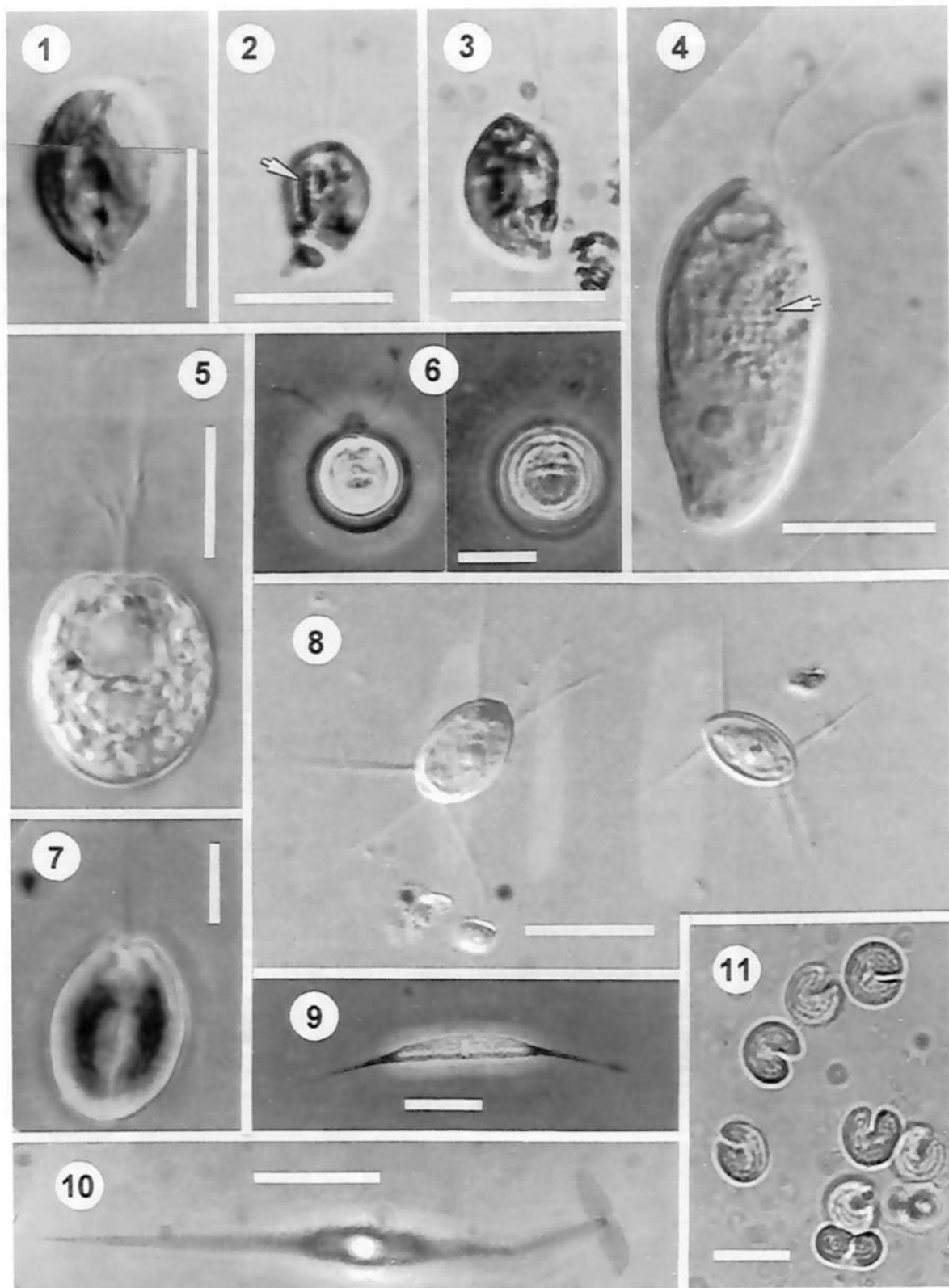
Abb. 1. Chrysophyceae, Einzelzelle einer *Synura*-Kolonie, *Synura* spec.

Abbn. 2-4. Cryptophyceae. Abb. 2. *Rhodomonas lacustris* mit sichtbaren Trichocysten (siehe Pfeil).

Abb. 3. *R. lens*. Abb. 4. *Cryptomonas erosa/ovata*, Trichocysten kleiden den Schlund aus (siehe Pfeil).

Abbn. 5, 6. Chlamydomyceae. Abb. 5. *Carteria pseudomultifilis*. Abb. 6. *Chlamydomonas metapyrenigera*, Fokussierung auf Papille und Geißeln (Bild links) bzw. auf die poröse Zellwand (Bild rechts). Abb. 7. Prasinophyceae, *Tetraselmis* spec. Abbn. 8-11. Chlorococcales. Abb. 8. *Lagerheimia subsalsa* mit geraden Borsten an den Zellpolen. Abb. 9. *Ankyra lanceolata* mit spatelförmigem Basalende (Zellende auf rechter Bildseite). Abb. 10. *A. judayi* mit ankerförmigem Basalende (Zellende auf rechter Bildseite). Abb. 11. *Kirchneriella obesa*.

(Abbn. 1-3. Langer See, Abb. 4. Müggelsee-Zufluß, Abb. 5. Rosinsee, Abbn. 6, 7, 9, 11. Flakensee, Abbn. 8, 10. Kiessee.)



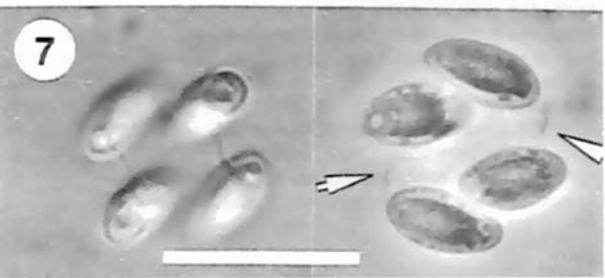
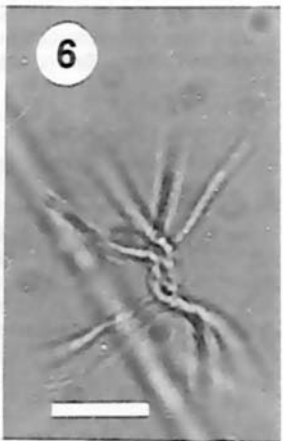
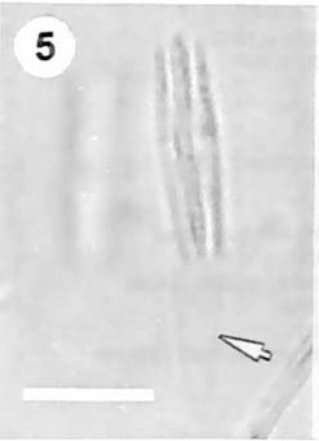
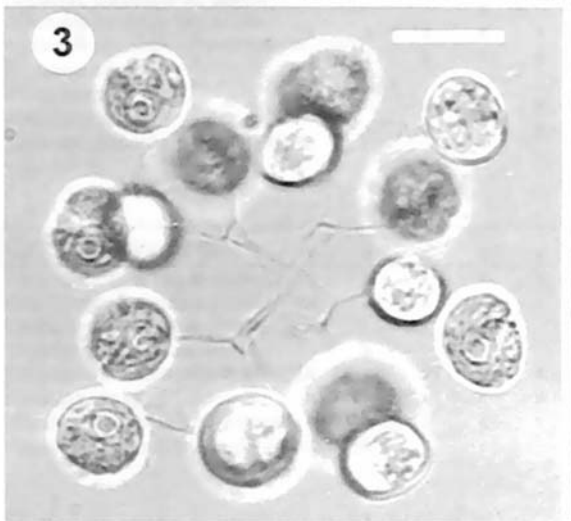
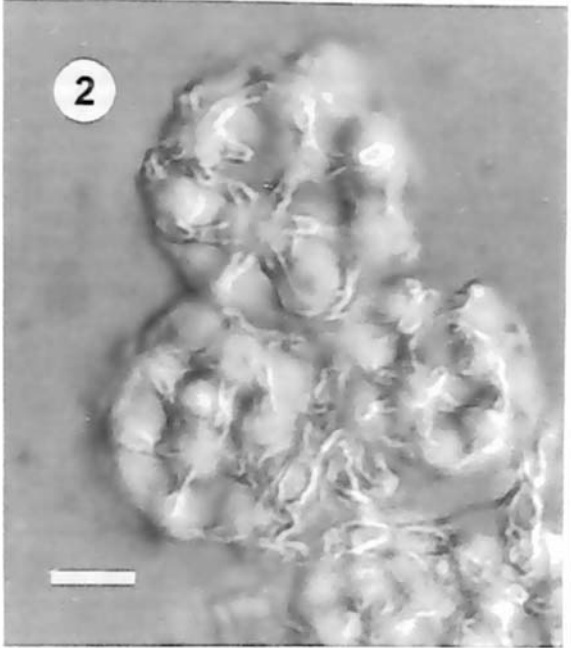
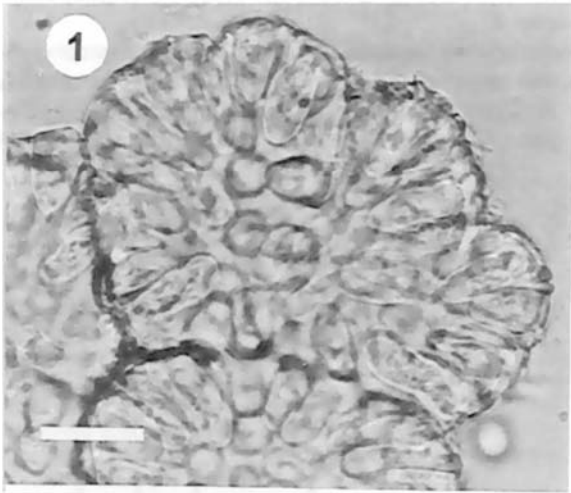
Tafel X: Chlorococcales (Chlorophyceae).

Alle Maßstäbe=10 µm. Abbn. 1-7. LM, Formaldehydfixierte Proben. Abbn. 1, 4, 5, 7. Phasenkontrast. Abbn. 2, 3. DIK. Abb. 6. Hellfeld.

Abb. 1. *Botryococcus braunii*. Abb. 2. *Coelastrum reticulatum*, Synzönobium, zwischen den Zellen innerhalb eines Zönobiums sichtbare Verbindungsausläufer. Abb. 3. *Dictyosphaerium pulchellum*, kugelförmige Zellen am Ende von Gallertstielen (Mutterzellwandreste) sitzend.

Abb. 4. *Coenochloris hindakii*, Gruppierung von 8 Tochterkolonien mit einem sichtbaren, in der Gallerte verbliebenen Mutterzellwandrest (einteilig, siehe Pfeil, obere Bildhälfte), Kolonie mit begonnener Autosporenbildung (untere Bildhälfte). Abb. 5. *Quadrigula* spec., Kolonie mit tütenförmigem Mutterzellwandrest (siehe Pfeil, zweites Teilstück der Mutterzellwand nicht mehr in der Kolonie). Abb. 6. *Ankistrodesmus spiralis*. Abb. 7. *Quadricoccus ellipticus*, die 4 Zellen einer Kolonie haften mit der Zell-Längsseite an dem Rest der Mutterzellwand (siehe Pfeile) an.

(Abb. 1. Parsteiner See, Abbn. 2, 7. Kiessee, Abb. 3. Krumme Lake, Abb. 4. Großer Müggelsee, Abbn. 5, 6. Rosinsee.)



Tab. III: Vorkommen der Algentaxa in den 11 Gewässern für den gesamten Untersuchungszeitraum [Planktonproben, Gewässerabkürzung siehe Anfang Kapitel 2.

Beachte *: Theken mit „*Cyclotella comensis*“- , „*C. kuetzingiana* var. *radiosa*“- , „*C. kuetz.* var. *planetophora*“- , und „*C. ocellata*“-Muster treten überlappend innerhalb und zwischen Frusteln des *C. kuetzingiana/ocellata/comensis*-Formenkreises auf und werden daher einer einzigen Art zugeordnet, deren verkieselte Schalenstruktur eine weite phänotypische Plastizität aufweist (siehe Tafel VII: Abbn. 1-6, ausführlich in TEUBNER 1995).]

Artesliste

	MUES	MUEZ	LANS	FLAS	FLZW	FLZL	KIES	PARS	ROSS	GPLA	KRUL
Cyanophyceae											
<u>Chroococcales</u>											
<i>Aphanocapsa</i> spp.							x				
<i>Aphanothece clathrata</i> W. et G. S. WEST	x			x		x		x	x	x	
<i>Aphanothece</i> spec.					x	x		x	x	x	
<i>Chroococcus limneticus</i> LEMM.				x				x		x	
<i>Chroococcus minutus</i> (KÜTZ.) NÄG.				x		x		x	x		x
<i>Chroococcus</i> spp.	x	x		x	x	x		x	x	x	x
<i>Chroococcus turgidus</i> (KÜTZ.) NÄG.										x	
<i>Coelosphaerium kuetzingianum</i> NÄG.											x
<i>Cyanodictyon reticulatum</i> (LEMM.) GEITLER	x							x	x		x
<i>Gomphosphaeria</i> spp.	x		x	x		x	x	x	x	x	x
<i>Merismopedia punctata</i> MEYEN									x	x	
<i>Merismopedia tenuissima</i> LEMM.								x	x	x	x
<i>Microcystis aeruginosa</i> (KÜTZ.) KÜTZ.	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
<i>Microcystis flos-aquae</i> KÜTZ.	x	x	x	x	x		x				
<i>Microcystis ichtyoblabe</i> KÜTZ.	x	x		x							
<i>Microcystis incerta</i> (LEMM.) LEMM.	x	x		x	x		x	x	x	x	x
<i>Microcystis novacekii</i> (KOM.) COMP.	x	x	x	x							x
<i>Microcystis viridis</i> (A. BRAUN) LEMM.	x	x	x	x						x	x
<i>Microcystis wesenbergii</i> (KOM.) KOM.	x	x	x	x				x	x	x	x
<i>Radiocystis</i> spec.								x	x		
<i>Snowella lacustris</i> (CHOD.) KOM. et HIND.	x		x	x		x			x	x	x
<i>Snowella litoralis</i> (HÄYREN) KOM. et HIND.								x		x	x
<i>Woronichinia compacta</i> (LEM.) KOM. et HIND.							x		x		x
<i>Woronichinia naegeliana</i> (UNGER) ELENK.	x	x							x	x	x
<u>Oscillatoriales</u>											
<i>Limnothrix redekei</i> (VAN GOOR) MEFFERT	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
<i>Oscillatoria limnetica</i> LEMM.	x	x		x	x						
<i>Oscillatoria limosa</i> AG. ex GOM.			x								x
<i>Planktolyngbya subtilis</i> (W. WEST) ANAGN. et KOM.	x	x	x	x	x	x		x		x	x
<i>Planktothrix agardhii</i> (GOM.) ANAGN. et KOM.	x	x	x	x	x	x	x	x			x
<i>Planktothrix rubescens</i> (DC. ex GOM.) ANAGN. et KOM.								x	x		
<i>Pseudanabaena catenata</i> LAUTERB.	x	x		x		x	x	x			
<i>Pseudanabaena galeata</i> BÖCHER		x	x	x	x						
<i>Pseudanabaena mucicola</i> (NAUM. et HUB.-PEST.) BOURR.	x										
<u>Nostocales</u>											
<i>Anabaena circinalis</i> RABENH. ex BORN. et FLAH.	x	x	x	x	x	x					
<i>Anabaena flos-aquae</i> BREB. ex BORN. et FLAH.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Anabaena lemmermannii</i> P. RICHT.	x			x		x	x	x	x	x	x
<i>Anabaena solitaria</i> KLEB.	x		x	x		x	x	x			x
<i>Anabaena spiroides</i> KLEB.					x						
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> RALFS ex BORN. et FLAH.	x	x	x	x	x	x	x		x		x
<i>Aphanizomenon gracile</i> (LEMM.) LEMM.	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x
<i>Aphanizomenon issatschenkoi</i> (USAC.) PROSK.-LAVR.	x	x	x	x	x	x	x				
<i>Aphanizomenon skujae</i> KOMARKOVA et CRONBERG											x
Bacillariophyceae											
<u>Centrales</u>											
<i>Aulacoseira ambigua</i> (GRUNOW) SIMONSEN	x	x		x							x
<i>Aulacoseira granulata</i> (EHRENB.) SIMONSEN	x	x	x	x	x		x			x	

Tabelle III, Fortsetzung

	MUES	MUEZ	LANS	FLAS	FLZW	FLZL	KIES	PARS	ROSS	GPLA	KRUL
<i>Aulacoseira italica</i> (EHRENB.) SIMONSEN	x	x		x		x					x
<i>Aulacoseira</i> spp.								x	x		
<i>Ellerbeckia arenaria</i> (MOORE) CRAWFORD	x	x	x							x	
<i>Melosira varians</i> AGARDH	x	x		x	x	x					
<i>Actinocyclus normanii</i> (GREG. ex GREV.) HUSTEDT	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Cyclotephanos dubius</i> (FRICKE) ROUND	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Cyclotephanos invisitatus</i> (HOHN et HELLERMAN) THERIOT, STOERMER et HAKANSSON	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
<i>Cyclotella atomus</i> HUSTEDT	x	x	x	x	x	x					
<i>Cyclotella comensis</i> GRUNOW *								(x)	(x)	(x)	
<i>Cyclotella distinguenda</i> HUSTEDT					x						
<i>Cyclotella kuetzingiana</i> var. <i>radiosa</i> FRICKE */ <i>C. k.</i> var. <i>planetophora</i> FRICKE *	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)
<i>Cyclotella meneghiniana</i> KÜTZ.	x	x	x	x	x	x	x	x			x
<i>Cyclotella ocellata</i> PANTOCSEK *	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)
<i>Cyclotella pseudostelligera</i> HUSTEDT	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
<i>Cyclotella radiosa</i> (GRUNOW) LEMM.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Cyclotella schumannii</i> (GRUNOW) HAKANSSON					x		x		x		
<i>Cyclotella stelligera</i> CLEVE et GRUNOW	x	x	x	x							
<i>Stephanodiscus alpinus</i> HUSTEDT	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> GRUNOW	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Stephanodiscus medius</i> HAKANSSON				x				x	x		
<i>S. minutulus</i> (KÜTZ.) CLEVE et MÖLLER / <i>S. parvus</i> STOERMER et HAKANSSON	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Stephanodiscus neoastreae</i> HAKANSSON et HICKEL	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Thalassiosira lacustris</i> (GRUNOW) HASLE							x				
<i>Thalassiosira weissflogii</i> (GRUNOW) FRYXELL et HASLE				x	x	x					

Pennales

<i>Asterionella formosa</i> HASSALL	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
<i>Diatoma tenuis</i> AGARDH	x	x	x	x	x	x	x				
<i>Diatoma vulgaris</i> BORY	x	x		x							
<i>Fragilaria reicheltii</i> (VOIGT) LANGE-BERTALOT				x	x	x	x			x	
<i>Fragilaria berolinensis</i> (LEMM.) LANGE-BERTALOT	x	x	x	x	x	x					
<i>Fragilaria construens</i> (EHRENB.) GRUNOW				x	x	x		x			
<i>Fragilaria crotonensis</i> KITTON	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
<i>Fragilaria ulna</i> var. <i>acus</i> (KÜTZ.) LANGE-BERTALOT	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Fragilaria ulna</i> var. <i>ulna</i> (NITZSCH) LANGE-BERTALOT	x			x	x	x	x	x			
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (KÜTZ.) RABENH.				x	x		x				
<i>Navicula</i> spp.				x	x	x		x			
<i>Nitzschia acicularis</i> W. SMITH	x	x	x	x	x	x	x				
<i>Nitzschia fonticola</i> GRUNOW	x										
<i>Nitzschia sigmoidea</i> (EHRENB.) W. SMITH				x	x	x					
<i>Nitzschia</i> spp.				x	x	x		x			
<i>Pinnularia</i> spp.					x						
<i>Pleurosigma</i> spp.				x				x			
<i>Tabellaria flocculosa</i> (ROTH) KÜTZ.					x		x	x		x	x

Cryptophyceae

<i>Cryptomonas erosa</i> EHRENB.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Cryptomonas marssonii</i> SKUJA	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Cryptomonas ovata</i> EHRENB.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Cryptomonas reflexa</i> SKUJA	x	x	x	x	x	x	x	x			
<i>Cryptomonas rostratiformis</i> SKUJA	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
<i>Katalepharis</i> spp.			x		x	x					
<i>Rhodomonas lacustris</i> PASCHER et RUTTNER	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Rhodomonas lens</i> PASCHER et RUTTNER	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Chlorophyta s. l.**Euglenophyceae (Chlorophyta)**

<i>Euglena acus</i> EHRENB.	x			x		x					
<i>Euglena</i> spp.				x						x	x

Tabelle III, Fortsetzung

	MUES	MUEZ	LANS	FLAS	FLZW	FLZL	KIES	PARS	ROSS	GPLA	KRUL
<i>Lepocinclis ovum</i> (EHRENB.) LEMM.							x				
<i>Phacus</i> spp.	x	x									x
<i>Phacus helicoides</i> POCHM.				x	x						
<i>Phacus tortus</i> (LEMM.) SKV.				x	x						
<u>Prasinophyceae (Chlorophyta)</u>											
<i>Tetraselmis</i> spec.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
<u>Chlamydomphceae (Chlorophyta)</u>											
<i>Carteria pseudomultifilis</i> PETERFI L.		x	x	x	x	x			x		x
<i>Chlamydomonas metapyrenigera</i> SKUJA				x	x						
<i>Chlamydomonas</i> spp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
<i>Lobomonas</i> spec.			x	x	x			x			
<i>Pandorina morum</i> (O. F. MÜLLER) BORY	x	x	x	x	x			x			x
<i>Phacotus lenticularis</i> EHRENB.									x		
<i>Trachelomonas hispida</i> (PERTY) STEIN em. DEFL.	x	x		x	x		x	x			
<i>Trachelomonas</i> spec.	x		x	x	x	x	x	x	x	x	
<i>Trachelomonas volvocina</i> EHRENB.	x	x	x		x	x	x	x			
<i>Volvox aureus</i> EHRENB.								x			
<u>Chlorophyceae (Chlorophyta)</u>											
<u>Chlorococcales</u>											
<i>Actinastrum hantzschii</i> LAGERH.	x	x	x								x
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (CHORDA) RALFS				x	x		x				x
<i>Ankistrodesmus fusiformis</i> CHORDA				x	x		x				x
<i>Ankistrodesmus spiralis</i> (TURN.) LEMM.										x	
<i>Ankyra judayi</i> (G. G. SMITH) FOTT	x			x	x	x	x				
<i>Ankyra lanceolata</i> (KORS.) FOTT	x			x	x	x	x	x	x		
<i>Botryococcus braunii</i> KÜTZ.									x	x	x
<i>Closteriopsis acicularis</i> (G. M. SMITH) BELCH. et SWALE	x	x		x							x
<i>Coelastrum astroideum</i> DE-NOT.	x	x		x	x	x				x	x
<i>Coelastrum microporum</i> NÄG.	x				x		x		x		
<i>Coelastrum reticulatum</i> (DANG.) SENN				x			x				x
<i>Coenochloris hindakii</i> KOM.	x	x						x	x		
<i>Coenochloris</i> spp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
<i>Crucigenia fenestrata</i> (SCHMIDLE) SCHMIDLE	x	x		x		x	x	x		x	x
<i>Crucigenia tetrapedia</i> (KIRCHN.) W. et G. S. WEST							x			x	x
<i>Crucigeniella apiculata</i> (LEMM.) KOM.											x
<i>Crucigeniella rectangularis</i> (NÄG.) KOM.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
<i>Dactylosphaerium jurisii</i> HIND.							x				
<i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i> NÄG.			x								
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> WOOD	x	x	x			x					x
<i>Dictyosphaerium tetrachotomum</i> PRINTZ	x	x									
<i>Elakotothrix</i> spp.	x	x	x		x		x	x	x	x	
<i>Eutetramorus</i> spec.	x							x			
<i>Golenkinia</i> spp.		x				x					
<i>Kirchneriella obesa</i> (W. WEST) SCHMIDLE	x	x		x		x	x			x	
<i>Lagerheimia citrififormis</i> (SNOW) COLLINS	x	x	x	x	x	x	x		x		
<i>Lagerheimia genevensis</i> (CHOD.) CHOD.	x	x	x	x	x	x	x				
<i>Lagerheimia subsalsa</i> LEMM.							x				
<i>Micractinium bornhemienense</i> (CONR.) KORS.											x
<i>Micractinium pusillum</i> FRES.			x								
<i>Monoraphidium arcuatum</i> (KORS.) HIND.	x	x	x	x	x	x					
<i>Monoraphidium contortum</i> (THUR.) KOM.-LEGN.	x	x		x	x	x				x	x
<i>Nephrocytium</i> spec.							x				
<i>Oocystis lacustris</i> CHOD.	x	x		x	x	x	x	x	x		x
<i>Oocystis</i> spp.				x			x				
<i>Pediastrum biradiatum</i> MEYEN								x			x
<i>Pediastrum boryanum</i> (TURP.) MENEGH.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Pediastrum duplex</i> MEYEN	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
<i>Pediastrum simplex</i> MEYEN	x		x								
<i>Pediastrum tetras</i> (EHRENB.) RALFS	x	x				x				x	x
<i>Planktoshaeria gelatinosa</i> G. M. SMITH sensu SKUJA						x					
<i>Pseudosphaerocystis lacustris</i> (LEMM.) NOVAKOVA								x			

	MUES	MUEZ	LANS	FLAS	FLZW	FLZL	KIES	PARS	ROSS	GPLA	KRUL
<i>Quadricoccus ellipticus</i> HORTOB.		x					x			x	
<i>Quadrigula</i> spp.								x	x	x	x
<i>Radiococcus</i> spec.	x	x					x		x		
<i>Scenedesmus acuminatus</i> (LAGERH.) CHOD.	x	x	x		x	x					
<i>Scenedesmus disciformis</i> (CHOD.) FOTT et KOM.		x					x				x
<i>Scenedesmus ecornis</i> (EHRENB.) CHOD.	x	x					x	x		x	
<i>Scenedesmus linearis</i> KOM.	x	x	x	x		x	x	x		x	
<i>Scenedesmus obtusus</i> MEYEN	x	x	x				x				x
<i>Scen. quadricauda</i> (TURP.) BREB. / <i>S. communis</i> . HEGEW.	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
<i>Scenedesmus</i> spp.	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
<i>Schroederia robusta</i> KORS./ <i>S. setigera</i> (SCHRÖD.) LEMM.	x	x		x	x	x					
<i>Tetrachlorella alternans</i> (G. M. SMITH) KORS.	x	x	x	x	x		x				
<i>Tetraedron caudatum</i> (CORDA) HANSBG.		x			x	x				x	x
<i>Tetraedron incus</i> (TEIL.) G. M. SMITH		x		x							
<i>Tetraedron minimum</i> (A. BR.) HANSBG.	x	x		x		x	x	x	x	x	x
<i>Tetrastrum komarekii</i> HIND.	x	x	x	x	x	x	x			x	x
<i>Thorakochloris nygardii</i> KOM.		x					x	x	x	x	
<i>Willea irregularis</i> (WILLE) SCHMIDLE								x			
<i>Willea wilhelmii</i> (FOTT) KOM.							x		x		

[illegible][illegible]

<i>Bitrichia</i> spp.									x	x
<i>Chrysochromulina parva</i> LACKEY	x	x	x	x			x			
<i>Dinobryon bavaricum</i> IMHOF				x						x
<i>Dinobryon divergens</i> IMHOF	x	x	x	x	x	x		x	x	x
<i>Dinobryon sociale</i> EHRENB.				x				x	x	x
<i>Dinobryon suecicum</i> LEMM.									x	x
<i>Mallomonas</i> spp.			x	x	x	x				x
<i>Ochromonas</i> spp.							x			x
<i>Synura</i> spp.	x	x		x	x	x				
<i>Uroglena</i> spp.				x						

[illegible]

3. 2. 2. Quantitative Phytoplanktonanalyse: Biomasseentwicklung

3. 2. 2. 1. Das Gesamt-Phytoplankton

3. 2. 2. 1. 1. Dominanz von Algenklassen und -ordnungen

Mit der Abb. 18 A-B wird die Jahresdynamik des Gesamtphytoplanktons für alle 11 Gewässer über den gesamten Untersuchungszeitraum dargestellt. Dabei zeigen sich deutliche Abstufungen der untersuchten Gewässer sowohl hinsichtlich der Höhe des Biovolumens als auch hinsichtlich der unterschiedlichen Biovolumenanteile der 6 Algenklassen.

Die höchste Biomasseentwicklung liegt im Langen See vor (Gewässer-Mittelwert des Biovolumens $13,5 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$), wobei auch in den anderen nährstoffreichen „polymiktischen Flußseen“, d. h. in dem Großen Müggelsee und dessen Zufluß, sehr hohe Biovolumina erreicht werden. Die vergleichsweise hohen Biovolumina der dystrophen Krummen Lake sind im Zusammenhang mit der starken Eutrophierung dieses einst oligotrophen Moorsee zu sehen (siehe Kapitel 3. 1. 2.). In den übrigen „mineralreichen Gewässern“, den „dimiktischen, mesotrophen Seen“ und dem verbleibenden „dystrophen See“ (Großer Plagesee) sind die mittleren Biovolumina nicht höher als $4 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$ (Abb. 19 A).

Die unterschiedlichen mittleren Biovolumenanteile der einzelnen Algenklassen für die 11 untersuchten Gewässer werden in Abb. 19 B dargestellt. Insbesondere in den nährstoffreichen Seen nehmen die Blaualgen einen hohen Anteil am Gesamtbiovolumen ein. Die 3 Ordnungen der Cyanophyceen haben unterschiedliche Verbreitungsschwerpunkte. Zur besseren Differenzierung der gewässerspezifischen Phytoplanktongemeinschaften wird daher das Gesamtbiovolumen der Cyanophyceen weiter in die Gruppen der Chroococcales, Oscillatoriales und Nostocales untergliedert (siehe Abbn. 20 A-B, 21).

Mit der Hauptkomponentenanalyse (PCA) werden die unterschiedlichen Phytoplanktonstrukturen der 11 Gewässer prägnant dargestellt. Kriterien der Bewertung der Phytoplanktonzusammensetzung sind hier die mittleren Biovolumenanteile der Bacillariophyceen, Chlorophyta s.l., Chrysophyceen, Cryptophyceen, Dinophyceen und der drei genannten Ordnungen der Cyanophyceen (Abb. 20 A-B).

Cyanophyceen dominierte Gewässer sind der Lange See (LANS), der Große Müggelsee (MUES) und die Krumme Lake (KRUL) (siehe Abb. 20 A). Dabei wird offensichtlich, daß das Plankton von einem der „polymiktischen Flußseen“, vom Langen See, fast ausschließlich von Arten nur einer Ordnung der Cyanophyceen, nämlich den Oscillatoriales, bestimmt wird (siehe *Limnothrix redekei*-*Planktothrix agardhii*-Dominanz in Kapitel 3. 2. 2. 2.). Dagegen verweist die Lage der Objektpunkte des Großen Müggelsees (MUES) und der Krummen Lake (KRUL) zwischen den Variablenvektoren der Nostocales, Chroococcales und Oscillatoriales auf eine gemischte Cyanophyceen-Zusammensetzung.

Das Plankton vom Müggelsee-Zufluß (MUEZ) und vom Flakensee-Zufluß Löcknitz (FLZL, siehe hier Abb. 20 B) ist durch einen relativ hohen Biovolumenanteil der **Cyanophyceen (Oscillatoriales)-Bacillariophyceen** gekennzeichnet. Dagegen liegen im Kiessee (KIES) höhere Anteile der **Cyanophyceen (Nostocales)** in Kombination mit hohen Anteilen der **Chlorophyta s. l.** vor (Abb. 20 A).

Alle weiteren Gewässer sind durch höhere Biovolumenanteile von anderen Algengruppen als denen der Cyanophyceen gekennzeichnet, wobei das Plankton des Rosinsees (ROSS) durch eine klare **Dominanz der Chlorophyta s.l.** geprägt ist.

Abb. 18 A-B (siehe folgende Seiten): Jahresdynamik des Gesamtphytoplanktons sowie der absoluten Biovolumenanteile der 6 Algenklassen für die 11 Gewässer über den gesamten Untersuchungszeitraum.

[Beschreibung der Algenklassen-Einteilung siehe Kapitel 3. 2. 1. 2.]

Gewässerabkürzungen: **FLAS**-Flakensee, **FLZL**-Flakensee-Zufluß Löcknitz, **FLZW**-Flakensee-Zufluß Wolt. Schleuse, **GPLA**-Großer Plagesee, **KIES**-Kiessee, **KRUL**-Krumme Lake, **LANS**-Langer See, **MUES**-Großer Müggelsee, **MUEZ**-Müggelsee-Zufluß, **PARS**-Parsteiner See, **ROSS**-Rosinsee.]

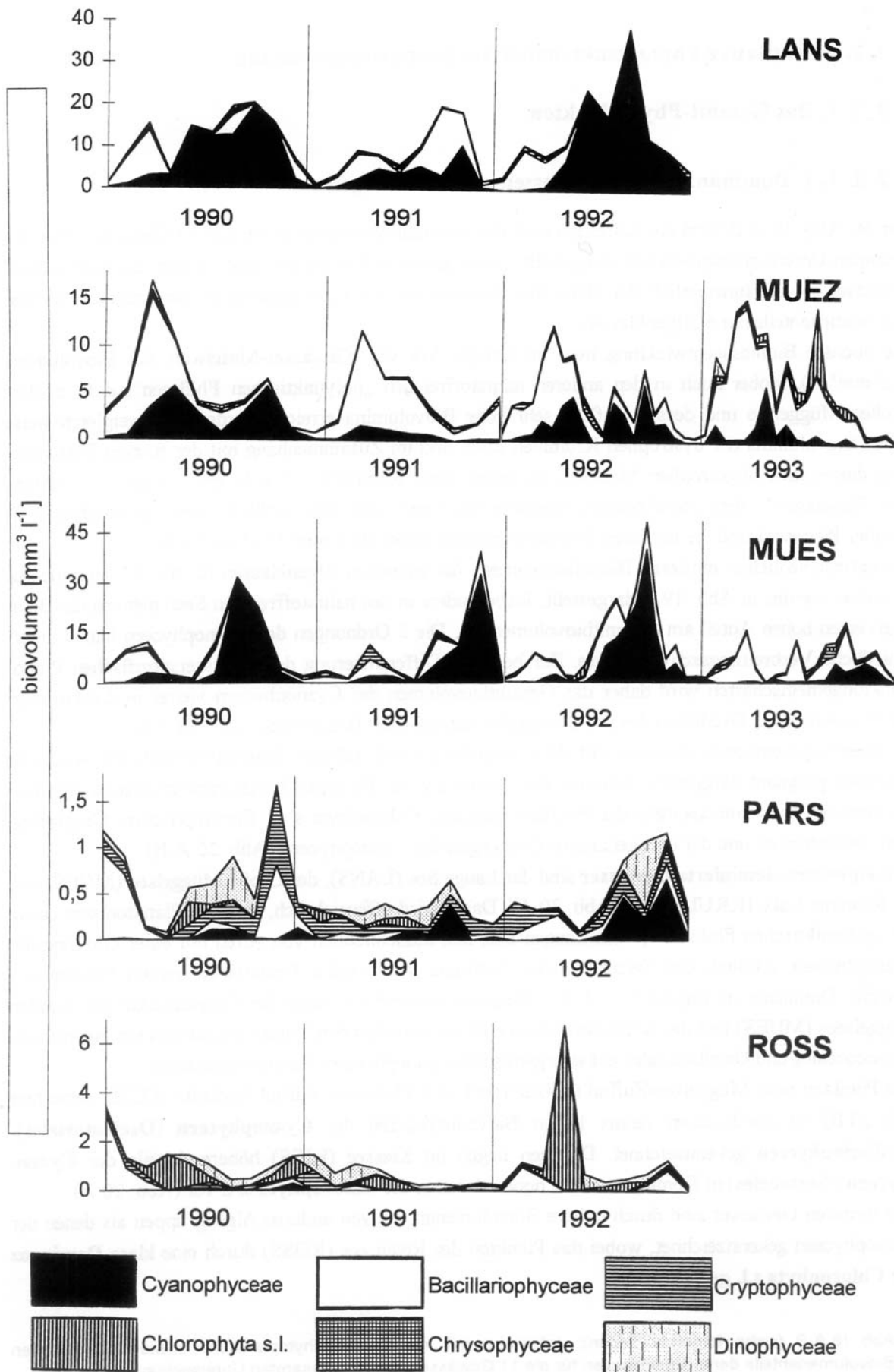


Abb. 18 A-B, Teil A.

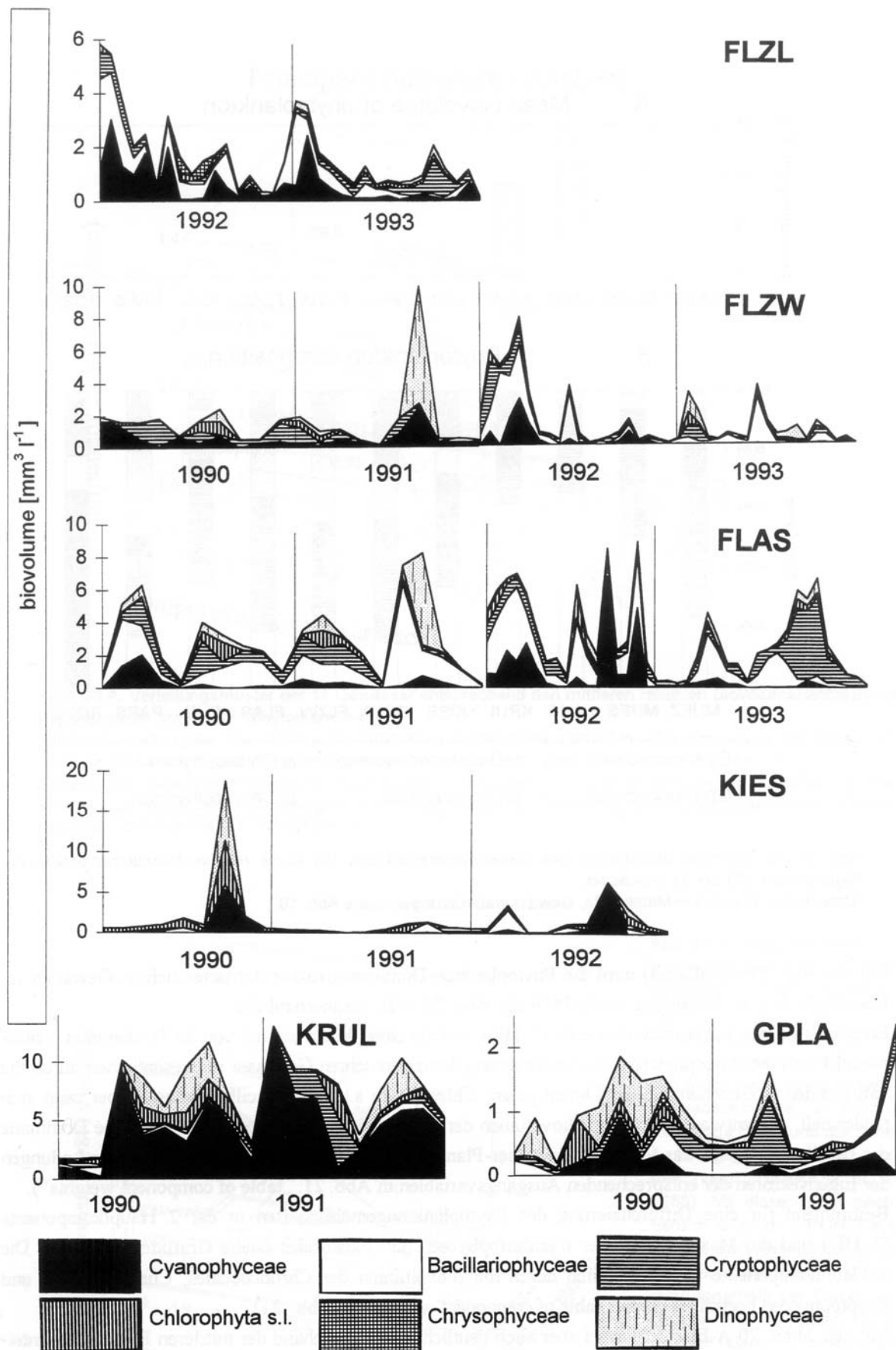


Abb. 18 A-B, Teil B.

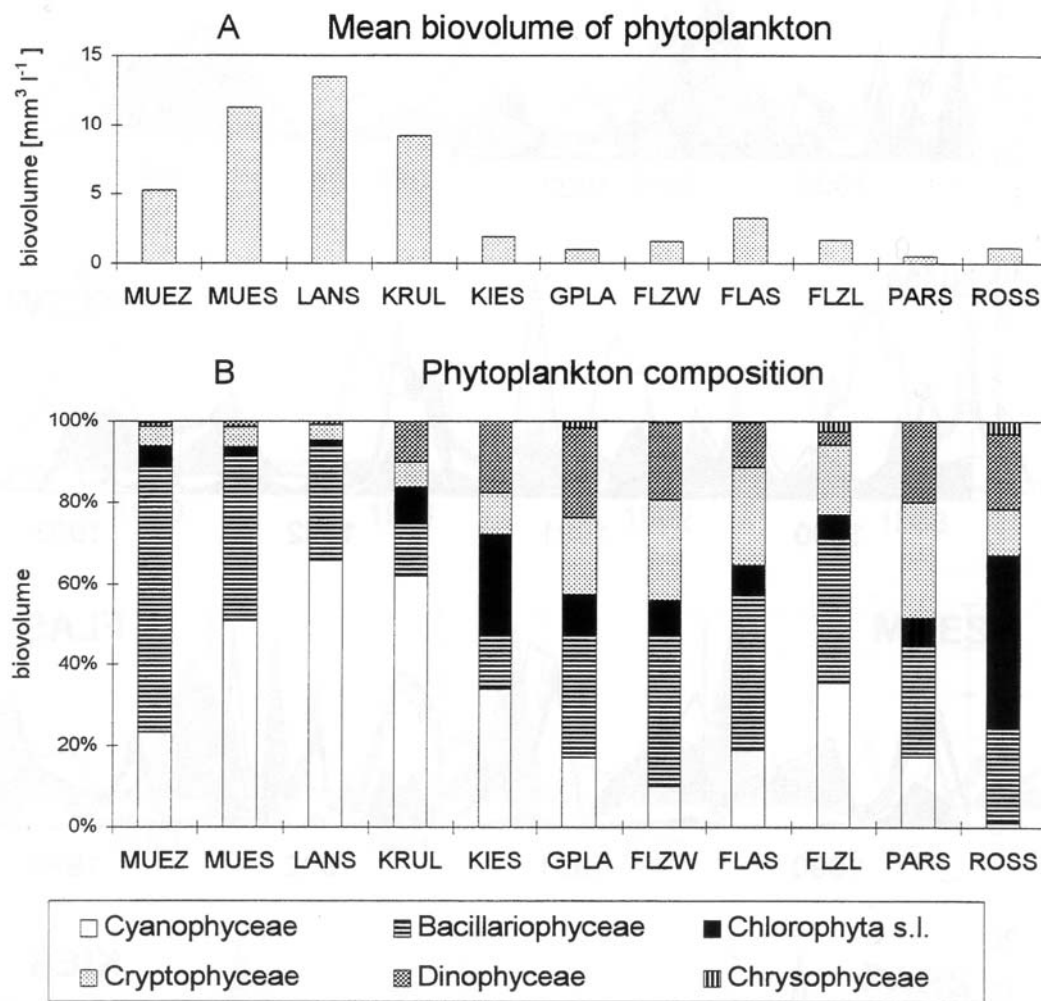


Abb. 19 A-B: Mittleres Biovolumen des Gesamtphytoplanktons (A) sowie relative Biovolumenanteile der Algenklassen (B) der 11 Gewässer.

[Datenbasis: Gewässer-Mittelwerte, Gewässerabkürzungen siehe Abb. 18.]

Mit der Abb. 21 (Grafikteil) wird die Phytoplankton-Dominanzstruktur der untersuchten Gewässer im Kernstück, d. h. in Anlehnung an die PCA der Abb. 20 A-B, veranschaulicht.

Entsprechend der 1. Hauptkomponente (1. HK), welche einen Varianzanteil von 35 % einnimmt, unterscheidet sich die Phytoplanktonzusammensetzung der untersuchten Gewässer im wesentlichen durch die variierenden Volumenanteile der Dinophyceen, Chlorophyta s.l. bzw. Oscillatoriales. Dabei zeigt sich tendenziell, daß entweder ein hohes Biovolumen der Dinophyceen und Chlorophyta oder eine Dominanz der Oscillatoriales für das jeweilige Gewässer-Plankton gegeben ist (siehe auch Beträge der Ladungen der Eigenvektoren der entsprechenden Ausgangsvariablen in Abb. 21: „table of component weights“).

Bestimmend für eine Differenzierung der Phytoplanktongemeinschaften in der 2. Hauptkomponente (2. HK) sind die Massenanteile der Bacillariophyceen und Nostocales (siehe Grafikteil Abb. 21). Die 3. Hauptkomponente wird wesentlich durch die Biovolumina der Chroococcales, Chrysophyceen und Cryptophyceen beeinflusst (siehe „table of component weights“ in Abb. 21).

Mit den Abbn. 20 A-B und 21 wird aber auch deutlich, daß sich anhand der mittleren Biovolumenanteile der höheren Algentaxa (Algenklassen, -ordnungen) die über die limnologische Charakteristik definier-

Principal Components Analysis

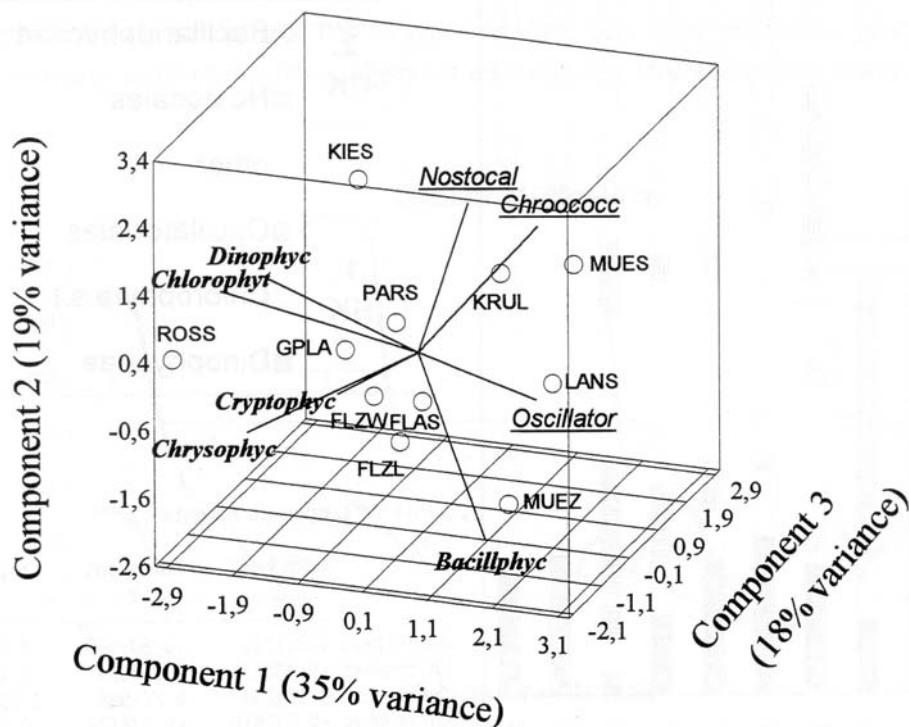


Abb. 20 A: Verteilungsmuster der 11 Gewässer entsprechend der mittleren relativen Biovolumenanteile der Algengruppen am Gesamtphytoplankton.

[Biplot-Darstellung der Hauptkomponentenanalyse, kombinierte Variablen- (Algengruppen) und Objektdarstellung (Gewässer), Ladungen der Eigenvektoren (component weights) tabellarisch in Abb. 21.

Datenbasis: Gewässer-Mittelwerte. Algengruppen (von oben in Uhrzeigerrichtung): Nostocales, Oscillatoriales, Chroococcales (Ordnungen der Cyanophyceen); Bacillariophyceen; Chrysophyceen; Cryptophyceen; Chlorophyta s. l.; Dinophyceen.]

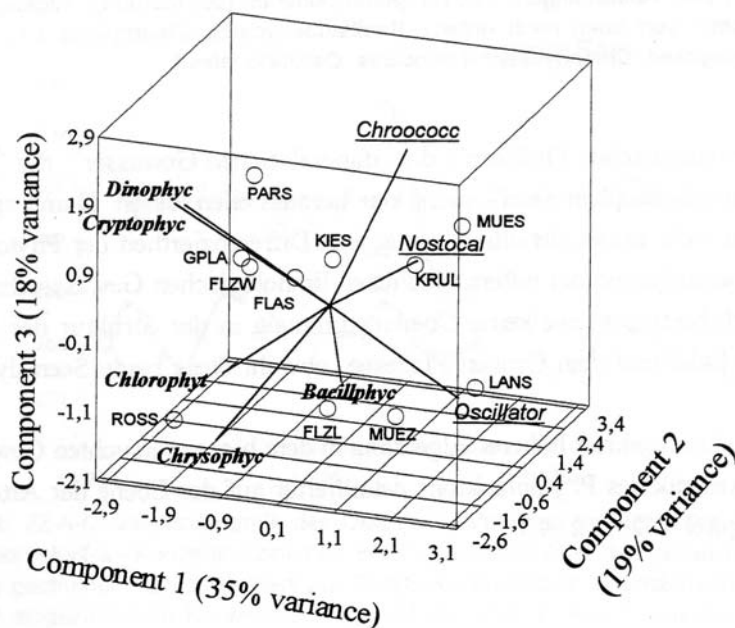


Abb. 20 B: Hauptkomponentendarstellung analog Abb. 20 A mit veränderter y- und z-Achsenbelegung.

Die Varianzanteile der 2. und 3. Hauptkomponenten (HK) sind fast gleich hoch. Somit ist nahezu bedeutungslos, in welcher Rangfolge die 2. und die 3. der 1. HK gegenübergestellt werden (vergl. HENRION et al. 1988). Mit dieser allein zeichnerisch anderen Darstellung B kommt die Verschiedenheit der Phytoplanktonzusammensetzung innerhalb der Flakensee-Gruppe (FLAS, FLZW, FLZL) grafisch klarer zum Ausdruck als in Abb. 20 A (vergl. zu Abb. 19 B und Abb. 21).

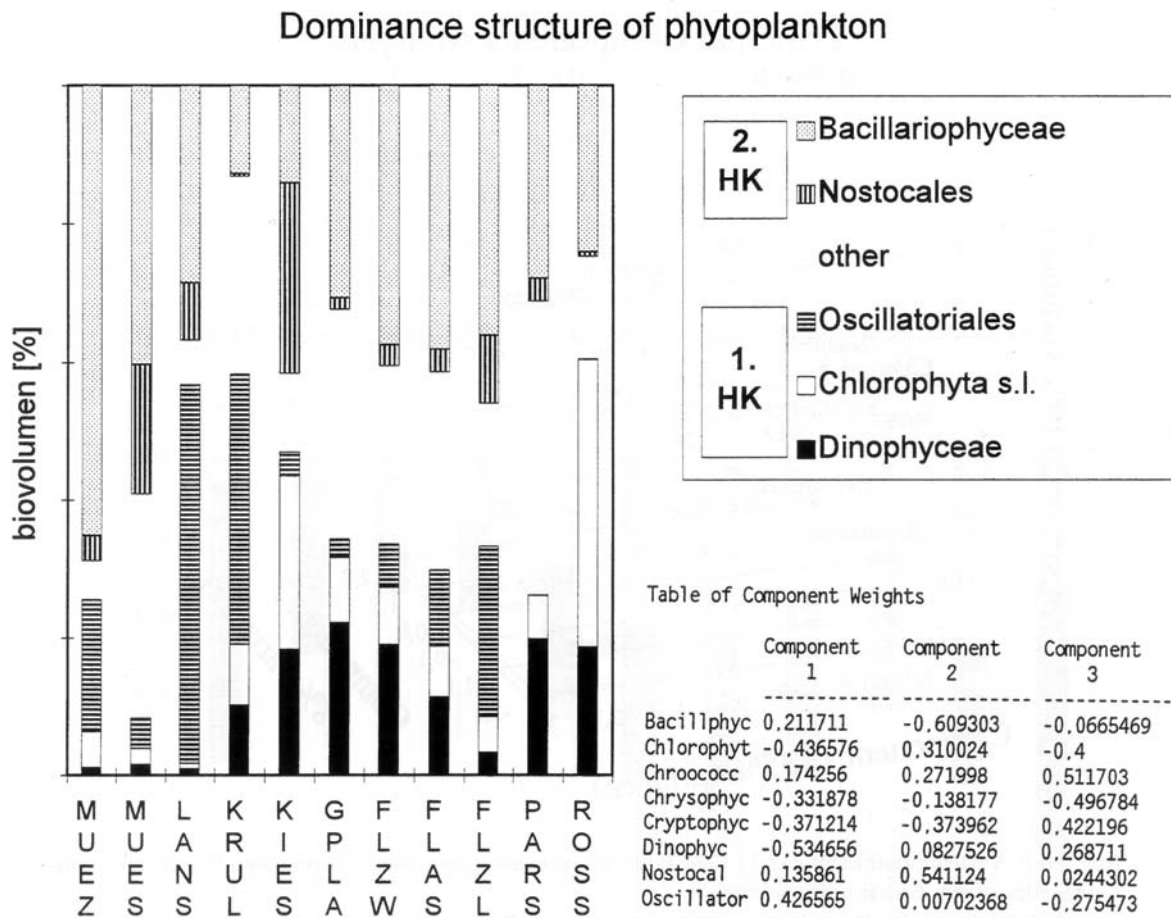


Abb. 21: Phytoplankton-Dominanzstruktur. Anordnung ausgewählter Algengruppen entsprechend der Ladungen der Eigenvektoren im Ergebnis der Hauptkomponentenanalyse der Abb. 20 A-B.

Die Ladungen der Eigenvektoren der Ausgangsvariablen Dinophyceen, Chlorophyta s.l. und Oscillatoriales haben hohe Beträge in der 1. Hauptkomponente, jene der Bacillariophyceen und der Nostocales dagegen in der 2. Hauptkomponente. Demnach wird die 1. Hauptkomponente vornehmlich durch den Biovolumenanteil der ersten drei, die zweite Hauptkomponente durch den der zuletzt genannten Algengruppen beeinflusst.

[Datenbasis: Gewässer-Mittelwerte, „table of component weights“: Ladungen der Eigenvektoren für die ersten 3 Hauptkomponenten der PCA; Abkürzungen: HK-Hauptkomponente (component); Algengruppen (siehe „table of component weights“ von oben nach unten): Bacillariophyceen, Chlorophyta s.l., Chroococcales, Chrysophyceen, Cryptophyceen, Dinophyceen, Nostocales, Oscillatoriales.]

ten Gewässergruppen, d. h. die „polymiktischen Flußseen“, die „mineralreichen Gewässer“, die „dimiktischen, mesotrophen Seen“ und die „dystrophen Seen“, nicht klar herausstellen lassen. Damit spiegeln die Biovolumina höherer Algentaxa nicht immer detailliert genug jene Differenziertheit der Phytoplankton-Zusammensetzung wider, wie sie aufgrund der unterschiedlichen limnologischen Gewässercharakteristik zu erwarten ist. So zeigt sich beispielsweise keine Übereinstimmung in der Struktur des Phytoplanktons zwischen der Krummen Lake und dem Großen Plagesee, obwohl diese beide Seen dystroph sind.

Wegen dieser sehr eingeschränkten Aussagekraft höherer Algentaxa in dem hier untersuchten Gewässerspektrum wird die Struktur und Dynamik des Phytoplanktons detaillierter auf der Ebene der Arten und Artengruppen untersucht (siehe Kapitel 3. 2. 2. 2.-4.).

3. 2. 2. 1. 2. Jahresdynamik des Oberfläche/Volumen-Verhältnisses

Für das Gesamt-Phytoplankton zeigen sich im Jahresverlauf neben Schwankungen der Biovolumina (Abb. 18) auch Wechsel der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse. In diesem Oberfläche/Volumen-Verhältnis [$\text{mm}^2 \text{l}^{-1} / \text{mm}^3 \text{l}^{-1}$] schlägt sich das Mengenverhältnis von Algen mit relativ großer Oberfläche aber kleinen Volumen gegenüber solchen Algen mit relativ kleiner Oberfläche aber großem Volumen nieder.

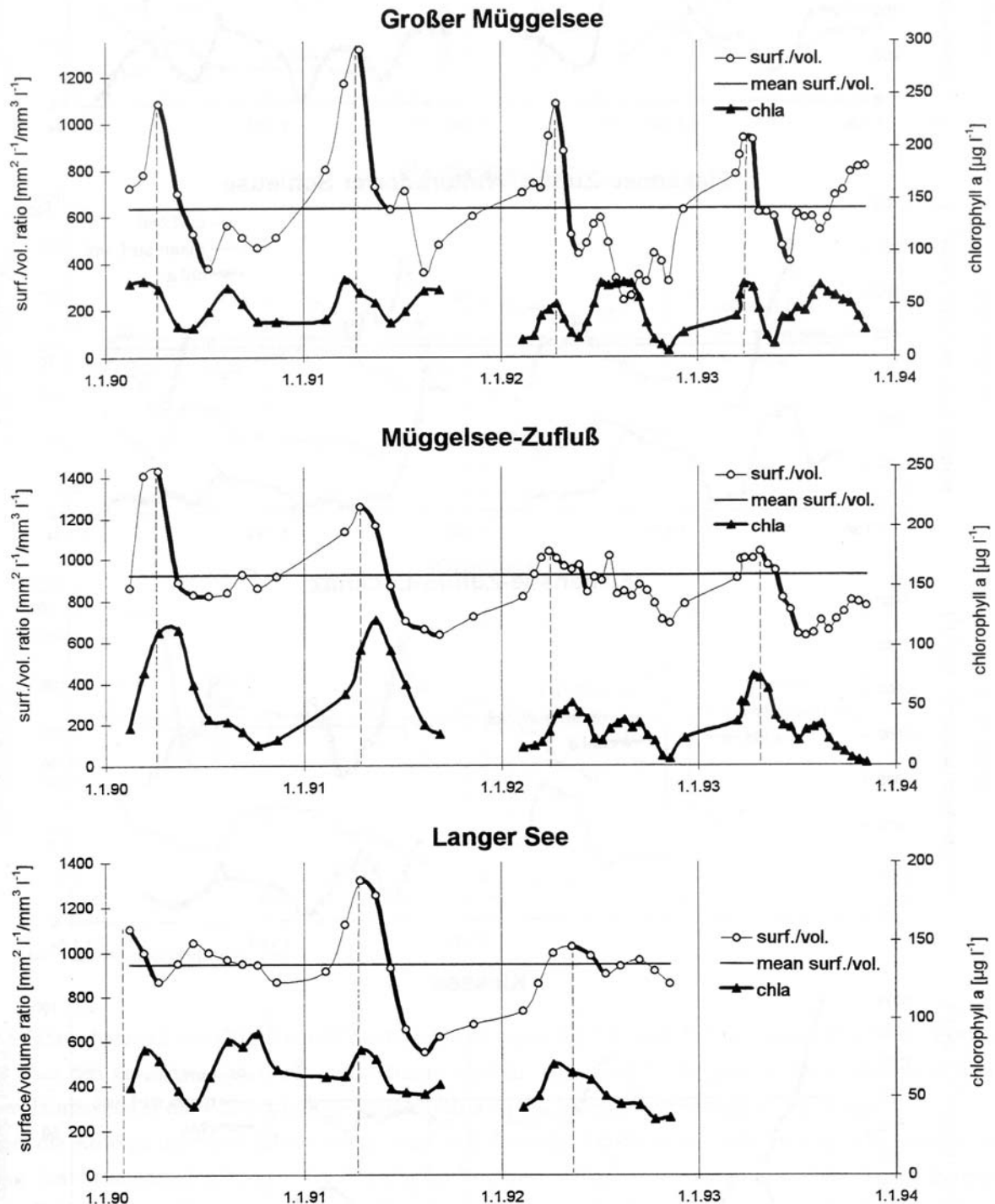


Abb. 22 A-C: Jahresdynamik des Oberfläche/Volumen-Verhältnisses des Gesamtphytoplanktons sowie der Chlorophyll-a - Konzentrationen für die 11 Gewässer über den gesamten Untersuchungszeitraum. Die gestrichelte Linie markiert den Zeitpunkt maximaler Oberfläche/Volumen-Verhältnisse im Frühjahr. Der fett eingezeichnete Kurvenabschnitt hebt den vom Frühjahr zum Sommer ablaufenden Dominanzwechsel von Arten mit hohen zu Arten mit niedrigen Werten des Oberfläche/Volumen-Verhältnisses hervor. [mean surf./vol.=Mittelwert des Oberfl./Vol.-Verhältnisses über den Untersuchungszeitraum im jeweiligen Gewässers.]

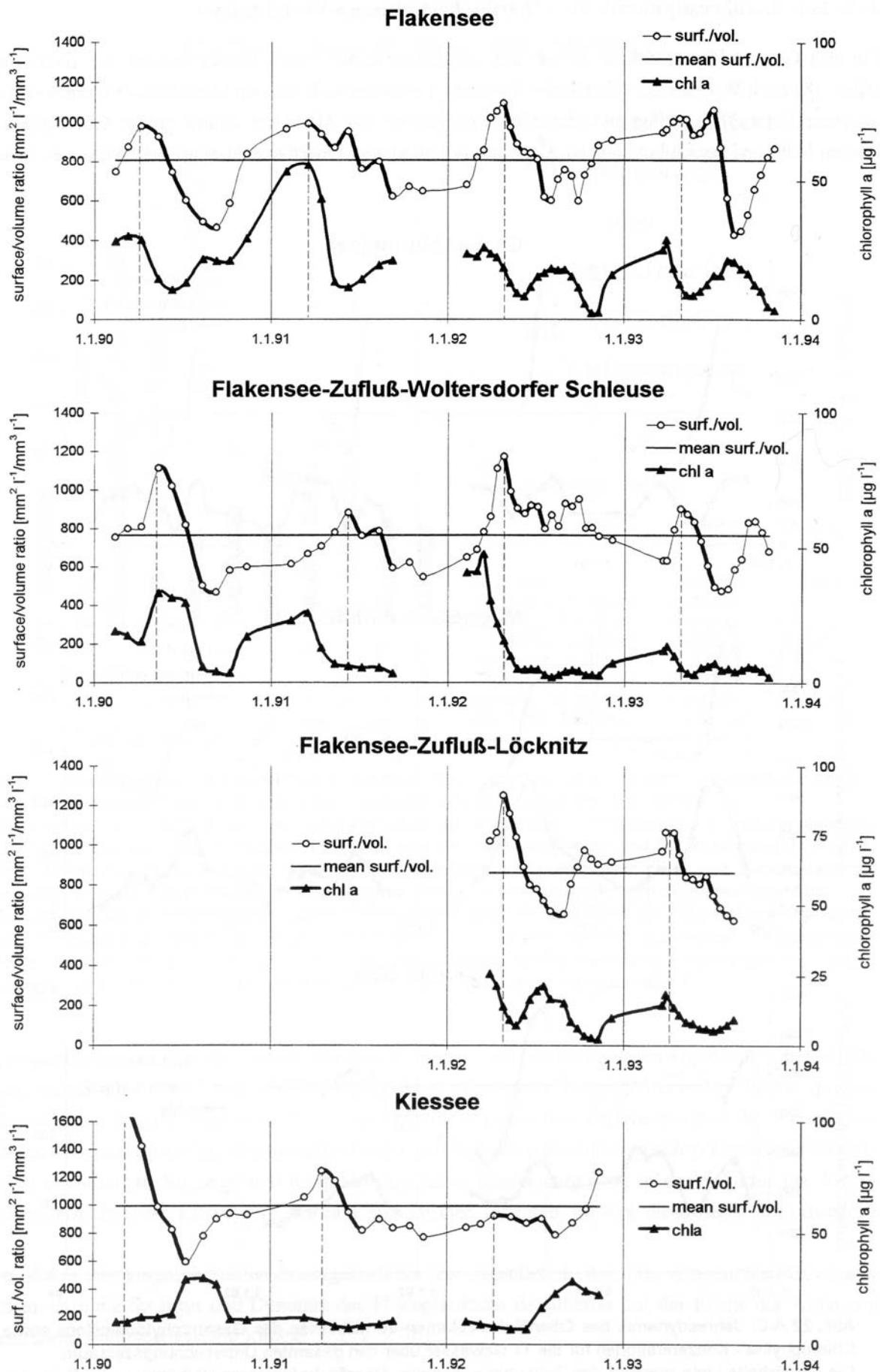


Abb. 22 A-C, Fortsetzung: Teil B.

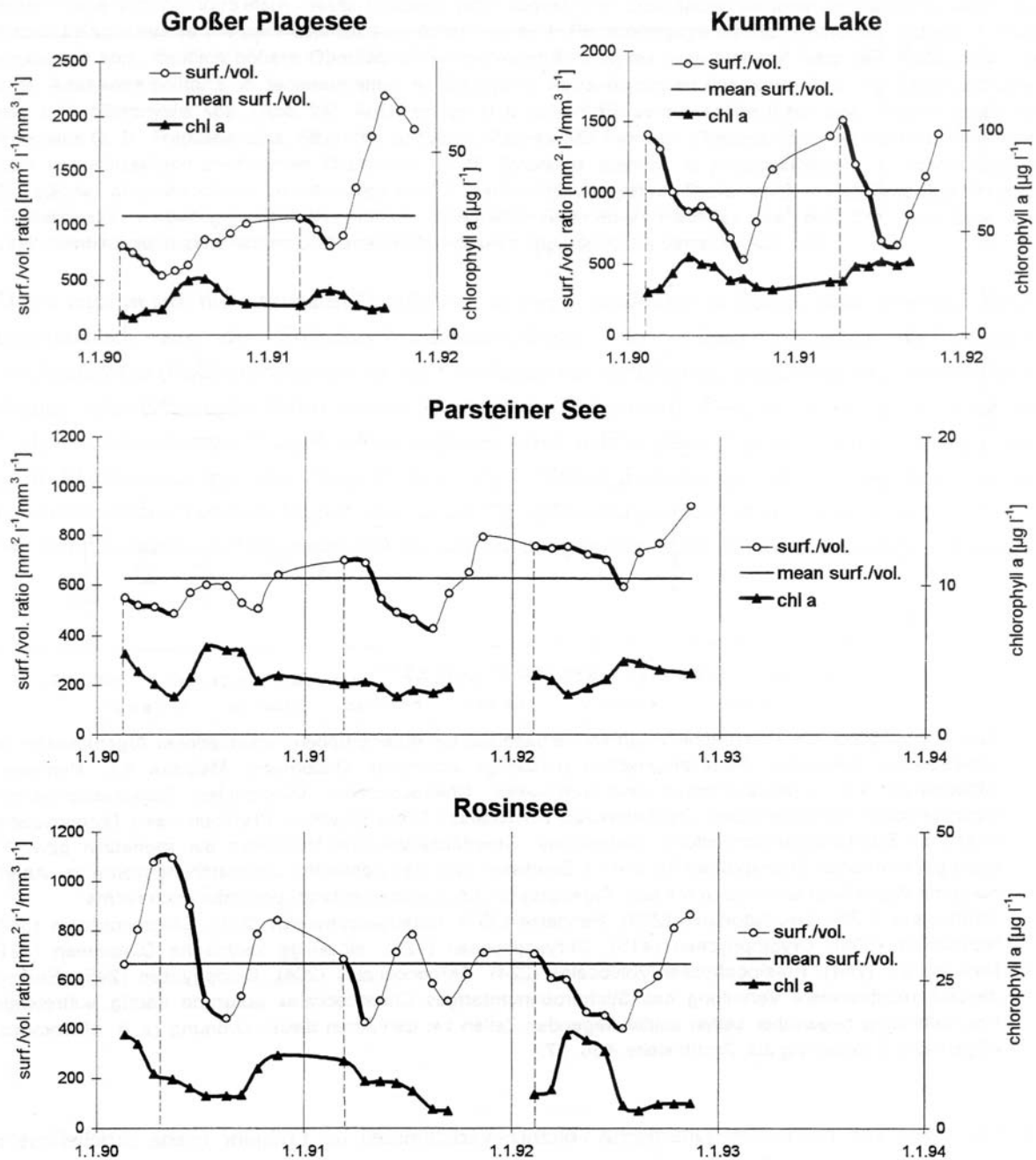


Abb. 22 A-C, Fortsetzung: Teil C.

Die Jahresdynamik der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse des Gesamtphytoplanktons für die 11 Gewässer über den gesamten Untersuchungszeitraum wird in Abb. 22 A-C dargestellt. Parallel dazu wird mit dem Jahresverlauf der Chlorophyll-a-Konzentrationen die Biomasseentwicklung abgebildet. Über die Abfolge mehrerer Jahre hinweg zeigt sich dabei die Tendenz, daß während der Massenentwicklung des Frühjahrsplanktons hohe Oberfläche/Volumen-Verhältnisse dominieren. Mit dem Übergang vom Frühjahr zum Sommer sinken die Oberfläche/Volumen-Verhältnisse des Phytoplanktons meist erheblich. Somit wird die Biomasseabnahme im Frühjahr sehr häufig von einem allmählichen Dominanzwechsel zu Arten mit kleinen Oberfläche/Volumen-Verhältnissen begleitet (siehe fett markierte Kurvenabschnitte der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse in Abb. 22 A-C).

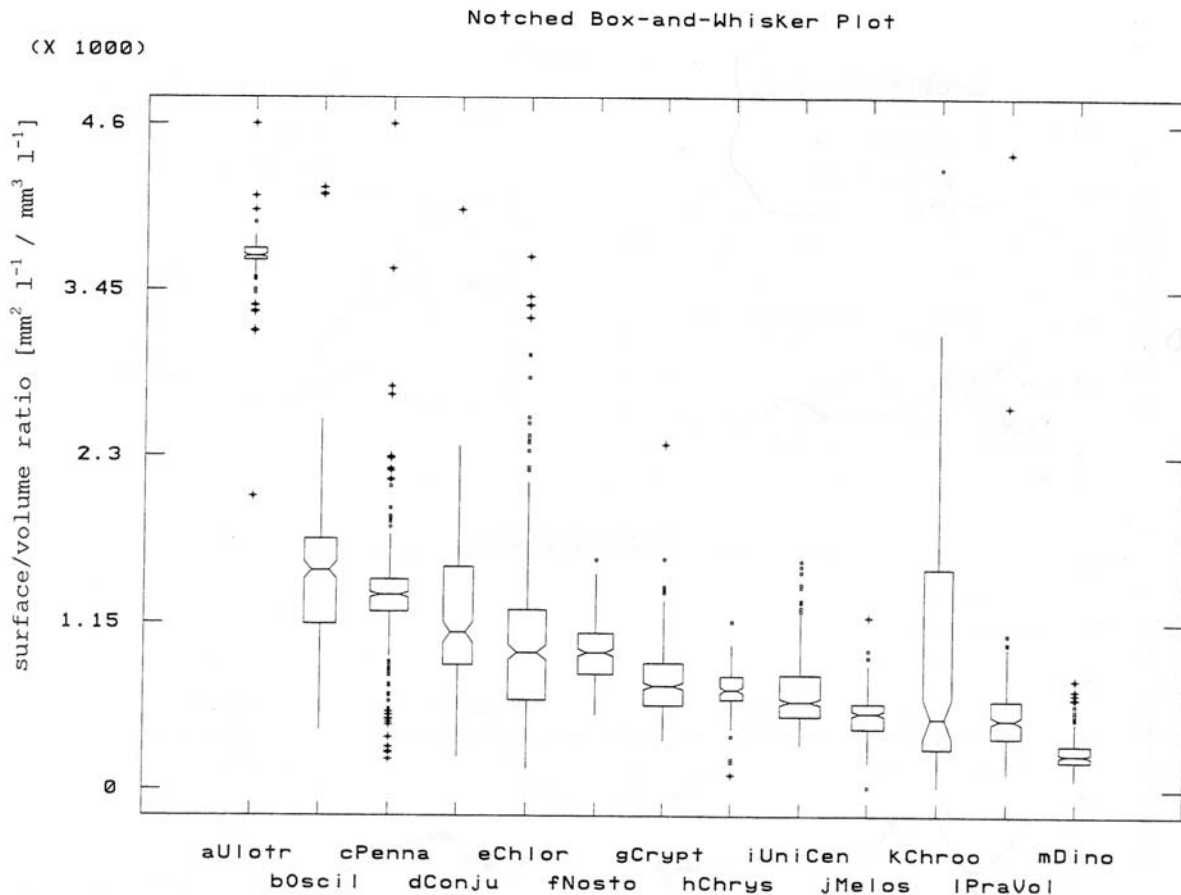


Abb. 23: Vergleich der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse bei Algengruppen verschiedener Algenklassen der untersuchten Gewässer: Bacillariophyceen (einzellige zentrische Diatomeen, *Melosira* s.l., Pennales), Chlorophyta s.l. (Prasinophyceen und Volvocales, Chlorococcales, Ulotrichales, Conjugatophyceen), Cyanophyceen (Chroococcales, Oscillatoriales, Nostocales), Chrysophyceen, Cryptophyceen, Dinophyceen. [Gekerbte Box-Whisker-Darstellung, Datenbasis: Oberfläche/Volumen-Verhältnis der monatlich bzw. 14-tägig genommenen Einzelproben für alle 11 Gewässer über den gesamten Untersuchungszeitraum, Anordnung der Algen folgt sinkendem Median. Algengruppe (Stichprobenumfang) von links nach rechts: Ulotrichales (126), Oscillatoriales (259), Pennales (357), Chroococcales (204), Conjugatophyceen (211), Chlorococcales (344), Nostocales (306), Cryptophyceen (415), Chrysophyceen (129), einzellige zentrische Diatomeen (421), *Melosira* s.l. (264), Prasinophyceen/Volvocales (224), Dinophyceen (245). Allgemeine Erläuterung zur Grafik siehe Abb. 17.]

Dieser Trend von maximalen Oberfläche/Volumen-Verhältnissen im Frühjahr (siehe Strichellinie in Abb. 22) zu niedrigeren Oberfläche/Volumen-Verhältnissen im Früh- bzw. Spätsommer zeigt sich in allen 11 untersuchten Gewässern gleichermaßen mehr oder weniger deutlich. Damit ist in den untersuchten Gewässern dieser Wechsel nicht in Abhängigkeit von einer jeweiligen **gewässer**-spezifischen Phytoplanktonzusammensetzung, sondern vielmehr im Zusammenhang mit einer **jahreszeit**-spezifischen Artenzusammensetzung des Phytoplanktons zu sehen.

Die hier untersuchten Gewässer sind meist durch Frühjahrs-Massenentwicklungen der Cyanophyceen und Bacillariophyceen geprägt. Höhere Populationsdichten erreichen dabei insbesondere Arten der Oscillatoriales (Cyanophyceen) sowie der Pennales und der einzelligen zentrischen Diatomeen (Bacillariophyceen). Eine Gegenüberstellung der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse von Algengruppen verschiedener Algenklassen in den untersuchten Gewässern zeigt, daß die Oscillatoriales deutlich höhere mittlere Oberfläche/Volumen-Verhältnisse im Vergleich zu den anderen Blaualgengruppen (Nostocales und Chroococcales) aufweisen (Abb. 23). Auch innerhalb der Kieselalgen liegen sowohl bei den Pennales als auch den einzelligen zentrischen Diatomeen durchschnittlich höhere Oberfläche/Volumen-Verhältnisse im Vergleich zu der Gruppe der *Melosira* s.l. vor (Abb. 23).

In Übereinstimmung mit den Algengruppen der Cyanophyceen- und Bacillariophyceen spiegeln sich auch bei einer Reihe von Art-Vertretern dieser Gruppen jene abgestuften Oberfläche/Volumen-Verhältnisse wider. So haben beispielsweise mehrere oscillatoriale Arten, wie z. B. *Planktolyngbya subtilis*, *Limnothrix redekei*, *Pseudanabaena* spp., deutlich höhere Oberfläche/Volumen-Verhältnisse als verschiedene Arten der Nostocales, wie z. B. *Anabaena solitaria*, *A. lemmermannii*, *A. flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae* (Abb. 24). Auch zeigen sich sowohl für verschiedene Arten bzw. Artengruppen der Pennales (z. B. *Fragilaria ulna*, *Nitzschia acicularis*, *Asterionella formosa*, *Diatoma* spp.) als auch für eine Vielzahl von einzelligen zentrischen Diatomeen (z. B. *Cyclotella atomus*, *C. pseudostelligera*, *C. meneghiniana*, *C. radiosa*, *Stephanodiscus minutulus*/parvus, *S. hantzschii*, *S. alpinus*, *Cyclostephanos dubius*, *C. invisitatus*, *Thalassiosira weissflogii*) deutlich höhere Oberfläche/Volumen-Verhältnisse als bei den Vertretern der zellkettenbildenden zentrischen Diatomeen (*Aulacoseira* spp., *Melosira varians*) (Abb. 25).

Damit ergeben sich die maximalen Oberfläche/Volumen-Verhältnisse zu Beginn eines jeweiligen Jahres hauptsächlich aus der Frühjahrs-Massenentwicklung von fädigen Blaualgen mit geringen Trichombreiten (Oscillatoriales) sowie von Kieselalgen mit nadelförmig-langgezogenen (Pennales) bzw. kleinen zylinderförmigen Zellen (einzellige zentrische Diatomeen). Darüber hinaus tragen auch die Frühjahrs-Massenentwicklungen von kleinzelligen Arten anderer Algengruppen, wie der Cryptophyceen (z. B. *Rhodomonas* spp.) und Chlorophyta s. l. (z. B. *Chlamydomonas* spp., *Koliella* spp.) usw. zu den hohen Oberfläche/Volumen-Verhältnisse in der Phytoplanktongemeinschaft im Frühjahr bei.

Mit dem Übergang des Frühjahrsplanktons zum Sommerplankton stellt sich meist ein abrupter Wechsel

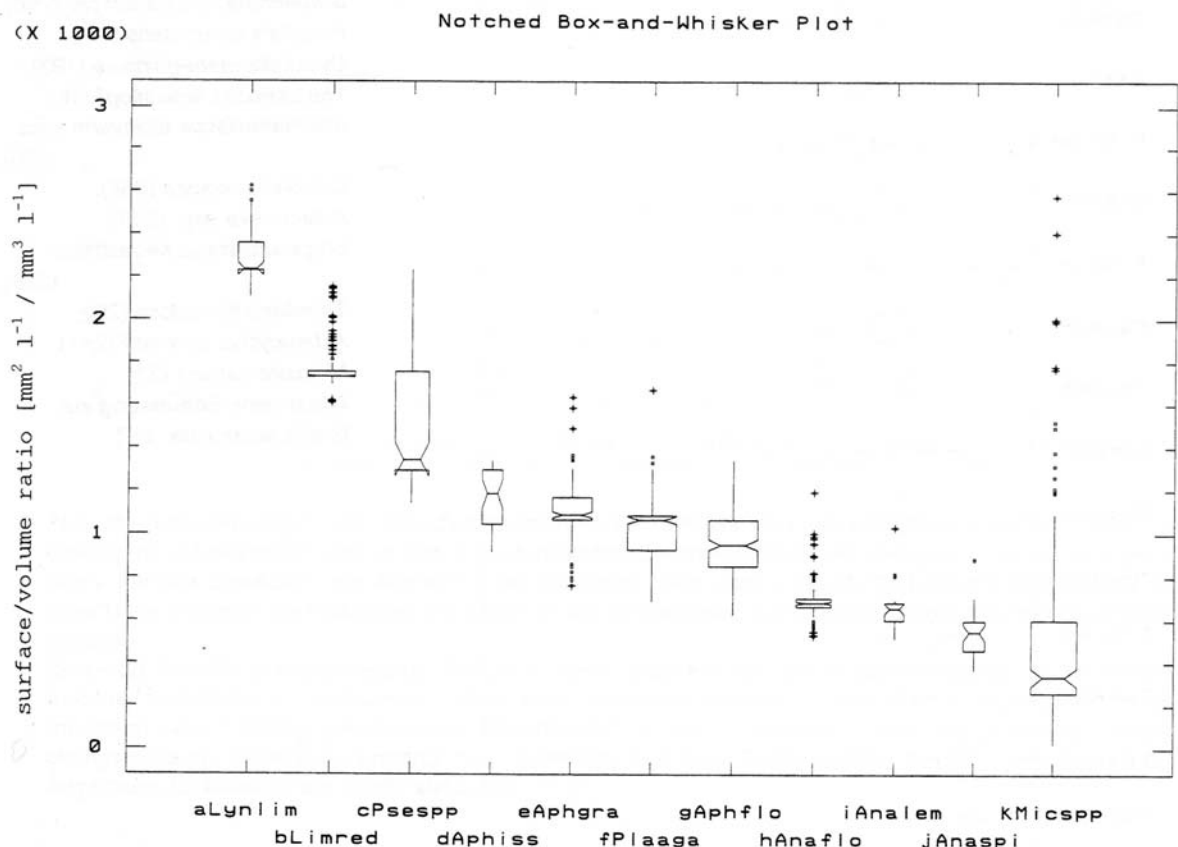


Abb. 24: Oberfläche/Volumen-Verhältnisse bei 12 Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen.

[Gekerbte Box-Whisker-Darstellung, Anordnung der Algen folgt sinkendem Median, Datenbasis analog Abb. 23. Algengruppe (Stichprobenumfang) von links nach rechts: *Planktolyngbya subtilis* (49), *Limnothrix redekei* (173), *Pseudanabaena* spp. (90), *Aphanizomenon issatschenkoi* (34), *Microcystis aeruginosa* s. l. (167), *Aphanizomenon gracile* (126), *Planktothrix agardhii* (185), *Aphanizomenon flos-aquae* (184), *Anabaena flos-aquae* (96), *Anabaena lemmermannii* (30), *Anabaena spiroides* (13), *Anabaena solitaria* (23). Allgemeine Erläuterung zur Grafik siehe Abb. 17.]

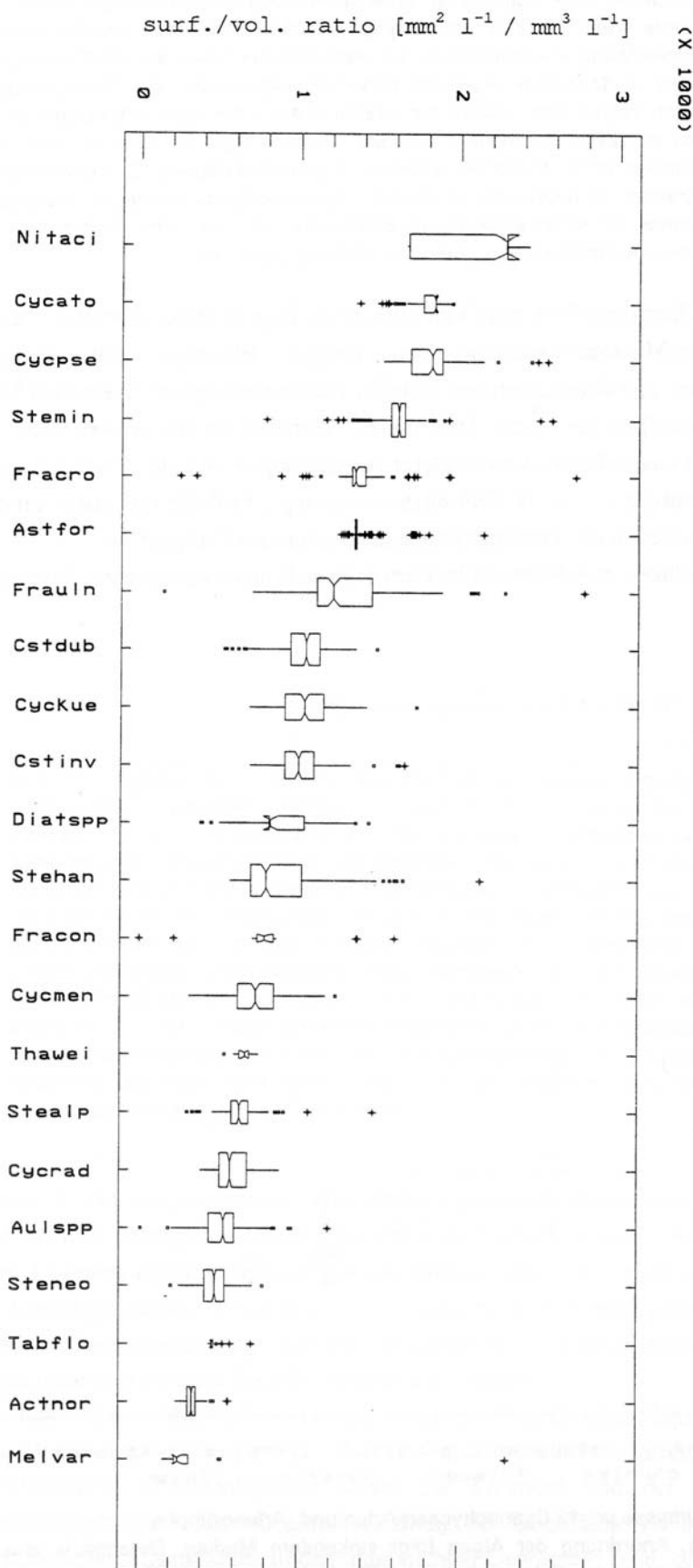


Abb. 25: Oberfläche/Volumen-Verhältnisse bei 22 Bacillariophyceen-Arten und -Artengruppen.

[Gekerbte Box-Whisker-Darstellung, Anordnung der Algen folgt sinkendem Median, Datenbasis analog Abb. 23.]

Algengruppe (Stichprobenumfang) von links nach rechts:

Nitzschia acicularis (168),

Cyclotella atomus (89),

Cyclotella pseudostelligera (182),

Stephanodiscus minutulus

parvus (332),

Fragilaria crotonensis (112),

Asterionella formosa (261),

Fragilaria ulna (225),

Cyclostephanos dubius (301),

Cyclotella kuetzingiana/ocellata

comensis (191),

Cyclostephanos invisitatus (208),

Diatoma spp. (55),

Stephanodiscus hantzschii (298),

Fragilaria construens (18),

Cyclotella meneghiniana (193),

Thalassiosira weissflogii (18),

Stephanodiscus alpinus/medius

(156),

Cyclotella radiosa (358),

Aulacoseira spp. (259),

Stephanodiscus neoastraea

(298),

Tabellaria flocculosa (20),

Actinocyclus normanii (241),

Melosira varians (21). Allgemeine

Erläuterung zur Grafik siehe

Abb. 17.]

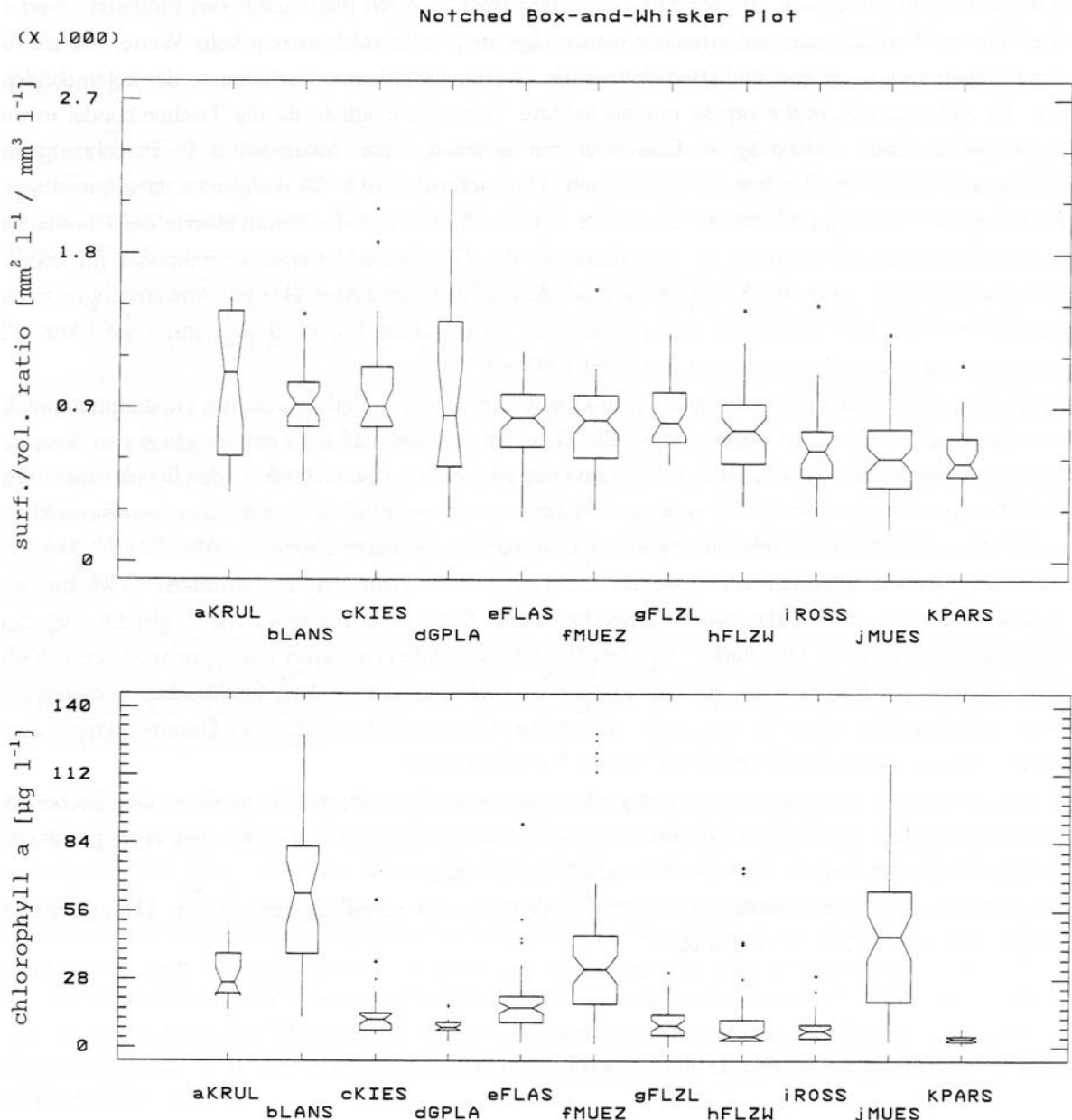


Abb. 26: Schwankungen der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse des Gesamt-Phytoplanktons bzw. der Chlorophyll-a-Konzentrationen in den 11 untersuchten Gewässern über den gesamten Untersuchungszeitraum. Für alle Gewässer, mit Ausnahme der Krummen Lake, liegen nahezu gleich hohe Medianwerte des Oberfläche/Volumen-Verhältnisses vor, obgleich die Medianwerte der Chlorophyll-a-Konzentration z. T. erheblich variieren.

[Gekerbte Box-Whisker-Darstellung, Anordnung der Gewässer folgt dem sinkenden Median der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse, Datenbasis: Oberfläche/Volumen-Verhältnisse und Chl-a-Konzentrationen der monatlich bzw. 14-tägig genommenen Einzelproben für alle 11 Gewässer über den gesamten Untersuchungszeitraum., Stichprobenumfang (n) je Datensatz n = 422; Gewässerabkürzungen siehe Abb. 18 A-B. Allgemeine Erläuterung zur Grafik siehe Abb. 17.]

der Artenzusammensetzung ein (siehe saisonale Unterschiede der Zusammensetzung des Cyanophyceen- bzw. Bacillariophyceen-Planktons in Kapitel 3. 2. 2. 2. 2. und 3. 2. 2. 3. 2.). Als Folge der Etablierung einer neuen Artenzusammensetzung ergeben sich dann wieder häufig steigende Oberfläche/Volumen-Verhältnisse für das Gesamtphytoplankton. So treten beispielsweise im Großen Müggelsee zumindest kurzfristig wieder leicht höhere Oberfläche/Volumen-Verhältnisse auf (Abb. 22 A). Die spätsommerlichen Oberfläche/Volumen-Verhältnisse bleiben jedoch aufgrund der Massenentwicklung von Algen wie z. B.

Aphanizomenon flos-aquae, *Microcystis*- und *Melosira* s. 1.-Arten meist unter den mittleren Oberfläche/Volumen-Verhältnissen und erreichen demzufolge auch nicht solch extrem hohe Werte, wie sie für das Frühjahr kennzeichnend sind (Berechnung der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse der koloniebildenden Art *Aphanizomenon flos-aquae* nur als solitäre Trichome möglich, da die Trichombündel in der lugolfixierten Probe vollständig in Einzeltrichome zerfallen, siehe Methoden S. 9; Berechnung für *Microcystis* als Einzellen bzw. Kolonien, siehe Unterschrift zu Abb. 24, vergleiche dazu quantitative Erfassung der *Microcystis*-Kolonien S. 10 und 38). Der Trend, daß die Sommerwerte des Oberfläche/Volumen-Verhältnisses niedriger als der Mittelwert der Oberfläche/Volumen-Verhältnisses im jeweiligen Gewässer sind, zeigt sich mehrfach im hier untersuchten Gewässerspektrum. Abweichungen treten lediglich bei einzelnen Gewässern und da auch nur in einzelnen Untersuchungsjahren auf (Abb. 22, vergleiche dazu beispielsweise Langer See 1990/1992 mit 1991).

In der Abb. 26 werden die durchschnittlichen Oberfläche/Volumen-Verhältnisse des Gesamtphytoplanktons der einzelnen Gewässer gegenübergestellt. Dabei ist auffällig, daß trotz der verschiedenen Artenzusammensetzung (siehe Tabelle III) und der erheblichen Unterschiede in der Dominanzstruktur des Phytoplanktons (Abb. 19 B) und auch trotz der unterschiedlich hohen Biomasseentwicklung (Abb. 19 A, Abb. 9, siehe Schwankungen der Chlorophyll-a-Konzentrationen in Abb. 26) die Medianwerte der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse des Gesamt-Phytoplanktons der einzelnen Gewässer, mit Ausnahme der Krummen Lake, nahezu gleich hoch sind. Darüber hinaus sind auch vergleichbar geringe Schwankungsbreiten der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse in den Gewässern der „polymiktischen Flußseen“ (LANS, MUES, MUEZ), der „mineralreichen Gewässer“ sowie der „dimiktischen, mesotrophen Seen“ offensichtlich. Allein in den beiden dystrophen Gewässern liegen für das Gesamtphytoplankton höhere Schwankungen der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse vor.

Damit wird für das untersuchte Gewässerspektrum wiederum deutlich, daß die mittleren Oberfläche/Volumen-Verhältnisse des Gesamtphytoplanktons nicht in unmittelbarer Abhängigkeit von einer **gewässer-spezifischen** Zusammensetzungen des Phytoplanktons zu sehen sind.

Der Jahresdynamik der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse bei einzelligen zentrischen Diatomeenarten wird in Kapitel 3. 2. 2. 3. 2. beschrieben.

Überblick

Die Gruppierung der Gewässer entsprechend der ähnlichen Biovolumen-Anteile einzelner Algengruppen (Cyanophyceen: Chroococcales, Oscillatoriales, Nostocales; Bacillariophyceen, Chlorophyta s.l., Dinophyceen, Cryptophyceen, Chrysophyceen) weist auf die Dominanz von folgenden Algen in den Gewässern hin:

Cyanophyceen (Langer See, Großer Müggelsee und Krumme Lake),

Cyanophyceen-Bacillariophyceen (Müggelsee-Zufluß und Flakensee-Zufluß Löcknitz) und

Cyanophyceen-Chlorophyta s.l. (Kiessee).

Alle weiteren Gewässer sind durch höhere Biovolumenanteile von anderen Algengruppen als denen der Cyanophyceen gekennzeichnet, wobei das Plankton des Rosinsees durch eine klare Dominanz der Chlorophyta s.l. geprägt ist (Abbn. 18, 19 B, 20 A-B).

Bei der Differenzierung der Phytoplanktongemeinschaften der untersuchten Gewässer spielen die variierenden Biovolumenanteile der Oscillatoriales, Chlorophyta s. l. und Dinophyceen zum einen und die der Bacillariophyceen und Nostocales zum anderen eine wesentliche Rolle (siehe Ergebnisse der Hauptkomponentenanalyse in Abbn. 20 A-B, 21).

Die Biovolumina höherer Algentaxa (Algenklassen, -ordnungen; -gruppen) ermöglichen zwar eine Differenzierung der untersuchten Gewässer, spiegeln jedoch nicht immer so detailliert die Spezifika der Phytoplanktonzusammensetzung wider, wie es entsprechend der limnologischen Gewässer-Charakteristik zu erwarten gewesen wäre.

Unabhängig von den verschiedenen Artenspektren und unterschiedlichen Dominanzstrukturen des Phytoplanktons zeigen sich zwischen den Gewässern, mit Ausnahme der Krummen Lake, kaum Unterschiede in der Höhe der mittleren Oberfläche/Volumen-Verhältnisse des Gesamtphytoplanktons (Abb. 26). Der Trend zum Wechsel von hohen Oberfläche/Volumen-Verhältnissen des Gesamtphytoplanktons im Frühjahr zu niedrigeren Oberfläche/Volumen-Verhältnissen im Früh- bzw. Spätsommer zeigt sich in allen 11 untersuchten Gewässern gleichermaßen mehr oder weniger deutlich (Abb. 22 A-C). Die hohen Oberfläche/Volumen-Verhältnisse des Gesamtphytoplanktons im Frühjahr sind maßgeblich durch die Frühjahrs-Massenentwicklung von Arten mit relativ hohen Oberflächen gegenüber geringen Volumina - z. B. von Arten der Oscillatoriales, Pennales und einzelligen zentrischen Diatomeen - bedingt (Abbn. 23-25).

Weiterführend werden in den Kapiteln 3.2.2.2 - 3.2.2.4 die Struktur und Dynamik des Phytoplanktons detaillierter auf der Ebene von Arten bzw. Artengruppen untersucht.

3. 2. 2. 2. Das Cyanophyceen-Plankton

Die Cyanophyceen gehören zu den dominanten Algenklassen im untersuchten Gewässerspektrum. In den blualgendominierten Gewässern, zu denen der Große Müggelsee, der Lange See und die Krumme Lake zählen, nehmen die Cyanophyceen ca. 50 bis 65 % des mittleren Gesamtphytoplankton-Biovolumens ein. Aber auch in den übrigen Gewässern, mit Ausnahme des Rosinsees, sind im Durchschnitt mindestens 10 % des Phytoplankton-Biovolumens den Blaualgen zuzuordnen (siehe Abb. 19 B). Bereits anhand der Biovolumen-Verteilung der drei Ordnungen der Cyanophyceen (Chroococcales, Oscillatoriales und Nostocales) wurde im Kapitel 3. 2. 2. 1. 1. deutlich, daß die einzelnen Blaualgengruppen verschiedene Schwerpunkte der Verbreitung in den 11 Gewässern haben. Ziel ist es daher, die diverse Struktur und Dynamik des Cyanophyceen-Planktons detaillierter anhand von Arten bzw. Artengruppen zu untersuchen.

3. 2. 2. 2. 1. Verteilungsmuster der Biovolumina der Arten und Artengruppen

Variationen und Co-Variationen der Biovolumenanteile der Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen

Mit den Hauptkomponentenanalysen (PCA) der Abbn. 27 und 28 werden die Variationen und Co-Variationen der Biovolumenanteile von 28 Cyanophyceen-Arten bzw. -Artengruppen^{*1} in den 11 Gewässern dargestellt. Analog dazu wird im Dendrogramm der Hierarchischen Clusteranalyse (HCA)^{*2} die Gruppenbildung dieser Taxa entsprechend ähnlich kombinierten Biovolumenanteilen in den untersuchten Gewässern gezeigt (Abb. 29).

^{*1} Die taxonomische Beschreibung der Arten bzw. Artengruppen der Cyanophyceen ist in Kapitel 3. 2. 1. gegeben [siehe auch Mikrofotografien zu den Arten der Chroococcales (Tafel I und II S. 49, 51) und Oscillatoriales/ Nostocales (Tafel III S. 53)]. Obwohl der Schwerpunkt der quantitativen Phytoplanktonanalyse auf der Bestimmung der Art-Biovolumina liegt, mußte für manche Arten infolge taxonomisch-methodischer Probleme der Kompromiß eingegangen werden, auf eine Erfassung der Biovolumina von Artengruppen auszuweichen.

^{*2} Es ist methodisch bedingt, daß mit der Dendrogramm-Darstellung quasi zwangsläufig eine hierarchische Gruppierung der Arten abgebildet wird. Somit birgt die HCA die Gefahr in sich, selbst geringe Unterschiede im Datensatz überbetont scharf trennend darzustellen. Es empfiehlt sich daher, in Kombination zur HCA eine PCA durchzuführen. Zeigt sich eine weitestgehende Übereinstimmung zwischen der Gruppenbildung im Ergebnis der HCA und einer Formierung von Gruppen entsprechend den korrelativen Zusammenhängen durch die PCA, kann mit größerer Bestimmtheit abgeleitet werden, daß die ausgewiesene Gruppenbildung einem realen Hintergrund im vorliegenden Datensatz entspricht (siehe u. a. HENRION et al. 1988).

Aus der Abb. 27 läßt sich ableiten, daß die Biovolumenanteile von *Microcystis viridis* und *M. aeruginosa* s. l. stärker mit denen der nostocalen Arten (siehe auch Cluster S2a in Abb. 29) korrelieren. Für die dem Cluster S1b (Abb. 29) zugeordneten chroococcalen Taxa spiegelt sich in der PCA nicht immer eine solche klare Unterteilung wider wie sie mit der Clusterbildung S2c und S2d dargelegt ist. Übereinstimmend zeigt sich jedoch für das hier untersuchte Gewässerspektrum, daß mit höheren Biovolumina von *Snowella litoralis* meist auch höhere Biovolumina von *Merismopedia* spp. vorkommen. Außerdem treten in Begleitung dieser beiden Taxa häufiger höhere Populationsdichten von *Chroococcus turgidus*, *Woronichinia compacta* und *W. naegeliana* auf.

Für die fädigen Blaualgen ergibt sich durchweg eine bessere Übereinstimmung zwischen den miteinander korrelierenden Biovolumenanteilen in der PCA und der Gruppenbildung der HCA. So zeigt sich klar, daß in den untersuchten Gewässern die Massenentwicklungen von *Planktothrix agardhii* meist von höheren Biovolumina von *Aphanizomenon gracile*, aber auch von *Limnithrix redekei* und von *Pseudanabaena* spp. begleitet werden (Abb. 28; siehe auch Cluster S2b in Abb. 29).

Principal Components Analysis: Non-filamentous blue-green algae

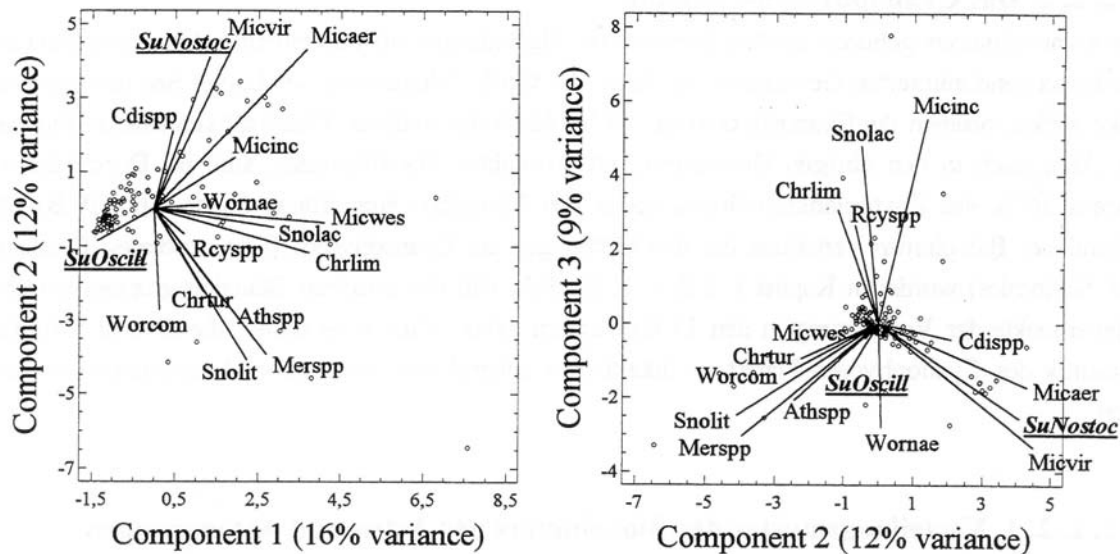


Abb. 27: Variationen und Co-Variationen der Biovolumenanteile von einzelnen nicht-fädigen Cyanophyceen-Taxa (Chroococcales) gegenüber den Biovolumenanteilen der Oscillatoriales und Nostocales (fädige Cyanophyceen).

[Biplot-Darstellung der Hauptkomponentenanalyse (PCA). Darstellung der 1. gegen die 2. Hauptkomponente (HK) (links) bzw. der 2. gegen die 3. HK (rechts). Gezeigter Betrag der Gesamtvarianz für die 1.-3. HK gleich 37 %. Der Übersicht halber wurden allein die Variablen beschriftet. Datenbasis: Saison-Mittelwerte.

Variablenbeschriftung (→ siehe Mikrofotografien der Tafeln I und II S. 49, 51): **Athspp** → *Aphanotheca* spp./*Aphanocapsa* spp., **Cdiimp** → *Cyanodictyon imperfectum*, **Chrlim** → *Chroococcus limneticus/minutulus*, **Chrtur** → *Chroococcus turgidus*, **Merspp** → *Merismopedia* spp., **Micaer** → *Microcystis aeruginosa* s.l. (siehe Kapitel 3. 2. 1. 2. 1.), **Micinc** → *Microcystis incerta*, **Micvir** → *Microcystis viridis*, **Micwes** → *Microcystis wesenbergii*, **Rcyspe** → *Radiocystis* spec., **Snolac** → *Snowella lacustris*, **Snolit** → *Snowella litoralis*, **Su Oscill** → Summe Oscillatoriales, **Su Nostoc** → Summe Nostocales, **Worcom** → *Woronichinia compacta*, **Wornae** → *Woronichinia naegeliana*.]

In den Gewässern mit Massenentwicklungen von *Aphanizomenon flos-aquae* bilden häufig auch weitere Nostocales, wie *Anabaena flos-aquae*, *A. spiroides*, *A. solitaria* und *Aphanizomenon issatschenkoi*, höhere Biovolumina (Abb. 28, in Abb. 29 siehe Cluster S2a). Dagegen ergibt sich für eine weitere *Anabaena*-Art, *Anabaena lemmermannii*, eine stärkere Biomasseentwicklung gerade in den nicht von *Aphanizomenon flos-aquae* dominierten Phytoplanktongemeinschaften. *Anabaena lemmermannii* tritt dabei zusammen mit *Planktothrix rubescens* (siehe Abb. 28) häufiger in Begleitung von einer Reihe chroococcaler Arten auf (siehe Cluster S2c in Abb. 29).

Weiterhin ist erkennbar, daß sich bei Massenentwicklungen von *Planktolyngbya subtilis* zugleich relativ hohe Biovolumina von *Aphanizomenon skujae* entwickeln (siehe Hinweis auf enge Korrelation in Abb. 28, in Abb. 29 siehe Cluster S2d).

Auf der Höhe der im Dendrogramm eingezeichneten ersten Schnittebene (S1) der Abb. 29 liegen im wesentlichen die Cyanophyceen-Taxa der „polymiktischen Flußseen“ und „mineralreichen Gewässer“ (Cluster S1a) von denen der „dimiktischen, mesotrophen Seen“ (Parsteiner See und Rosinsee) und „dystrophen Seen“ (Cluster S1b) separiert (vergleiche dazu Artenliste der 11 Gewässer in Tabelle III S. 68-71). Der Schwerpunkt der Biomasseentwicklung der Cyanophyceen-Taxa des Clusters S1a läßt sich dementsprechend den „polymiktischen Flußseen“ und den „mineralreichen Gewässern“ zuordnen. Dagegen ist für die Cyanophyceen-Taxa des Clusters S1b die hauptsächliche Biomasseentwicklung in den übrigen untersuchten Gewässern zu suchen (siehe auch Abb. 34).

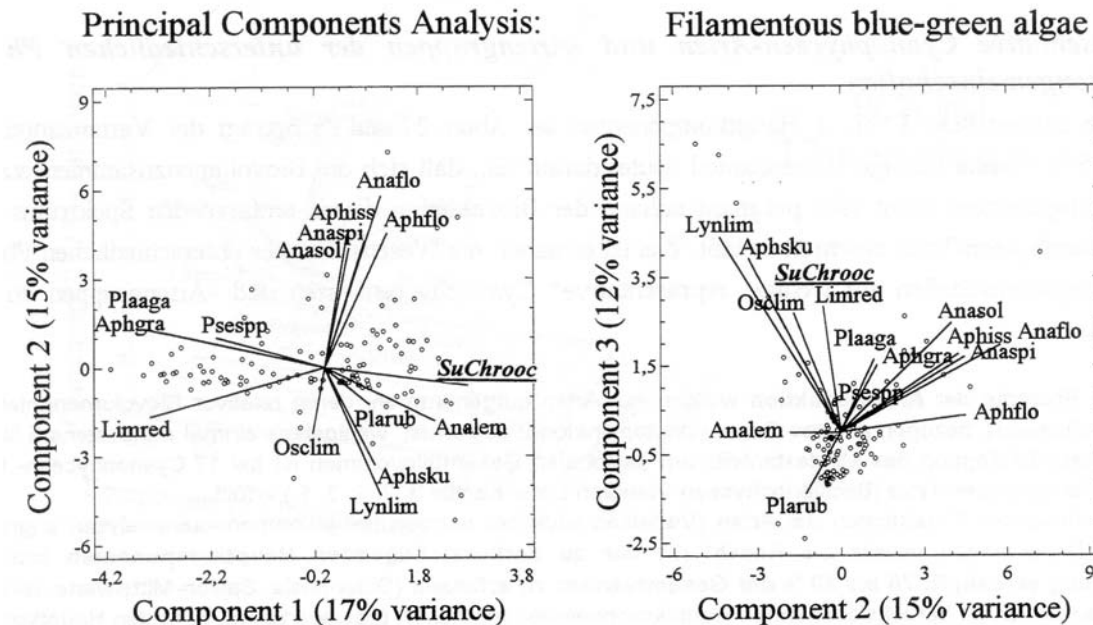


Abb. 28: Variationen und Co-Variationen der Biovolumenanteile von einzelnen fädigen Cyanophyceen-Taxa (Oscillatoriales, Nostocales) gegenüber den Biovolumenanteilen der nicht-fädigen Cyanophyceen (Chroococcales).

[Biplot-Darstellung der PCA und Datenbasis analog Abb. 27. Gesamtvarianz für die 1.-3. HK gleich 45 %.

Variablenbeschriftung ($\rightarrow^{III}$ siehe Mikrofotografien der Tafel III S. 53): **Anaflo** $\rightarrow^{III}$ *Anabaena flos-aquae*, **Analem** $\rightarrow^{III}$ *Anabaena lemmermannii*, **Anasol** $\rightarrow^{III}$ *Anabaena solitaria*, **Anaspi** $\rightarrow^{III}$ *Anabaena spiroides*, **Aphgra** $\rightarrow^{III}$ *Aphanizomenon gracile*, **Aphflo** $\rightarrow^{III}$ *Aphanizomenon flos-aquae*, **Aphiss** $\rightarrow^{III}$ *Aphanizomenon issatschenkoi*, **Aphsku** $\rightarrow^{III}$ *Aphanizomenon skujae*, **Limred** $\rightarrow^{III}$ *Limnithrix redekei*, **Lynlim** $\rightarrow^{III}$ *Planktolingbya subtilis* (Syn.: *Lynbya limnetica*), **Osclim** $\rightarrow^{III}$ *Oscillatoria limosa*, **Plaaga** $\rightarrow^{III}$ *Planktothrix agardhii*, **Plarub** $\rightarrow^{III}$ *Planktothrix rubescens*, **Psespp** $\rightarrow^{III}$ *Pseudanabaena* spp., **Su Chrooc** $\rightarrow^{III}$ Summe Chroococcales.]

Cyanophyte species and species groups

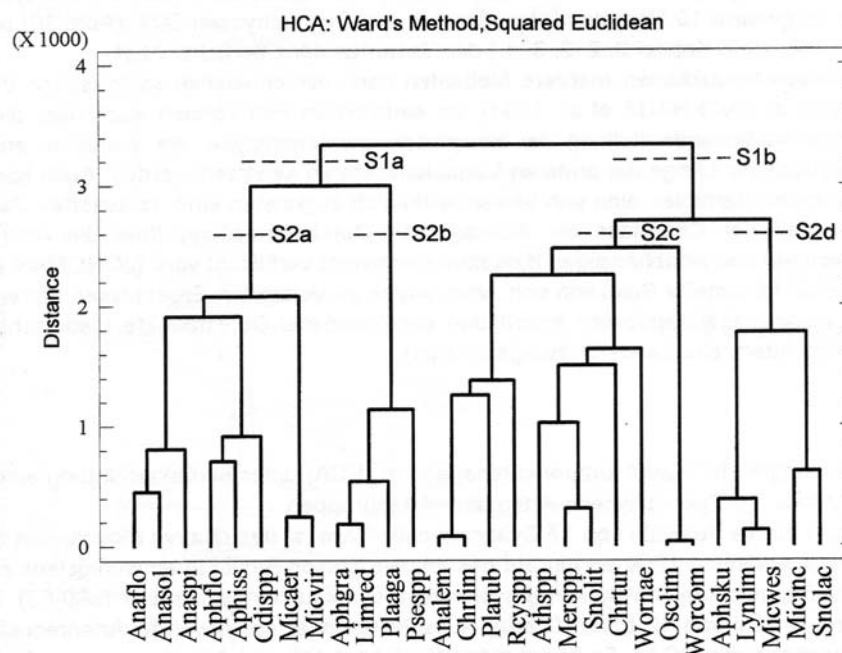


Abb. 29: Gruppierung der Cyanophyceen-Taxa entsprechend ihren relativen Biovolumenanteilen am Gesamtphytoplankton-Biovolumen.

[Dendrogramm-Darstellung der Hierarchischen Clusteranalyse, Datenbasis: Saison-Mittelwerte. Strichellinien markieren Schnittebenen S1 und S2. Abkürzungen der Algennamen siehe Abbn. 27-28.]

Repräsentative Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen der unterschiedlichen Phytoplanktongemeinschaften

Für die dargestellten 1. bis 3. Hauptkomponenten der Abbn. 27 und 28 beträgt der Varianzanteil 37 bzw. 45 %. Dieser geringe Varianzanteil deutet darauf hin, daß sich die Biovolumenzusammensetzung des Phytoplanktons nicht sehr prägnant anhand der Biovolumina dieses umfassenden Spektrums von 28 Cyanophyceen-Taxa beschreiben läßt. Ziel ist es daher, die Wesenszüge der unterschiedlichen Phytoplanktongemeinschaften auf wenige, repräsentative* Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen zu beschränken.

* In die Prozedur der **Artenreduktion** wurden nur Arten aufgenommen, deren relativer Biovolumenanteil im Saison-Mittelwert, bezogen auf das Gesamtphytoplankton-Biovolumen, wenigstens einmal mindestens 5 % beträgt. Diese Bedingung des Mindestanteils am saisonalen Gesamtbiovolumen ist bei 17 Cyanophyceen- bzw. 22 Bacillariophyceen-Taxa (Bacillariophyceen-Plankton siehe Kapitel 3. 2. 2. 3. 1.) erfüllt.

Den schrittweisen Extraktionen der Arten (Variablenreduktion) wurden Hauptkomponentenanalysen zugrunde gelegt. Dabei wurde jeweils die **Anzahl (n) der zu berücksichtigenden Hauptkomponenten mit der Bedingung verknüpft, 70 bis 80 % der Gesamtvarianz zu erfassen** (Datenbasis: Saison-Mittelwerte, n=129). Arten, die in den zu berücksichtigenden Hauptkomponenten mit hohen Eigenwerten (d. h. in den Hauptkomponenten mit hohen Varianzanteilen) hohe Beträge der Ladungen aufweisen (Ladungen sind die Korrelationskoeffizienten der Variablen für eine Hauptkomponente), haben einen hohen „Erklärungsbeitrag“ bei der Darstellung der Verteilung der Saisonbiovolumen-Anteile der 11 Gewässer. Der Erklärungsbeitrag der Art a (B_a) wurde mit den Eigenwerten (λ) und den Ladungen (l) für die Hauptkomponentenzahl 1 bis n wie folgt berechnet:

$$B_a = \left(\lambda_1 |l_{a1}| + \lambda_2 |l_{a2}| + \dots + \lambda_n |l_{an}| \right) = \sum_{i=1}^n \lambda_i |l_{ai}|$$

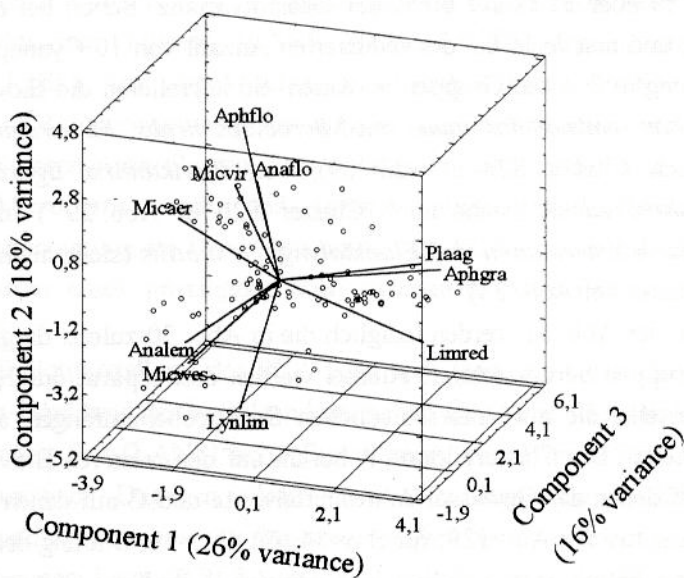
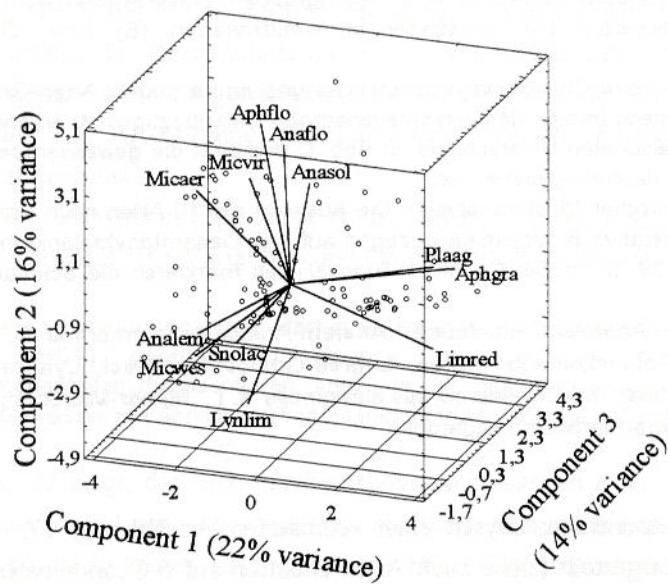
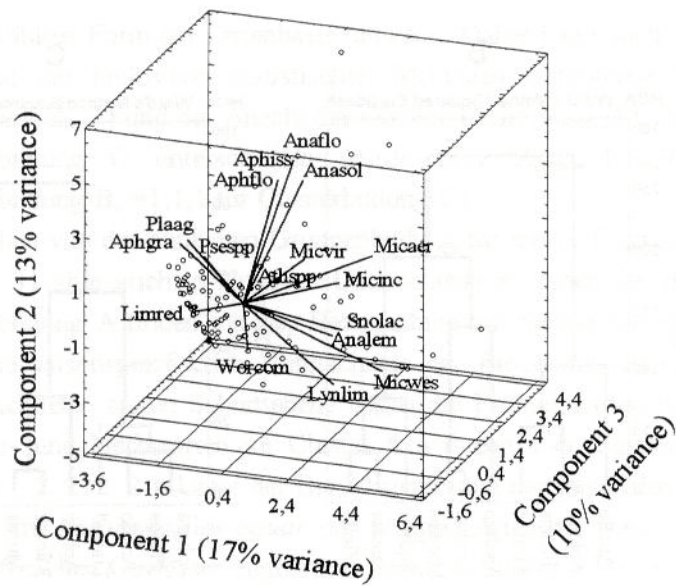
Nach der Berechnung dieser Erklärungsbeiträge einer jeden in die PCA einbezogenen Art wurden jene Arten mit den niedrigsten Werten aus dem Datensatz herausgenommen und gingen folglich nicht in die nachfolgende, erneut durchgeführte PCA ein. Bei der hier durchgeführten Variablenreduktion lag eine gewisse Entscheidungsfreiheit in der willkürlich festgelegten Anzahl der Arten, die nach jeder PCA eliminiert wurden. Im allgemeinen wurden mit den ersten PCA jeweils mehrere, bei den in Folge durchgeführten PCA meist nur je eine Art eliminiert. **Die Zahl der Variablen (Arten) wurde so weit reduziert, daß mit den ersten 3 Hauptkomponenten mindestens 60 % der Gesamtvarianz erfaßt wird. Diese Bedingung war mit einer Reduktion auf 10 Cyanophyceen- bzw. Bacillariophyceen-Taxa erfüllt.** Mit diesen 10 Algentaxa werden bei der Biplot-Darstellung der ersten drei von insgesamt 10 Hauptkomponenten bei den Cyanophyceen 60% (Abb. 30) und bei den Bacillariophyceen 64 % (Abb. 49 in Kapitel 3. 2. 2. 3. 1.) der Gesamtvarianz berücksichtigt.

Prinzipiell werden für Variablenreduktionen mehrere Methoden nach verschiedenen statistischen Verfahren in der Literatur angegeben (u. a. BACKHAUS et al. 1994). Im einfachsten Fall können auch über die grafische Darstellung, d. h. über die Variablendarstellung der Hauptkomponentenanalyse, die Variablen entsprechend ihrer Vektorlänge im Vergleich zur Länge der anderen Variablenvektoren selektiert werden. Auch kann bei zwei eng miteinander korrelierenden Variablen eine von beiden willkürlich zugunsten einer reduzierten Variablenzahl eliminiert werden, ohne daß der Charakter der Aussage zur Objektdarstellung (hier die Anordnung der Gewässerpunkte entsprechend den artabhängigen Biovolumenanteilen) verfälscht wird (JONGMAN et al. 1987, HENRION et al. 1988). Eine fehlerhafte Selektion von Arten würde zu verzerrten Ergebnissen führen, was sich im Extremfall in einer „zusammenhangslosen“ Anordnung der Gewässer-Objektpunkte niederschlagen kann (Sichtbarwerden eines nicht interpretierbaren Ordnungsprinzips).

Abb. 30: Biplot-Darstellungen der Hauptkomponentenanalysen (PCA) unter Berücksichtigung einer reduzierten Anzahl von 17, 12 bzw. 10 Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen.

Das Ausgangskriterium für die Auswahl von 17 Cyanophyceen-Taxa ist das relative Biovolumen der Saison-Mittelwerte. Bei den ausgewählten 17 Arten beträgt das relative Saison-Biovolumen wenigstens einmal mindestens 5 % des Gesamtphytoplankton-Saison-Biovolumens (Untersuchungszeitraum 1990-93). Die Extraktion der Taxa auf eine Anzahl von 12 bzw. 10 zeigt Ausschnitte einer schrittweisen Artenreduktion (Variablenreduktion) entsprechend den PCAs. Es werden dabei solche Arten und Artengruppen aussortiert, deren „Erklärungsbeitrag“ gering ist. Mit der Variablenreduktion erhöht sich für die ersten drei Hauptkomponenten der erklärte Varianzanteil von 40 % auf 52 % bzw. 60 % der Gesamtvarianz. Nähere Erläuterung siehe Text.

[Der Übersicht halber wurden allein die Variablen beschriftet. Datenbasis: Saison-Mittelwerte, relative Biovolumina bezogen auf Gesamtphytoplankton-Biovol. Abkürzungen der Algennamen siehe Abbn. 27-28.]



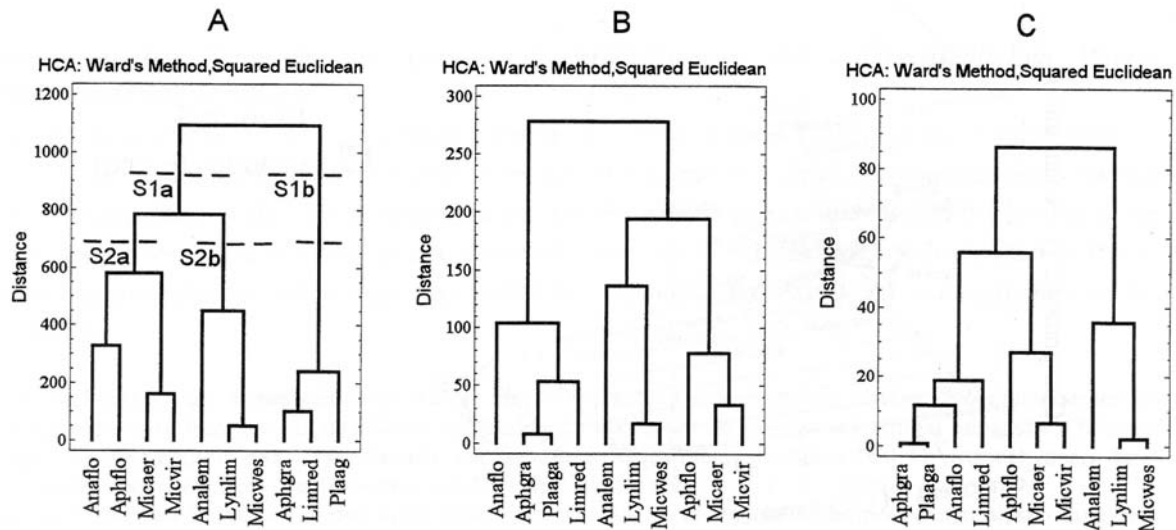


Abb. 31: Gruppenbildung von 10 Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen entsprechend den relativen Biovolumenanteilen bei Saison-Mittelwerten (A), Gewässer-Jahresmittelwerten (B) bzw. Gewässer-Mittelwerten (C).

Prinzipiell zeigen sich im Ergebnis der drei Clusteranalysen ähnliche und damit stabile Arten-Gruppenbildungen, obgleich in Nuancen Unterschiede infolge des verschiedenartigen Datenbezuges zu erkennen sind. In der Abb. A kommen Aspekte der saisonalen Unterschiede, in Abb. C verstärkt die gewässerspezifischen Unterschiede zum Ausdruck. Nähere Erläuterung siehe Text.

[Dendrogramm-Darstellungen Hierarchischer Clusteranalysen. Die Auswahl der 10 Arten nach Variablenreduktion (siehe Abb. 30), Datenbasis: relative Biovolumina bezogen auf das Gesamtphytoplankton-Biovolumen, Stichprobenumfang (n): A - n=129, B - n=34; C - n=11. Strichellinien markieren die Schnittebenen 1 und 2 (S1, S2).

Abkürzung der Algennamen: **Anafla**-Anabaena flos-aquae, **Analem**-Anabaena lemmermannii, **Aphflo**-Aphanizomenon flos-aquae, **Aphgra**-Aphanizomenon gracile, **Limred**-Limnothrix redekei, **Lynlim**-Planktolyngbya subtilis (Syn. Lyngbya limnetica), **Micaer**-Microcystis aeruginosa s. l., **Micvir**-Microcystis viridis, **Micwes**-Microcystis wesenbergii, **Plaaga**-Planktothrix agardhii.]

In der Abb. 30 werden die Hauptkomponentenanalysen einer reduzierten Anzahl von 17, 12 bzw. 10 Cyanophyceen-Taxa vergleichend dargestellt (siehe auch Artenreduktion auf 6 Cyanophyceen-Arten in Abb. 32). Mit der Variablenreduktion erhöht sich der für die ersten drei dargestellten Hauptkomponenten erklärte Varianzanteil von 40 % über 52 % auf 60 % der Gesamtvarianz. Schon bei der Darstellung von 12 Cyanophyceen-Taxa, und erst recht bei der reduzierten Anzahl von 10 Cyanophyceen-Taxa, läßt sich eine deutliche Einteilung in 3 Arten-Gruppen erkennen. So korrelieren die Biovolumenanteile der Saison-Mittelwerte von *Aphanizomenon flos-aquae* mit *Microcystis viridis*, *M. aeruginosa* s. l. und *Anabaena flos-aquae* (siehe auch Cluster S2a in Abb. 29), von *Planktothrix agardhii* mit *Aphanizomenon gracile* und *Limnothrix redekei* (siehe auch Cluster S2b in Abb. 29) bzw. von *Microcystis wesenbergii* mit *Anabaena lemmermannii* und *Planktolyngbya subtilis* (siehe auch Cluster S1b in Abb. 29, siehe auch Matrix-Scatterplot Abb. 33).

In den Hierarchischen Clusteranalysen der Abb. 31 werden lediglich die in Abb. 30 zuletzt dargestellten 10 Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen berücksichtigt. Hierbei werden drei separat durchgeführte Clusterbildungen (A-C) gegenübergestellt, die auf unterschiedlichen Stichprobenumfängen aufgrund verschieden gepoolter Datensätze basieren. Die Clusterbildung A beruht auf den relativen Biovolumenanteilen der Saison-Mittelwerte, B auf denen der Gewässer-Jahresmittelwerte und C auf denen der Gewässer-Mittelwerte (Stichprobenumfang (n): für A n=129, für B n=34, für C n=11; Bildung der Mittelwerte siehe Kapitel 2. 6.). In allen drei Fällen zeigt sich hier eine prinzipiell ähnliche Clusterbildung, was auf eine stabile Gruppenbildung der 10 Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen unabhängig von

der gewählten Form der Datenbasis hinweist. Daher kann auch vernachlässigt werden, daß das für die Stabilität der multivariat-statistischen Methoden empfohlene Verhältnis zwischen der Anzahl der Variablen (Z_{Arten}) und der Anzahl der Objekte (Fälle, Z_{Proben}) von 1 : 3 (HENRION et al. 1988) mit der Clusterbildung C unterschritten wurde ($Z_{\text{Arten}}:Z_{\text{Proben}}=1:12,9$ für Clusterbildung-A; $=1:3,4$ für Clusterbildung-B; $=1:1,1$ für Clusterbildung-C).

Abgesehen von der ähnlichen Gruppenbildung für die 10 Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen sind in Abb. 31 aber auch in Nuancen Unterschiede zwischen den drei Clusterbildungen sichtbar. Bei der Clusterbildung A finden mit der Bezugnahme auf Saison-Mittelwerte neben den gewässerspezifischen auch die seasonspezifischen Unterschiede der Biovolumenverteilung eine Berücksichtigung. Mit der eingezeichneten ersten Schnittebene liegen die Frühjahrsarten bevorzugt im Cluster S1b, dagegen die Sommer- und Herbstarten im Cluster S1a (siehe auch Saisonalität des Cyanophyceen-Planktons in Kapitel 3. 2. 2. 2. 2.). Unter der Berücksichtigung der saisonalen Zugehörigkeit wird auch die Sommer-Herbst-Art *Anabaena flos-aquae* den übrigen Arten der sommer-herbstlichen Massenentwicklung der nährstoffreichen Gewässer zugeordnet (siehe A-Cluster S2a). Im Cluster S2b befinden sich die übrigen Sommer- und Herbst-Arten der nährstoffärmeren bzw. dystrophen Gewässer (vergleiche dazu Artenliste in Tabelle III S. 68-71). In die Clusterbildungen B und C sind die Informationen über saisonale Unterschiede infolge der Bezugnahme auf Jahres-Mittelwerte bzw. Gewässer-Jahresmittelwerte nicht eingeflossen. Entsprechend der gewässerspezifischen Verteilung der Biovolumenanteile ist hier die Art *Anabaena flos-aquae* der Artengruppe von *Limnothrix redekei*, *Planktothrix agardhii* und *Aphanizomenon gracile* zugeordnet.

In der Abb. 32 wird in Ergänzung zu den Arten die Gewässergruppierung gezeigt (Datenbasis: ein und derselbe Datensatz für Variablen- und Objektdarstellung der HCA und PCA).

Arten, deren Biovolumenanteile stärker miteinander korrelieren (PCA), werden zu (ähnlichen) Gruppen, d. h. Clustern (HCA), geordnet. Objektpunkte, die Gewässer mit ähnlich strukturierten, artabhängigen Biovolumenanteilen repräsentieren, liegen in der Biplotdarstellung räumlich eng beieinander (PCA). Analog werden Gewässer mit ähnlichen Phytoplanktonstrukturen einem Cluster (HCA) zugeordnet.

Die Abb. 32 zeigt, daß sich mit den Biovolumenanteilen einer reduzierten Anzahl von Cyanophyceen-Arten hinreichend genau die Spezifika ähnlicher oder unähnlicher Phytoplanktonstrukturen der Gewässer widerspiegeln lassen. Im Ergebnis der HCA (Dendrogramm links) und auch der PCA zeigt sich eine Gruppierung der 11 Gewässer, die mit der Gewässer-Gruppenbildung entsprechend der limnologischen Charakteristik identisch ist. So lassen sich die Unterschiede der Phytoplanktonzusammensetzung in den „polymiktischen Flußseen“ (LANS, MUEZ, MUES), den „mineralreichen Gewässern“ (FLZW, FLAS, FLZL, KIES), den „dimiktischen, mesotrophen Seen“ (PARS, ROSS) und den „dystrophen Seen“ (GPLA, KRUL) im wesentlichen anhand der unterschiedlich verteilten Biovolumenanteile von den drei Cyanophyceen-Arten-Paaren *Planktolyngbya subtilis*/*Microcystis wesenbergii*, *Aphanizomenon flos-aquae*/*Microcystis viridis* und *Aphanizomenon gracile*/*Planktothrix agardhii* beschreiben (HCA: Zweiergruppierung im Dendrogramm rechts, PCA: kleine Winkel zwischen den Variablenvektoren der zwei Arten eines jeweiligen, oben genannten Arten-Paares; siehe auch Korrelationsmatrix B in Abb. 33).

In der Biplotdarstellung der PCA zeigt sich auch die unterschiedliche Zusammensetzung des Cyanophyceen-Planktons der blaualgendominierten Gewässer. Hinsichtlich der Gewässer-Mittelwerte sind für den Langen See (LANS) hohe Biovolumina von *Planktothrix agardhii* und *Aphanizomenon gracile* charakteristisch. Dagegen werden im Großen Müggelsee (MUES) hohe Biovolumina von *Microcystis viridis* und *Aphanizomenon flos-aquae* gegenüber allen anderen 4 Cyanophyceen-Arten beobachtet. In der Krummen Lake (KRUL) ist das Plankton durch die Biomasseentwicklung von *Planktolyngbya subtilis* und *Microcystis wesenbergii* geprägt.

Die in Abb. 32 dargestellten 6 Cyanophyceen-Arten können somit als markante Art-Vertreter der

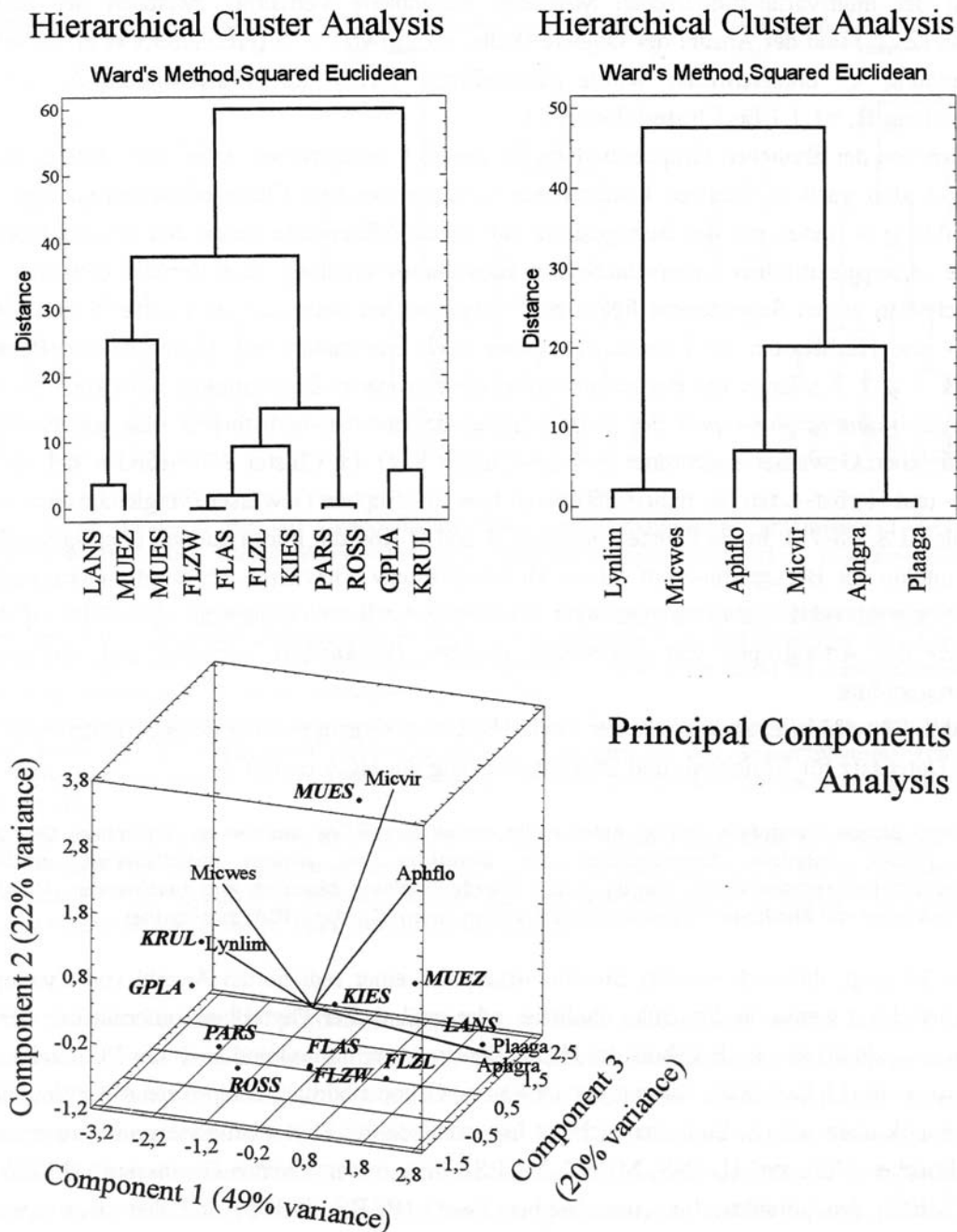
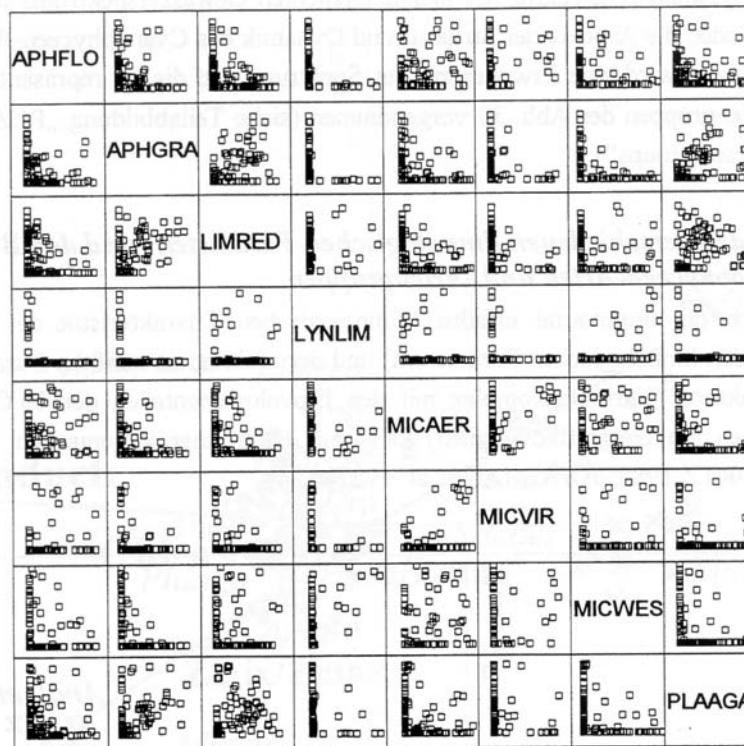


Abb. 32: Gruppierung der untersuchten Gewässer bzw. Cyanophyceen-Arten.

Im Ergebnis der Hierarchischen Clusteranalyse (HCA) und der Hauptkomponentenanalyse (PCA) zeigt sich hier eine Gruppierung/Anordnung der 11 Gewässer(punkte), die sich mit der Gruppenbildung entsprechend der limnologischen Charakteristik deckt (LANS, MUEZ, MUES = „polymiktische Flußseen“; FLAS, FLZL, FLZW und KIES = „mineralreiche Gewässer“; ROSS und PARS = „dimiktische, mesotrophe Seen“; GPLA und KRUL = „dystrophe Seen“, siehe Kapitel 3. 1. 2.). Somit repräsentieren die relativen Biovolumenanteile der 6 ausgewählten Arten die spezifische Struktur des Cyanophyceen-Planktons in den vier limnologisch verschiedenen Gewässergruppen.

Die Variablendarstellung der PCA verweist darauf, daß die relativen Biovolumenanteile von *Planktolyngbya subtilis* (Lynlim) und *Microcystis wesenbergii* (Micwes), von *Aphanizomenon flos-aquae* (Aphflo) und *Microcystis viridis* (Micvir) sowie von *Aphanizomenon gracile* (Aphgra) und *Planktothrix agardhii* (Plaaga) co-variiieren (siehe Übereinstimmung zur Gruppenbildung der Arten in HCA-Dendrogramm rechts).

[Datenbasis: Gewässer-Mittelwerte, relatives Biovolumen bezogen auf Gesamtphytoplankton-Biovolumen, HCA und PCA basieren auf dem selben Datensatz, Darstellung: HCA-Dendrogramm, PCA-Biplot, Gewässer: **LANS**-Langer See, **MUEZ**-Müggelsee-Zufluß, **MUES**-Großer Müggelsee, **FLZW**-Flakensee-Zufluß-Wolt. Schleuse, **FLAS**-Flakensee, **FLZL**-Flakensee-Zufluß-Löcknitz, **KIES**-Kiessee, **PARS**-Parsteiner See, **ROSS**-Rosinsee, **GPLA**-Großer Plagesee, **KRUL**-Krumme Lake. Objektpunkte FLAS und FLZW dicht beieinander.]



A Correlation Matrix:

	APHFLO	APHGRA	LIMRED	LYNLIM	MICAER	MICVIR	MICWES	PLAAGA
APHFLO	1,00000							
APHGRA	-,08207	1,00000						
LIMRED	-,19627	,60237	1,00000					
LYNLIM	-,15427	-,15316	,18719	1,00000				
MICAER	,32145	-,17421	-,21160	,07670	1,00000			
MICVIR	,33589	-,09424	-,08571	-,06428	,53390	1,00000		
MICWES	-,07551	-,23714	,00761	,60766	,40451	,32882	1,00000	
PLAAG	-,07075	,48766	,37667	-,07150	-,18426	-,01042	-,19733	1,00000

B Correlation Matrix:

	APHFLO	APHGRA	LIMRED	LYNLIM	MICAER	MICVIR	MICWES	PLAAGA
APHFLO	1,00000							
APHGRA	,20841	1,00000						
LIMRED	-,06335	,45282	1,00000					
LYNLIM	-,42290	-,41592	,33696	1,00000				
MICAER	,03875	-,13106	,08249	,08232	1,00000			
MICVIR	,50563	,22045	,17348	-,19420	,55187	1,00000		
MICWES	-,39793	-,46673	,11977	,86553	,45527	,12222	1,00000	
PLAAGA	,29080	,92715	,47214	-,22261	-,21943	,09387	-,37211	1,00000

Abb. 33: Beziehung zwischen den Biovolumenanteilen von 8 repräsentativen Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen.

[Paarweise Kombination der Biovolumenanteile der Taxa im Matrix-Scatterplot; Datenbasis: relatives Biovolumen bezogen auf das Gesamtphytoplankton-Biovolumen; zu Scatterplot siehe auch Korrelationsmatrix A, Datenbasis für A: Saison-Mittelwerte der 11 Gewässer über den gesamten Untersuchungszeitraum, n=129; Datenbasis für B: Gewässer-Mittelwerte (Scatterplot nicht gezeigt), n=11. Algennamen siehe Abb. 31.]

gewässerspezifischen Phytoplanktonstruktur des hier untersuchten Gewässerspektrums betrachtet werden. Um jedoch im folgenden die Aspekte der Struktur und Dynamik des Cyanophyceen-Planktons deutlich hervorheben zu können, wird eine Erweiterung des Spektrums auf die 10 repräsentativen Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen der Abb. 30 vorgenommen (siehe Teilabbildung „PCA incl. 10 cyanophyte species and species groups“).

Beziehung zwischen den verschiedenen limnologischen Parametern und den Biovolumenanteilen der 10 Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen

Die Beziehung zwischen der multivariat erfaßten, limnologischen Charakteristik der 11 Gewässer (Variablenkomplex mit den limnologischen Parametern) und der multivariat erfaßten Zusammensetzung des Cyanophyceen-Planktons (Variablenkomplex mit den Biovolumenanteilen der 10 Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen am Gesamtbiovolumen) kann mit Hilfe einer kanonischen Modellanalyse beschrieben werden (BORTZ 1985, JONGMAN et al. 1987).

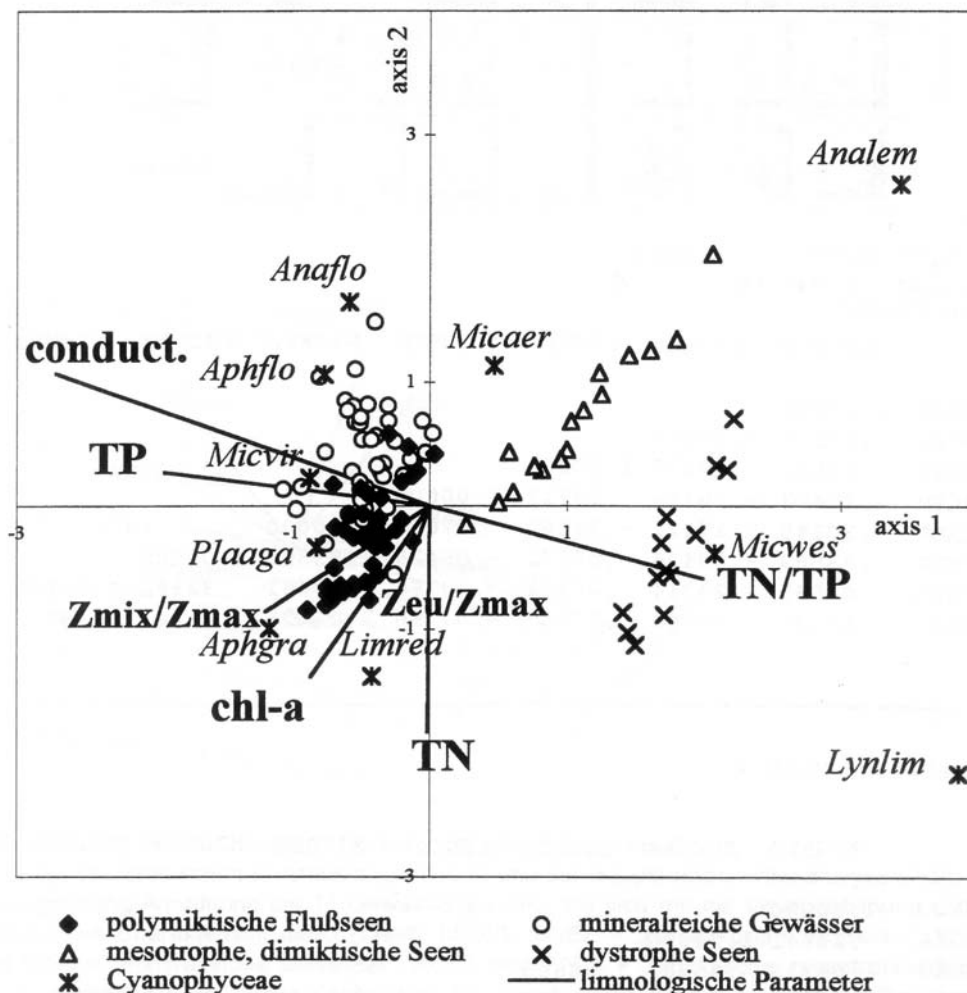


Abb. 34 A: Jointplot der 1. gegen die 2. Achse der Kanonischen Korrespondenzanalyse (CCA) zu den Daten der limnologischen Parameter und den Biovolumina der 10 repräsentativen Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen in den 4 Gewässertypen.

[Datenbasis: Saison-Mittelwerte, relative Biovolumina bezogen auf das Gesamtphytoplankton; n=115 (mit dem Biovolumen a_i der Art i (a_i) gilt über alle Saison-Mittelwerte:) $\sum a_i > 0$; „main matrix“-relatives Biovolumen von 10 Cyanophyceen-Taxa der 115 Proben; „second matrix“-Daten von 7 limnologischen Parametern der 115 Proben; Standardisierung durch „Hill's method“, Eigenwerte (λ) der Kanonischen Korrespondenzachsen 1 und 2: $\lambda_{axis1}=0,432$, $\lambda_{axis2}=0,233$;

Abkürzungen: Algennamen siehe Abb. 30, limnologische Parameter: chl-a - Chlorophyll-a, conduct. - Leitfähigkeit, TN - Gesamt-Stickstoff, TP - Gesamt-Phosphor, z_{mix} - durchmischte Gewässertiefe, z_{max} - maximale Gewässertiefe, z_{eu} - euphotische Zone.]

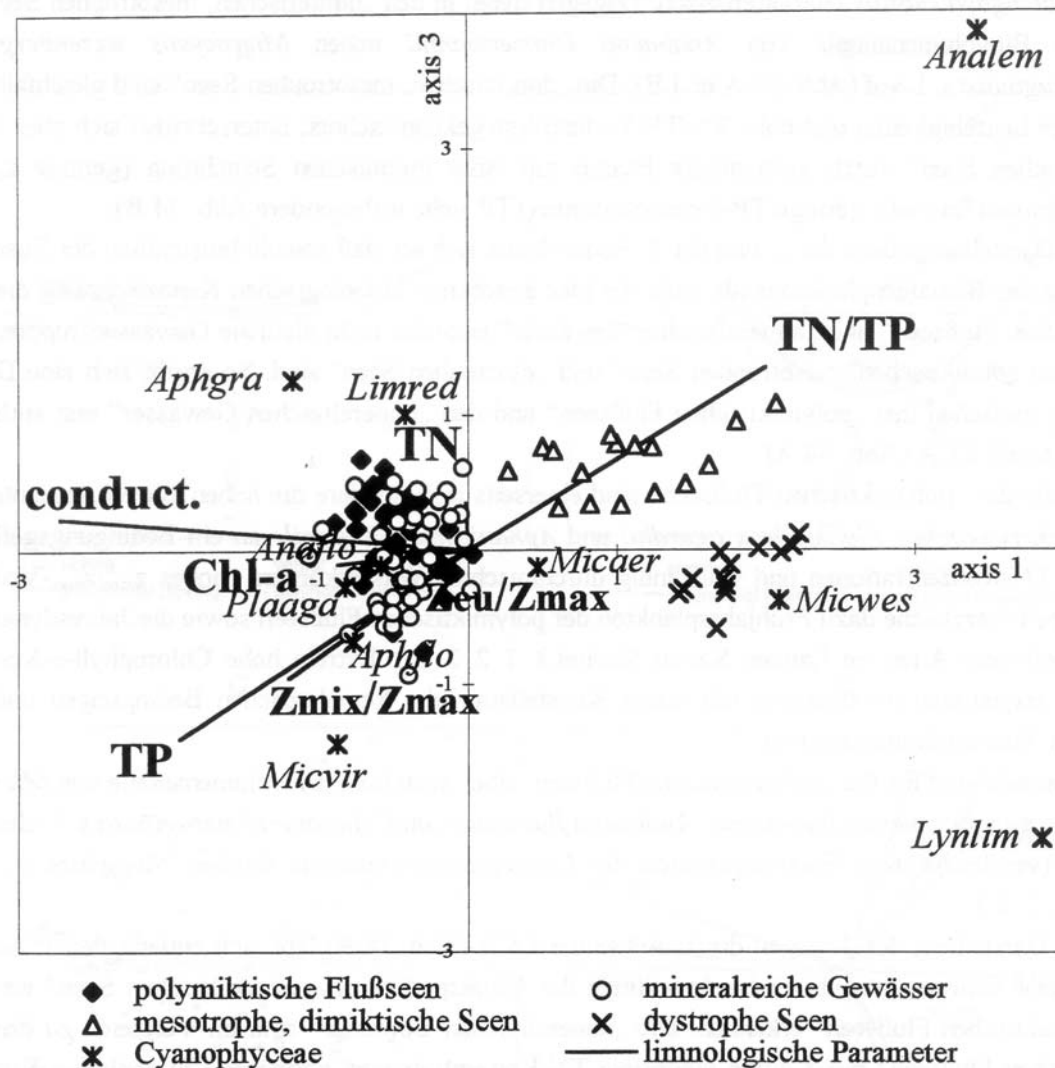


Abb. 34 B: Jointplot der 1. gegen die 3. Achse der Kanonischen Korrespondenzanalyse (CCA) in Ergänzung zu Abb. 34 A.

[Eigenwert (λ) der Kanonischen Korrespondenzachse 3: $\lambda_{\text{axis 3}} = 0,047$; ansonsten siehe Abb. 34 A]

Im Jointplot (JONGMAN et al. 1987) der Kanonischen Korrespondenzanalyse (CCA) der Abb. 34 A und B werden beide Variablenkomplexe gleichzeitig - und zwar in Beziehung zueinander - dargestellt. Die Objektpunkte, welche einzelne Saison-Mittelwerte der 11 Gewässer repräsentieren, wurden entsprechend ihrer Zugehörigkeit zu den vier limnologisch definierten Gewässergruppen markiert.

In der Darstellungsebene der 1. und der 2. Achse der CCA wird deutlich, daß die markierten Objektpunkte jeweils zusammengehörig gruppiert sind. Die abgegrenzten Punktmengen verweisen sowohl auf die unterschiedliche Cyanophyceen-Planktonzusammensetzung als auch das verschiedenartige limnologische Bedingungsgefüge in den einzelnen Gewässergruppen.

Die größten Unterschiede in der Zusammensetzung des Cyanophyceen-Planktons ergeben sich aus den höheren Biovolumenanteilen von *Anabaena lemmermannii*, *Planktolyngbya subtilis* und *Microcystis wesenbergii* in den einen und denen der übrigen 7 Cyanophyceen-Taxa in den anderen Gewässern. Diese maximale Dispersion der artspezifischen Biovolumenverteilung entlang der ersten Achse der CCA wird hauptsächlich im Zusammenhang mit den sehr unterschiedlichen TN/TP-Verhältnissen und Leitfähigkeiten der untersuchten Gewässer gesehen.

In den „dystrophen Gewässern“, gekennzeichnet durch extrem niedrige Leitfähigkeiten sowie hohe TN/TP-Verhältnisse, sind insbesondere höhere Biovolumenanteile von *Microcystis wesenbergii* und *Planktolyngbya subtilis* charakteristisch. Dagegen treten in den „dimiktischen, mesotrophen Seen“ eher

höhere Biovolumenanteile von *Anabaena lemmermannii* neben *Microcystis wesenbergii* und *M. aeruginosa* s. l. auf (Abb. 34 A und B). Die „dimiktischen, mesotrophen Seen“ sind gleichfalls durch niedrige Leitfähigkeiten und hohe TN/TP-Verhältnisse gekennzeichnet, unterscheiden sich aber von den „dystrophen Seen“ durch ausgeprägte Phasen mit einer thermischen Schichtung (geringe $z_{\text{mix}}/z_{\text{max}}$ -Verhältnisse) und sehr geringe TP-Konzentrationen (TP siehe insbesondere Abb. 34 B).

In der Darstellungsebene der 1. und der 2. Achse deutet sich an, daß sowohl hinsichtlich der Zusammensetzung des Blaualgenplanktons als auch der hier gegebenen limnologischen Kennzeichnung die „polymiktischen Flußseen“ und „mineralreichen Gewässer“ einander recht ähnliche Gewässergruppen gegenüber den „dimiktischen, mesotrophen Seen“ und „dystrophen Seen“ sind. So ergibt sich eine Differenzierung zwischen den „polymiktischen Flußseen“ und den „mineralreichen Gewässer“ erst entlang der 2. Achse der CCA (Abb. 34 A).

Innerhalb der „polymiktischen Flußseen“ sind einerseits insbesondere die hohen Biovolumenanteile von *Limnithrix redekei*, *Planktothrix agardhii* und *Aphanizomenon gracile* an ein Bedingungsgefüge mit hohen TN-Konzentrationen und vollständig durchmischten Wasserkörpern (hohes $z_{\text{mix}}/z_{\text{max}}$ -Verhältnis) gekoppelt (vergleiche dazu Frühjahrsplankton der polymiktischen Flußseen sowie die Jahresdynamik der Cyanophyceen-Arten im Langen See in Kapitel 3. 2. 2. 2. 2.). Extrem hohe Chlorophyll-a-Konzentrationen zeigen sich im Einklang mit dieser Konstellation der limnologischen Bedingungen und spezifischen Artenzusammensetzung.

Andererseits sind für die „polymiktischen Flußseen“ aber auch hohe Biovolumenanteile von *Microcystis viridis*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena flos-aquae* und *Microcystis aeruginosa* s. l. charakteristisch (vergleiche dazu Sommerplankton der Cyanophyceen-Arten im Großen Müggelsee in Kapitel 3. 2. 2. 2. 2.).

In der Darstellung der 2. gegen die 1. Achse der CCA (Abb. 34 A) läßt sich entlang der 2. Achse der CCA eine nahezu spiegelbildliche Anordnung der Objektpunkte der „mineralreichen Seen“ zu der der „polymiktischen Flußseen“ erkennen. Die „mineralreichen Gewässer“ sind im Vergleich zu den „polymiktischen Flußseen“ meist durch niedrigere TN-Konzentrationen, geringere Chlorophyll-a-Konzentrationen sowie höhere Leitfähigkeiten gekennzeichnet. In diesen Gewässern sind Biovolumenanteile von *Planktothrix agardhii* seltener vertreten bzw. meist relativ niedrig (höhere Biovolumenanteile nur im Flakensee-Zufluß-Löcknitz) gegenüber denen von *Microcystis viridis*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena flos-aquae* und *Microcystis aeruginosa* s. l.

In der Darstellungsebene der 3. gegen die 1. Achse der CCA (Abb. 34 B) läßt sich eine klare Abgrenzung der Objektpunkte entsprechend der Zugehörigkeit zu jeweils nur einer der 4 Gewässergruppen allein für die „dystrophen Seen“ bzw. die „dimiktischen, mesotrophen Seen“ erkennen. Dagegen überdecken sich die Mengen der Objektpunkte der „mineralreichen Gewässer“ und „polymiktischen Flußseen“ (siehe auch Abb. 35 C). Dies widerspiegelt wiederum die Abstufung in der Ähnlichkeit zwischen den vier Gewässergruppen hinsichtlich der limnologischen Charakteristik sowie der Zusammensetzung des Blaualgenplanktons.

3. 2. 2. 2. 2. Dynamik der Arten und Artengruppen

Saisonale Unterschiede in der Zusammensetzung des Cyanophyceen-Planktons

Die saisonalen Unterschiede der Cyanophyceen-Biovolumenentwicklung werden mit den Abbn. 35, 36 und 37 anhand verschiedener statistischer Methoden für die Grundgesamtheit der 11 Gewässer dargestellt. Die Unterschiede der saisonalen Phytoplanktonzusammensetzung werden hierbei auf der Grundlage von saisonalen Biovolumenanteilen der Arten am Blaualgen-Biovolumen beschrieben.

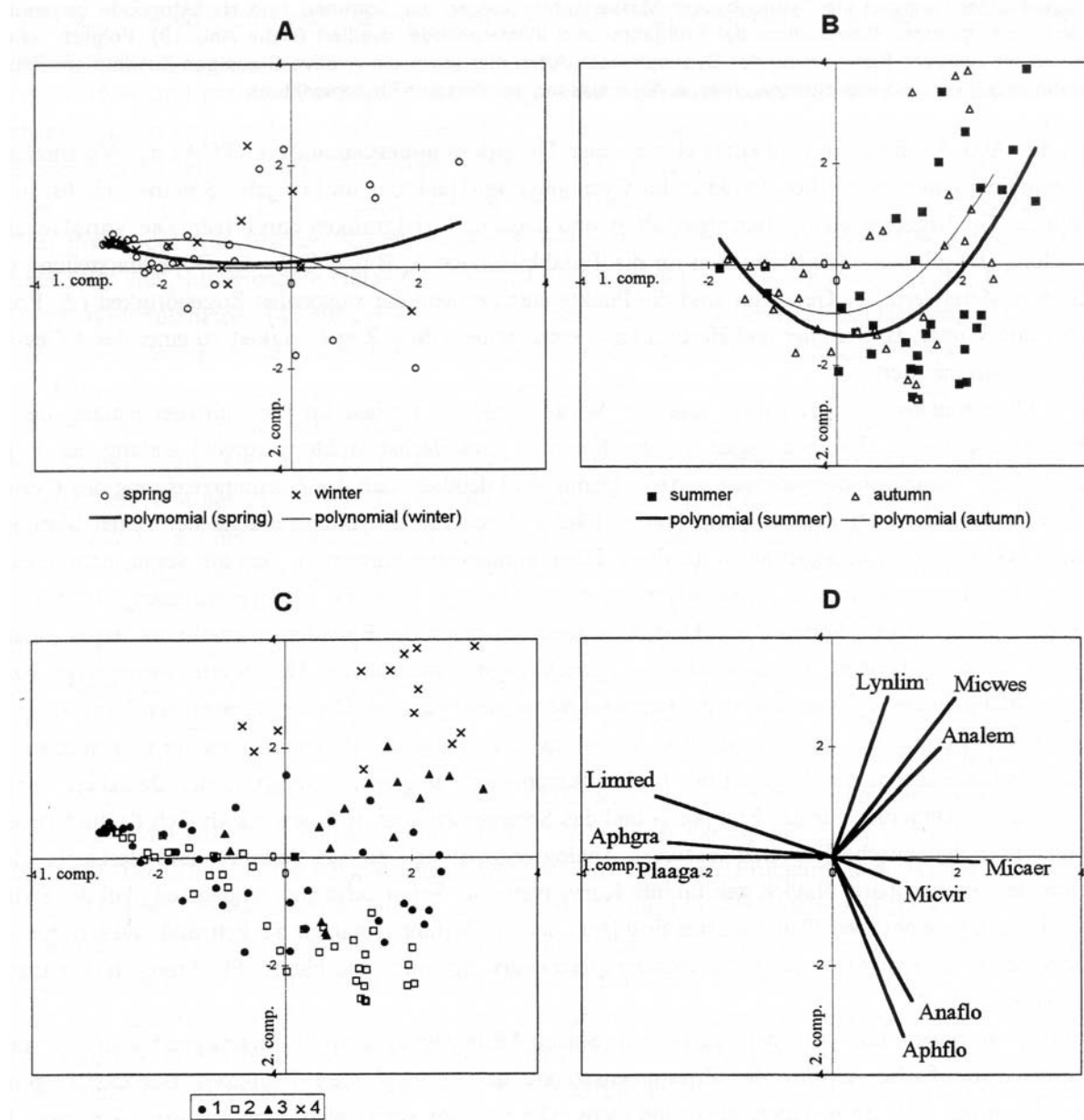


Abb. 35 A-D: Hauptkomponentendarstellung zu den saisonalen Unterschieden der Biovolumenentwicklung des Cyanophyteen-Planktons.

Die stärkere Streuung der Objektpunkte allein entlang der 1. Hauptkomponente (A) bzw. entlang sowohl der 1. als auch der 2. Hauptkomponente (B) verweist darauf, daß im wesentlichen das Frühjahrs- und Winterplankton durch die Biovolumenanteile der Cyanophyteen-Arten entlang der 1. Hauptkomponente (Arten mit hohen Ladungen allein für die 1. Hauptkomponente) und das Sommer- und Herbstplankton durch die entlang der 1. und 2. Hauptkomponente (Arten mit hohen Ladungen für die 1. oder/und 2. Hauptkomponente) bestimmt werden (vergleiche dazu Variablendarstellung in D). Die für die Objektpunkte der 4 Jahreszeiten eingezeichneten Regressionskurven unterstützen die visuelle Demonstration, daß die quantitative Cyanophyteen-Zusammensetzung in dem Frühjahrs- und dem Winterplankton (A) einander ähnlich ist, sich jedoch gegenüber dem, einander weitestgehend gleichenden, Sommer- und Herbstplankton stärker unterscheidet. Neben einer Markierung der Objektpunkte entsprechend ihrem saisonalen Bezug (A, B) wird in C die Zuordnung zu den 4 Gewässertypen dargestellt (1- „polymiktische Flußseen“, 2- „mineralreiche Gewässer“, 3- „dimiktische, mesotrophe Seen“, 4- „dystrophe Seen“). Nähere Erläuterung im Text.

[Ergebnisse einer einzigen PCA in 4 Teilabbildungen untergliedert: Objektdarstellung (A-C) und Variablendarstellung (D), Datenbasis: Saison-Mittelwerte, 10 repräsentative Cyanophyteen-Arten und -Artengruppen berücksichtigend, Abkürzung der Algennamen siehe Abb. 31, relatives Biovolumen bezogen auf Gesamt-Cyanophyteen-Biovolumen.]

Mit dem Bezug auf das Gesamt-Cyanophyceen-Biovolumen (und nicht auf das Gesamtbiovolumen über alle Algenklassen) werden die Cyanophyceen-Massenentwicklungen der Sommer- und Herbstperiode gegenüber den meist geringen Biovolumina der Frühjahrs- und Winterperiode nivelliert (siehe Abb. 18). Folglich reflektieren die relativen Biovolumina der Cyanophyceen-Arten hier allein die relative Blaualgen-Zusammensetzung unabhängig von den Biovolumina weiterer Algenklassen des Gesamt-Phytoplanktons.

In der Abb. 35 dient die Biplotdarstellung einer **Hauptkomponentenanalyse** (PCA) der Veranschaulichung der unterschiedlichen Struktur des Cyanophyceen-Planktons im Frühjahr, Sommer, Herbst bzw. Winter. Die Ergebnisse einer (einzigen) PCA sind dabei in 4 Teilgrafiken dargestellt. Die Variablendarstellung (D) gilt somit gleichermaßen für die Teilabbildungen A, B und C. In der Objektdarstellung der Saison-Mittelwerte der Gewässer sind die Punkte entsprechend der saisonalen Zugehörigkeit (A: Frühjahr und Winter, B: Sommer und Herbst) bzw. entsprechend ihrer Zugehörigkeit zu einer der 4 Gewässergruppen markiert.

Die Objektpunkte des Frühjahrs- und des Winterplanktons streuen im wesentlichen entlang der 1. Hauptkomponente. Dagegen liegen die des Sommer- und Herbstplanktons sowohl entlang der 1. als auch der 2. Hauptkomponente weit verteilt. Damit wird deutlich, daß die Zusammensetzung des Cyanophyceen-Planktons im Frühjahr und Herbst häufig durch die Biovolumenanteile der Arten bestimmt wird, welche hohe Ladungen allein für die 1. Hauptkomponente aufweisen. Das gilt somit insbesondere für *Limnothrix redekei* und *Planktothrix agardhii*. Dagegen wird die Zusammensetzung des Cyanophyceen-Planktons im Sommer und Herbst gerade auch durch die Biovolumenanteile der Arten entlang der 2. Hauptkomponente, insbesondere von *Planktolyngbya subtilis* und *Microcystis wessenbergii* bzw. von *Aphanizomenon flos-aquae* und *Anabaena flos-aquae*, geprägt. Die eingezeichneten Kurven sollen die Visualisierung der unterschiedlichen Verteilung der saisonalen Biovolumenanteile unterstützen. In der Projektionsebene der 2. gegen die 1. Hauptkomponente zeigen sich aufgrund der ähnlichen Verteilung der Objektpunkte für das Frühjahrs- und das Sommerplankton auch jeweils ähnlich flache Kurvenverläufe (polynomische Kurvenanpassung). Analog ergeben sich für das Sommer- und Herbstplankton einander vergleichbare, ähnlich gekrümmte Kurvenverläufe. Somit zeigt sich tendenziell, daß die Strukturen des Cyanophyceen-Planktons des Frühjahrs und des Winters einander ähnlich sind und sich gegenüber denen des sich wiederum untereinander gleichenden Sommer- und Herbst-Planktons stärker unterscheiden.

Prinzipiell finden hier auf der Basis von Saison-Mittelwerten sowohl seasonspezifische als auch gewässerspezifische Aspekte der Zusammensetzung des Cyanophyceen-Planktons Berücksichtigung, welche in der Abb. 35 gleichermaßen und mehr oder weniger verflochten zum Ausdruck kommen. Im Gegensatz zum Bacillariophyceen-Plankton (siehe Abb. 55 in Kapitel 3. 2. 2. 3. 2.) treten beim Cyanophyceen-Plankton entlang der 1. Hauptkomponente stärker saisonale Unterschiede und weniger gewässerspezifische Unterschiede hervor („*krasse*“ Unterschiede zwischen Frühjahrs-/Winterplankton bzw. Sommer-/Herbstplankton). Infolgedessen lassen sich entlang der 1. Hauptkomponente die Objektpunkte auch nicht in die 4 Gewässergruppen differenzieren (siehe Markierung entsprechend ihrer Gewässergruppen-Zugehörigkeit in der Abb. 35 C). Eine Differenzierung zwischen den „mineralreichen Gewässern“ (2), „polymiktischen Flußseen“ (1), „dimiktischen, mesotrophen Seen“ (3) und „dystrophen Seen“ (4) zeigt sich dagegen gut entlang der 2. Hauptkomponente. Die Dispersion der Objektpunkte entlang der 2. Hauptkomponente wird im wesentlichen durch die unterschiedliche Biovolumenverteilung der Sommer- und Herbstarten im Cyanophyceen-Plankton bedingt. Damit ist offensichtlich, daß die gewässerspezifischen Unterschiede in erster Linie durch die unterschiedliche Cyanophyceen-Zusammensetzung des Sommer- und Herbstplanktons zum Ausdruck kommen.

Mit Hilfe einer **Diskriminanzanalyse** (DA) lassen sich die saisonalen Unterschiede der Zusammensetzung des Cyanophyceen-Planktons schärfer herausarbeiten. Mit der DA wird den Fragestellungen nachgegangen, inwieweit sich die 4 saisonalen Gruppen (Frühjahr, Sommer, Herbst und Winter) signifikant

hinsichtlich ihrer Blaualgen-Zusammensetzung unterscheiden und anhand welcher der 10 repräsentativen Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen sich diese Gruppenunterschiede am deutlichsten widerspiegeln lassen.

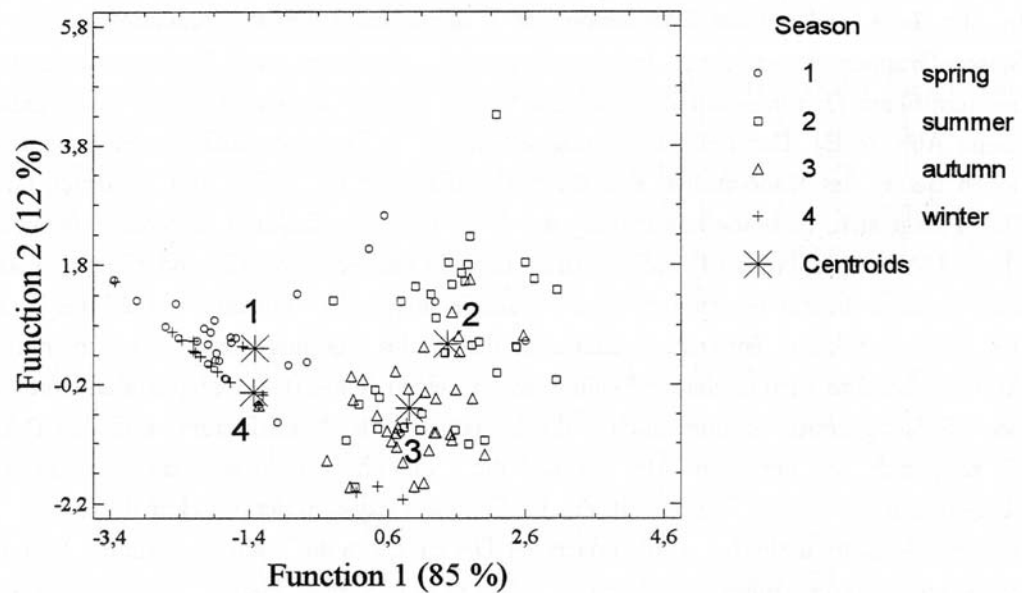
In Abb. 36 A sind mit der Darstellung der 2. gegen die 1. Diskriminanzfunktion die Zentroide der 4 Saison-Gruppen eingezeichnet. Insbesondere die 1., aber auch die 2. Diskriminanzfunktion tragen hierbei signifikant (Irrtumswahrscheinlichkeit = 0,11 %) zur Trennung dieser 4 saisonalen Gruppen bei (siehe Abb. 36 B). Der hohe Erklärungsgehalt der 1. Diskriminanzfunktion kommt auch durch den hohen Betrag des Kanonischen Korrelationskoeffizienten (0,79123) zum Ausdruck (siehe Abb. 36 B). Dabei zeigt sich, insbesondere entlang der 1. Diskriminanzfunktion, daß die Zentroide des Frühjahrs- (1) und Winterplanktons (4) auf der einen und die des Sommer- (2) und Herbstplanktons (3) auf der anderen Seite dichter beisammen liegen. Dagegen liegen die Zentroide sowohl des Frühjahrs- als auch des Winterplanktons entfernter gegenüber denen des Sommer- bzw. Winterplanktons (siehe A in Abb. 36, beachte auch ungleiche Skalierung der beiden Achsen). Die abgestuften Unterschiede zwischen den 4 Saisongruppen kommen auch in den Ergebnissen der Klassifikation durch die DA zum Ausdruck. So zeigt sich, wie bereits in Abb. 35, daß die Cyanophyceen-Arten-Zusammensetzung des Frühjahrs vergleichbar mit der des Winters ist, die des Sommers dagegen der des Herbstes ähnelt.

Von den 34 Sommerwerten werden nach der DA ca. 65 % der Fälle der Gruppe „Sommer“ zugeordnet, wobei ein weiterer großer Anteil von ca. 29 % in die Gruppe „Herbst“ eingegliedert wird. Von den 34 Herbstwerten werden nach der DA ca. 71 % der Fälle der Gruppe „Herbst“ und ein zweiter, relativ hoher Anteil von ca. 21 % der Gruppe „Sommer“ zugeordnet. Der Anteil von Sommer- und Herbstwerten, die den Gruppen des „Frühjahrs“ und „Winters“ zugeordnet werden, ist dagegen vernachlässigbar gering. Analog liegen im Ergebnis der DA die Frühjahrs- und Winterwerte zwar mit höheren Anteilen der Fälle auch wechselseitig den Gruppen „Frühjahr“ und „Winter“ zugeordnet, aber eine Eingliederung in die Gruppen „Sommer“ und „Herbst“ ist weniger häufig und damit von untergeordneter Bedeutung. Diese unscharfen Abgrenzungen zwischen den Gruppen „Frühjahr“ und „Winter“ einerseits und den Gruppen „Sommer“ und „Herbst“ andererseits bedingen insbesondere eine starke Streuung, so daß bei nur ca. 60 % aller Fälle die durch die Diskriminanzanalyse vorhergesagte Gruppenzugehörigkeit mit der vorgegebenen Gruppenzugehörigkeit (Saison-Mittelwerte) übereinstimmt (siehe C in Abb. 36). Damit liegt die 60 %-ige „Trefferate“ richtiger Zuordnung hauptsächlich in der Ähnlichkeit zwischen dem Frühjahrs- und Winter- bzw. dem Sommer- und Herbst-Plankton begründet.

Im Ergebnis der DA unterscheiden sich die 4 Saison-Gruppen im wesentlichen durch die unterschiedlichen, relativen Biovolumenanteile von 7 Cyanophyceen-Taxa, welche in D (Abb. 36) aufgeführt sind. Dabei zeigt sich, daß in dem hier untersuchten Gewässerspektrum allein *Limnothrix redekei* für die Gruppen „Frühjahr“ (1) und „Winter“ (4) höhere Klassifikationskoeffizienten gegenüber niedrigeren in den Gruppen „Sommer“ (2) und „Herbst“ (3) aufweist und somit als der typische Art-Vertreter des Cyanophyceen-Planktons im Frühjahr und Winter gesehen werden kann. Alle anderen 6 Cyanophyceen-Taxa lassen sich nicht als ausgesprochene Frühjahrs/Winter-Arten, sondern als Sommer- und Herbstarten des Cyanophyceen-Planktons charakterisieren.

Für die hohe Diskriminanzstärke der 1. Diskriminanzfunktion sind die Biovolumenanteile von *Limnothrix redekei* (standardisierter Diskriminanzfunktionskoeffizient (s. D. = -0,70173), *Aphanizomenon flos-aquae* (s. D. = 0,65486), *Planktothrix agardhii* (s. D. = 0,50354) und *Planktolyngbya subtilis* (s. D. = 0,48326) von wesentlicher Bedeutung (s. D. wird nicht in Abb. 36 aufgeführt).

Die Schwerpunkte der unterschiedlichen Biomasseentwicklung im Frühjahr, Sommer und Herbst der zuletzt genannten 4 Cyanophyceen-Arten werden in Abb. 37 verdeutlicht. Die saisonalen Biovolumenanteile von *Planktothrix agardhii*, *Aphanizomenon flos-aquae* sowie *Planktolyngbya subtilis* werden jeweils gegen die „Frühjahrs-Referenz-Art“ *Limnothrix redekei* abgebildet. Dabei kristallisiert sich für

A**Plot of Discriminant Functions incl. Cyanophyceae****B**

Discriminant Function	Eigenvalue	Canonical Correlation	Functions Derived	Chi-Square	DF	P-Value
1	1.67412	0.79123	1	153.0994	21	0.0000
2	0.232954	0.43467	2	32.6057	12	0.0011
3	0.0583976	0.23489	3	6.9526	5	0.2242

C**Classification Table**

Actual Season	Group Size	Predicted Season			
		1	2	3	4
1	34	20 (58.82%)	4 (11.76%)	1 (2.94%)	9 (26.47%)
2	34	1 (2.94%)	22 (64.71%)	10 (29.41%)	1 (2.94%)
3	34	0 (0.00%)	7 (20.59%)	24 (70.59%)	3 (8.82%)
4	27	10 (37.04%)	0 (0.00%)	5 (18.52%)	12 (44.44%)

Percent of cases correctly classified: 60.47%

D**Classification Function Coefficients for Season**

	1	2	3	4
Micaer	0.358821	1.32211	1.24687	0.261807
Limred	1.23049	-0.267462	-0.378044	0.60694
Lymlim	0.215528	1.68396	1.92193	0.322085
Plaaga	0.368931	1.2704	1.37929	0.712095
Anaflo	0.322699	1.49954	0.362604	0.0457291
Analem	1.21398	2.48237	1.468	0.700518
Aphflo	0.639861	1.67969	1.71606	0.424252

Abb. 36 A-D (linke Seite): Diskriminanzanalyse zu den saisonalen Unterschieden der Artenzusammensetzung des Cyanophyceen-Planktons. Darstellung der 2. gegen die 1. Diskriminanzfunktion (**A**).

Es liegen die Zentroide des Frühljahrs- (1) und Winterplanktons (4) einerseits und die des Sommer- (2) und Herbstplanktons (3) andererseits näher beieinander. Damit zeigt sich, daß die Cyanophyceenbiovolumen-Zusammensetzung des Frühljahrsplanktons der des Winterplanktons ähnelt. Dagegen unterscheidet sich das Frühljahrs/Winter-Plankton deutlich von dem Sommer- und dem Herbstplankton, wobei letztere wiederum einander recht ähnlich sind. Nähere Erläuterung im Text.

[Datenbasis: Ausgangspunkt: Saison-Mittelwerte, 10 repräsentative Cyanophyceen-Taxa berücksichtigend: *Microcystis aeruginosa* s. l.-**Micaer**, *M. wessenbergii*, *M. viridis*, *Limnothrix redekei*-**Limred**, *Planktolyngbya subtilis*-**Lynlim**, *Planktothrix agardhii*-**Plaaga**, *Anabaena flos-aquae*-**Anaflo**, *A. lemmermannii*-**Analem**, *Aphanizomenon flos-aquae*-**Aphflo**, *A. gracile*; relatives Biovolumen bezogen auf das Gesamt-Cyanophyceen-Biovolumen;

DA: Variablenreduktion auf 7 Algentaxa durch schrittweise Vorwärtsauswahl („forward selection“) (siehe D), Zusammenfassende Analyseangaben zur DA in Tabellen B-D:

B (von links nach rechts): Eigenwert, Kanonische Korrelation; Chi-Quadrat, Freiheitsgrad, Irrtumswahrscheinlichkeit), **C**: Vergleich der Gruppenzuordnung (Klassifikationsmatrix), **D**: Klassifikationskoeffizienten nach Fisher für die 4 Jahreszeiten (Fisher's linear discriminant function coefficients, 1 - Frühjahr, 2 - Sommer, 3 - Herbst, 4 - Winter).]

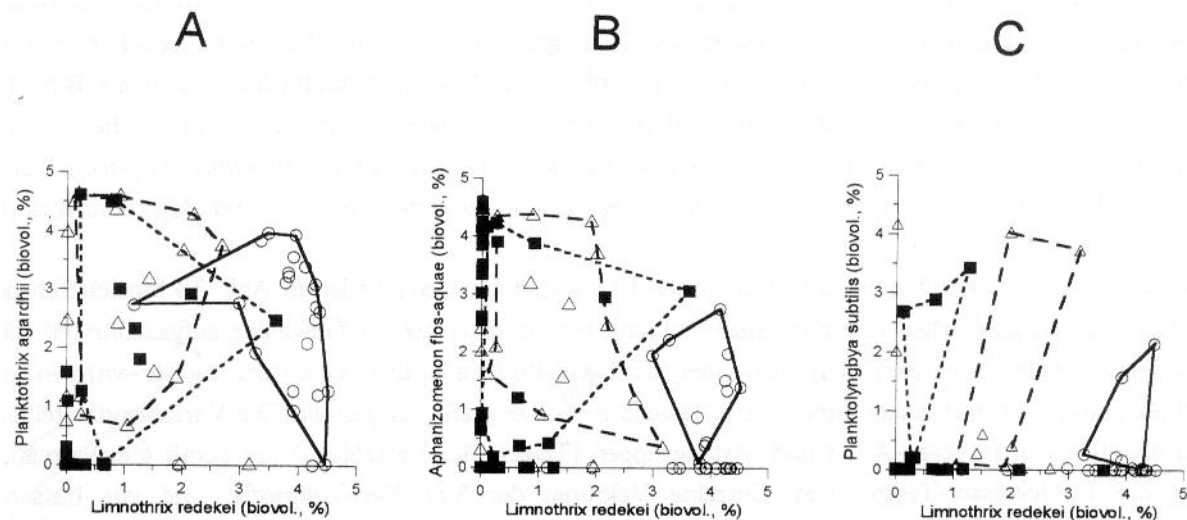


Abb. 37: Saisonale Variation der Biovolumenanteile von 4 Cyanophyceen-Arten, die insbesondere für die 1. Diskriminanzfunktion diskriminatorische Bedeutung haben (siehe D in Abb. 36 und Text).

Für Frühjahr, Sommer und Herbst werden Biovolumenanteile von *Planktothrix agardhii* (A), *Aphanizomenon flos-aquae* (B) und *Planktolyngbya subtilis* (C) jeweils gegen die Biovolumenanteile der typischen „Referenz-Art“ des Frühljahrsplanktons (*Limnothrix redekei*) dargestellt.

[Datenbasis: Saison-Mittelwerte, relatives Biovolumen bezogen auf das Gesamt-Cyanophyceen-Biovolumen, logarithmiert; Symbole: **Kreis** - Frühjahr, **Quadrat** - Sommer, **Dreieck** - Herbst.]

die Gesamtheit der untersuchten Gewässer heraus, daß im Frühjahr (Symbole: Kreise) die extrem hohen Biovolumenanteile von *Limnothrix redekei* zum Teil von ebenfalls hohen Biovolumenanteilen von *Planktothrix agardhii* begleitet werden (Abb. 37 A). Dagegen treten in der Kombination mit diesen extrem hohen Biovolumenanteilen von *Limnothrix redekei* höchstens mittlere bis niedrige Biovolumenanteile von *Aphanizomenon flos-aquae* und *Planktolyngbya subtilis* auf (Abb. 37 B und C). Sowohl für das Sommer- als auch das Herbstplankton zeigen sich hingegen ausschließlich niedrige Biovolumenanteile von *Limnothrix redekei* gegenüber häufig hohen Biovolumenanteilen der übrigen drei Cyanophyceen-Arten.

Somit treten zwei Cyanophyceen-Arten, nämlich *Limnothrix redekei* und *Planktothrix agardhii*, in dem hier untersuchten Gewässerspektrum im Frühjahrsplankton mit höheren Biovolumenanteilen häufig auf. Darüber hinaus bildet jedoch *P. agardhii* extreme Biomassen insbesondere von Juni bis September, womit diese Art gerade im Sommer- und Herbstplankton dominante Biovolumenanteile erreicht. Im Vergleich dazu kristallisieren sich sowohl *Aphanizomenon flos-aquae* als auch *Planktolyngbya subtilis* als noch typischere Art-Vertreter des Sommer- und Herbstplanktons heraus (siehe Übereinstimmung zur Gruppierung der Arten des Frühjahrsplanktons einerseits und des Sommer- und Herbstplanktons andererseits in Abb. 31 A).

Wenigstens eine dieser 4 Cyanophyceen-Arten ist in einem der jeweiligen untersuchten Gewässer vertreten (siehe Artenliste Tabelle III S. 68-71), so daß prinzipiell alle 11 Gewässer in der Darstellungsform der saisonalen Unterschiede der Cyanophyceen-Biovolumina über die Gesamtheit des untersuchten Gewässerspektrums (Abbn. 35, 36 und 37) einbezogen werden. Dennoch gibt es unterschiedliche Akzente bei der saisonalen Biovolumenentwicklung in den einzelnen Gewässern. In Abb. 35 C werden die saisonalen Biovolumenanteile in Abhängigkeit von den Gewässer-Gruppenspezifika dargestellt.

Für das Cyanophyceen-Plankton der „polymiktischen Flußseen“ und auch der „mineralreichen Gewässer“ sind die höheren Biovolumenanteile von *Limnothrix redekei* und *Planktothrix agardhii* auf der einen Seite und von *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena flos-aquae*, *Microcystis viridis* und *M. aeruginosa* s. l. auf der anderen Seite charakteristisch (siehe auch Abb. 38; für *Microcystis viridis* insbesondere aus dem Biplot der 3. gegen die 1. Hauptkomponente ableitbar, wird jedoch hier nicht dargestellt). Dagegen ergeben sich für die „dystrophen Seen“ häufig auffällig hohe saisonale Biovolumenanteile von *Planktolyngbya subtilis* und *Microcystis wesenbergii*. In den „dimiktischen, mesotrophen Seen“ sind niedrige Biovolumenanteile von *Limnothrix redekei* und *Planktothrix agardhii*, aber auch höhere Biovolumenanteile insbesondere von *Anabaena lemmermannii* und *Microcystis aeruginosa* s. l. typisch.

Die unterschiedlichen Dominanzstrukturen der 4 Gewässergruppen werden in Abb. 38 hinsichtlich der saisonal unterschiedlichen Biovolumenentwicklung für die einzelnen 11 Gewässer aufgeschlüsselt. Die 12 Teilabbildungen leiteten sich aus einer einzigen PCA ab. Der Übersicht halber wurden die Objektpunkte von nur einem Gewässer in jeweils einer Teilgrafik dargestellt. Die Variablendarstellung zu den 10 Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen (Teilgrafik „Variablen“) gilt somit gleichermaßen für die 11 Gewässer-Teilgrafiken. Einzelne Vektoren der Variablen-Teilgrafik sind zur besseren räumlichen Orientierung in die anderen Grafiken eingezeichnet, wobei in den Gewässer-Teilgrafiken die Variablenvektoren der dominanten Art-Vertreter im jeweiligen Gewässer beschriftet wurden. Um die saisonale Abfolge der wechselnden Planktonzusammensetzung darzustellen, wurden die Objektpunkte innerhalb des Untersuchungszeitraums entsprechend dem zeitlichen Verlauf mit Linien verbunden.

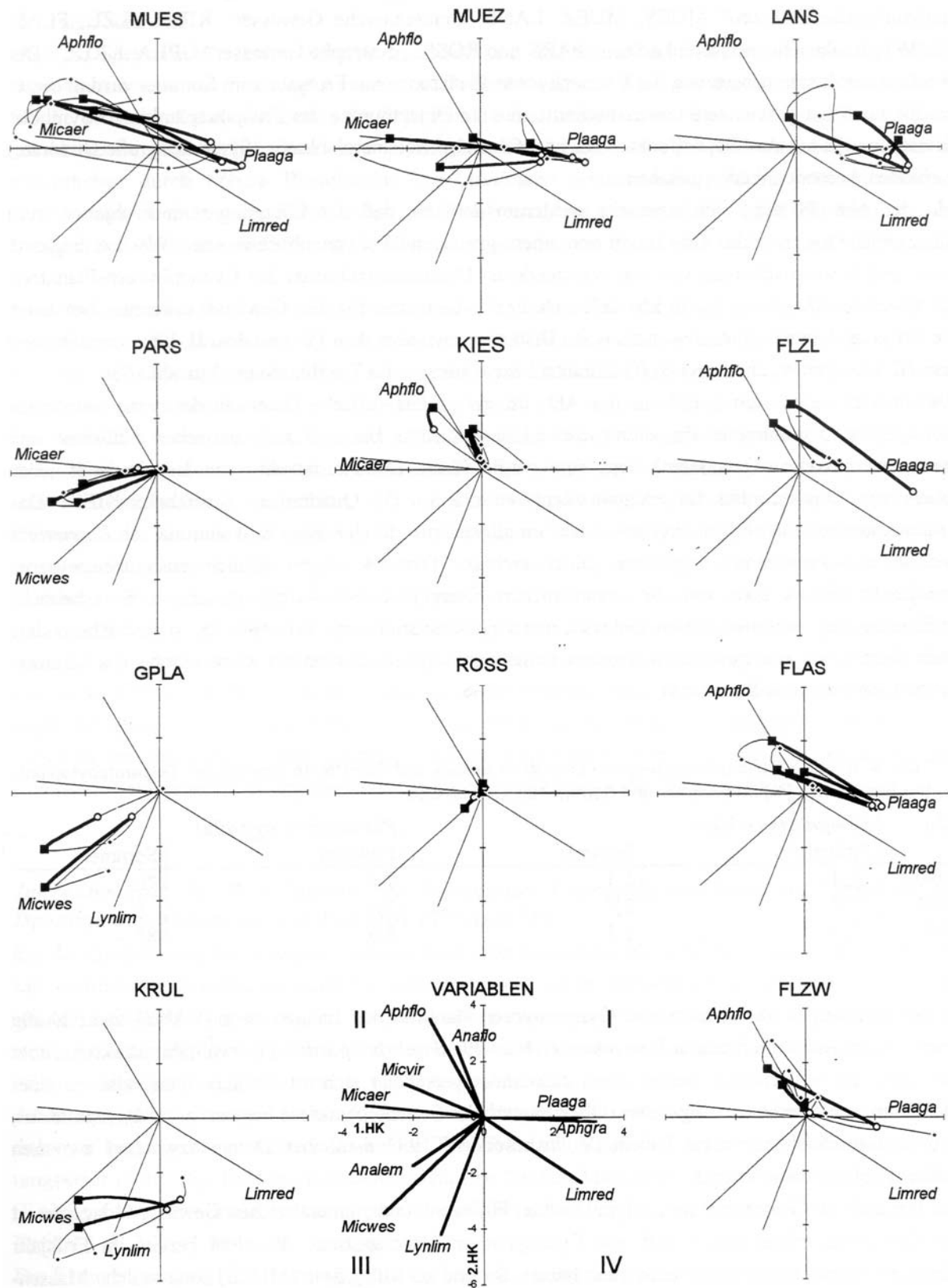
Abb. 38 (rechts): Hauptkomponentendarstellung zur saisonalen Abfolge der wechselnden Zusammensetzung des Cyanophyceen-Planktons in den 11 Gewässern.

Die Objektpunkte wurden über den Untersuchungszeitraum entsprechend dem zeitlichen Verlauf mit Linien verbunden. Die fett gezeichneten Linienabschnitte heben dabei die veränderte Biovolumenzusammensetzung jeweils zwischen dem Frühjahrsplankton (Kreise) und dem im Jahresverlauf folgenden Sommerplankton (große Quadrate) hervor.

[Ergebnisse einer einzigen PCA in 12 Teilabbildungen untergliedert: in der Teilabbildung „Variablen“ werden die Vektoren von allen 10 Variablen dargestellt; in den Teilabbildungen zu den 11 Gewässern dienen die vereinzelt eingezeichneten Vektoren einer besseren räumlichen Orientierung zur Teilabbildung „Variablen“, dabei sind i. a. diejenigen Vektoren, welche einen höheren Biovolumenanteil der Art für das jeweilige Gewässer anzeigen, bevorzugt beschriftet worden. Varianzanteil der 1. und 2. Hauptkomponente: 26 % + 18 %.

Datenbasis: Saison-Mittelwerte, die 10 repräsentativen Cyanophyceen-Taxa berücksichtigend, relatives Biovolumen bezogen auf Gesamt-Phytoplankton-Biovolumen. Abkürzungen der Algennamen siehe Abb. 31,

Abkürzung der Gewässernamen siehe Abb. 32.]



Die in Abb. 35 C ausgewiesenen unterschiedlichen saisonalen Dominanzstrukturen spiegeln sich auch für die einzelnen Gewässer einer jeden Gewässergruppe in Abb. 38 weitestgehend wider (Abb. 38: „polymiktische Flußseen“ MUES, MUEZ, LANS; „mineralreiche Gewässer“ KIES, FLZL, FLAS, FLZW; „dimiktische, mesotrophe Seen“ PARS und ROSS; „dystrophe Gewässer“ GPLA, KRUL). Der Wechsel der Zusammensetzung des Cyanophyceen-Planktons vom Frühjahr zum Sommer wird in dieser Grafik durch fett gezeichnete Linienabschnitte, die die Objektpunkte des Frühjahrsplanktons (Symbole: Kreise) jeweils mit den Objektpunkten des nachfolgenden Sommerplanktons (Symbole: große Quadrate) verbinden, besonders hervorgehoben.

Mit der Abb. 38 zeigt sich einerseits wiederum deutlich, daß der Übergang vom Frühjahrs- zum Sommerplankton in vielen Gewässern von einem gravierenden Cyanophyceen-Arten-Wechsel begleitet wird, und zwar unabhängig von den verschiedenen Dominanzstrukturen des Cyanophyceen-Planktons der jeweiligen Gewässer. Recht klar läßt sich dies insbesondere für jene Gewässer erkennen, bei denen die fett gezeichneten Linienabschnitte weite Distanzen zwischen dem IV. und dem II. bzw. dem IV. und dem III. Quadranten überbrücken (Quadrantenbezeichnung siehe Teilabbildung „Variablen“).

Andererseits lassen sich gerade in der Abb. 38 gewässerspezifische Unterschiede in der saisonalen Abfolge der Cyanophyceen-Biovolumenentwicklung ableiten. Bei den „polymiktischen Flußseen“ und den „mineralreichen Gewässern“ liegt eine vergleichbare Dominanzstruktur zu Beginn eines jeden Jahres vor (Objektpunkte des Frühjahrsplanktons i. a. im IV. Quadranten, Ausnahme: KIES). Das Frühjahrsplankton der Cyanophyceen ist hier im allgemeinen durch höhere Biovolumina von *Limnothrix redekei* und *Planktothrix agardhii* gekennzeichnet. Trotz des recht ähnlich zusammengesetzten Frühjahrsplanktons setzt mit der sommerlichen Cyanophyceen-Entwicklung eine z. T. erhebliche Differenzierung zwischen diesen Gewässern ein (Übereinstimmung mit Abb. 35, siehe insbesondere auch oben diskutierte gewässerspezifische Differenzierung mit Beginn der Entwicklung des sommerlichen Cyanophyceen-Planktons).

Tab. IV: Relative Biovolumenanteile von *Limnothrix redekei* und *Planktothrix agardhii* am Gesamtphytoplankton-Biovolumen [%] im Frühjahr und Sommer im Langen See.

Jahr	<i>Limnothrix redekei</i>		<i>Planktothrix agardhii</i>	
	Frühjahr:	Sommer	Frühjahr	Sommer
1990	4,4	1,1	7,3	76
1991	27,8	2,7	0,8	6,2
1992	12,3	1,1	6,6	85

In der Sommerperiode verharrt das Cyanophyceen-Plankton des Langen Sees (LANS) zwar häufig weiter in der Artenkombination *Limnothrix redekei*-*Planktothrix agardhii* des Frühjahrsplanktons, aber das quantitative Verhältnis beider Arten zueinander verschiebt sich im Sommer meist klar zu einer Dominanz von *Planktothrix agardhii* (Objektpunkte des Sommerplanktons liegen i. a. im I. Quadranten; Biovolumenverhältnisse siehe Tabelle IV, insbesondere 1992 deutlicher Dominanzwechsel zwischen beiden Cyanophyceen-Arten).

Bei den anderen Gewässern der „polymiktischen Flußseen“ und „mineralreichen Gewässer“ dagegen ist der Dominanzwechsel stärker auf jene Cyanophyceen-Arten gestützt, die nicht bereits im Frühjahr allgemein höhere Biovolumina entwickelt haben. So sind im Müggelsee (MUES) sommerliche Massentwicklungen von *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa* s. l. und *M. viridis* typisch (Objektpunkte des Sommerplanktons i. a. im II. Quadranten). Eine ähnliche Zusammensetzung des sommerlichen Cyanophyceen-Planktons liegt insbesondere auch im Flakensee (FLAS), im Flakensee-Zufluß Woltersdorfer Schleuse (FLZW) (repräsentiert im wesentlichen das Plankton der entlang der Fließstrecke vorgeschalteten Seen) sowie im Kieselsee (KIES) vor. Gleichwohl wird aber auch offensichtlich, daß solch extrem hohe Biomasseentwicklungen jener sommerlichen Cyanophyceen-Arten-

Kombination, wie sie für den Großen Müggelsee ausgewiesen werden, in den zuletzt genannten Gewässern nicht auftreten.

Über das Spektrum der „polymiktischen Flußseen“ und „mineralreichen Gewässer“ hinaus sind höhere Biovolumenanteile von *Limnothrix redekei* im Frühjahr auch für einen der beiden „dystrophen Seen“, für die Krumme Lake, markant. Die Objektpunkte des sommerlichen Cyanophyceen-Planktons der „dimiktischen, mesotrophen Seen“ und „dystrophen Seen“ liegen im III. Quadranten und werden im wesentlichen durch höhere Biovolumina von *Anabaena lemmermannii*, *Microcystis wesenbergii* (PARS) oder auch beide in Kombination mit *Planktolyngbya subtilis* (GPLA, KRUL) bestimmt. Im Plankton des Rosinsees (ROSS) sind die Cyanophyceen zu keiner Jahreszeit von dominanter Bedeutung.

Über die Gesamtheit der Saison-Mittelwerte der 11 Gewässer betrachtet, zeigt sich die Tendenz, daß die Cyanophyceen-Zusammensetzung des Frühjahrs- und Winterplanktons auf der einen und die des Sommer- und Herbstplanktons auf der anderen Seite relativ ähnlich, dagegen die des Frühjahrs/ Winter-Planktons gegenüber der des Sommer/Herbst-Planktons recht unähnlich sind (Abbn. 35 und 36). Das heißt: Der Übergang vom Frühjahr zum Sommer ist meist von einem deutlichen Cyanophyceen-Arten-Wechsel begleitet (siehe auch Abb. 38). Die Blaualgenzusammensetzung des Sommers besteht auch weitestgehend im Herbst fort. Ein stärkerer Artenwechsel ergibt sich erst mit einsetzender Winterperiode. Für das Cyanophyceen-Plankton ist somit kennzeichnend, daß unmittelbar nach einem Arten-Wechsel vom Frühjahr zum Sommer sich i. a. eine sommerliche Massenentwicklung der Cyanophyceen anschließt (siehe Abb. 18; vergleiche dazu saisonale Zusammensetzung des Bacillariophyceen-Planktons im Kapitel 3. 2. 2. 3. 1.). Die gewässerspezifischen Unterschiede spiegeln sich in erster Linie in der unterschiedlichen Cyanophyceen-Zusammensetzung des Sommer- und Herbstplanktons wider (Abb. 35). Somit ist eine Gewässerdifferenzierung nach dem Cyanophyceen-Plankton in enger Beziehung zur saisonalen Planktonzusammensetzung zu sehen. Die gezeigte Differenzierung zwischen den saisonalen Planktongruppen steht im Zusammenhang mit der saisonal verschieden gewichteten Biomasseentwicklung einzelner Cyanophyceen-Arten (Abbn. 37 und 38).

Jahresdynamik der Biovolumina von dominanter Cyanophyceen-Arten im Vergleich zur Dynamik der Nährelementverhältnisse (TN und TP)

Bei der Gruppierung der Gewässer entsprechend ihrer limnologischen Charakteristik finden eine Vielzahl hydrochemisch-hydrophysikalischer und morphometrischer Parameter Berücksichtigung. Dennoch spiegeln sich auch schon durch den Vergleich der relativen (genormten) Nährelementverhältnisse abgestufte Ähnlichkeiten zwischen den Gewässern wider, die mit der limnologischen Gewässer-Gruppenbildung weitestgehend übereinstimmen (siehe Kapitel 3. 1. 3.).

Allein die „polymiktischen Flußseen“ zeigen im Vergleich zu den anderen Gewässergruppen eine deutliche Neigung zu saisonal wechselnden TN/TP-Verhältnissen von größer 16 zu kleiner 16 und umgekehrt (Abb. 15). Dies gilt insbesondere für den Großen Müggelsee (MUES) und den Langen See (LANS) (Abb. 16). Im Plankton dieser beiden Gewässer dominieren Cyanophyceen-Arten (siehe Kapitel 3. 2. 2. 1. 1., Abbn. 18, 19 B und 20).

Die Krumme Lake (KRUL) zählt gleichfalls zu den Cyanophyceen-dominierten Gewässern, unterscheidet sich jedoch in der qualitativen Zusammensetzung des Cyanophyceen-Planktons klar von den „polymiktischen Flußseen“ (Abb. 32). Eine den „polymiktischen Flußseen“ vergleichbare Artenzusammensetzung des Cyanophyceen-Planktons liegt dagegen wiederum im Flakensee vor, wenngleich hier jedoch diese Algen im Durchschnitt einen recht niedrigen Anteil am Gesamtbiovolumen einnehmen (Abbn. 18, 19 B, 32). In den beiden zuletzt genannten Seen werden wiederum saisonal wechselnde TN/TP-Verhält-

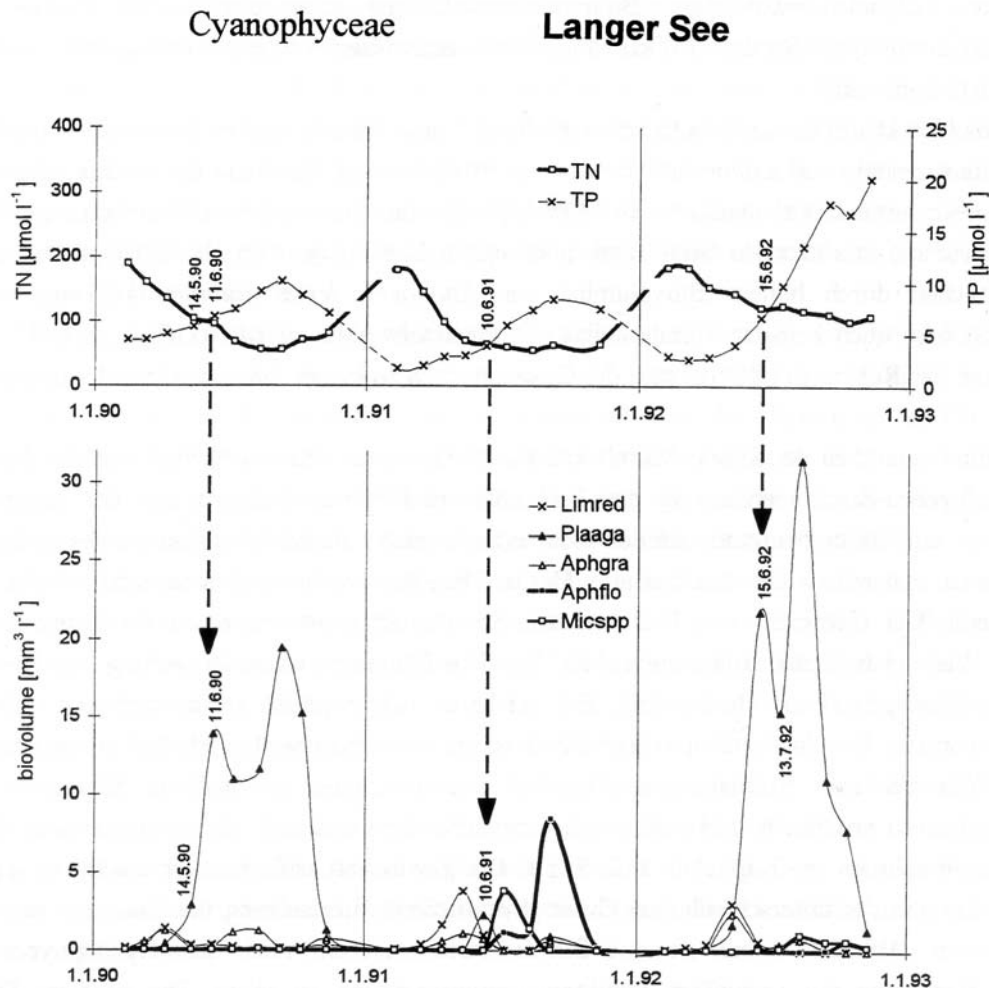


Abb. 39: Jahresdynamik der Biovolumina dominanter Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen im Vergleich zur Jahresdynamik der Gesamtstickstoff (TN)- und Gesamtphosphor-Konzentrationen (TP) im Langer See.

[Achsenkalierung entspricht dem Verhältnis von TN/TP = 16:1; Unterschreiten des TN/TP-Verhältnisses von 16:1: 14.5.-11.6.1990, 10.6.1991, 15.6.-13.7.1992;

Abkürzungen der Algennamen: **Limred** - *Limnithrix redekei*, **Plaaga** - *Planktothrix agardhii*, **Aphgra** - *Aphanizomenon gracile*, **Aphflo** - *Aphanizomenon flos-aquae*, **Micspp** - *Microcystis* spp. (Summe aller *Microcystis*-Arten).]

nisse offensichtlich. Jedoch liegen diese über das ganze Jahr hinweg deutlich über (KRUL) bzw. fast ausschließlich unter (FLAS) dem optimalen TN/TP-Verhältnis von 16:1 (Abb. 16). Die Jahresdynamik der Biovolumenentwicklung der genannten 4 Gewässer wird in den Abbn. 39-44 dargestellt.

Dominanzwechsel der Cyanophyceen-Arten in Gewässern mit saisonal bedingtem Umschwung der mittleren TN/TP Verhältnisse von > 16 zu < 16 und umgekehrt (Großer Müggelsee und Langer See)

Die Abb. 16 zeigt, daß im Großen Müggelsee und im Langer See die saisonalen TN/TP-Verhältnisse gleichermaßen schwanken. Nach den Saison-Mittelwerten liegen im Winter und Frühjahr TN/TP-Verhältnisse größer als 16:1 vor. Mit dem Übergang zum Sommer sinken die mittleren TN/TP-Verhältnisse unter ein Niveau von 16:1. Diese niedrigen Konzentrationsverhältnisse dauern im Herbst fort. Somit weisen bereits die Saisonmittelwerte der Nährelementverhältnisse darauf hin, daß in beiden Gewässern die relative Nährelementverfügbarkeit innerhalb eines Jahresganges wechselt (Wechsel von der Präferenz der P-Limitationszustände im Frühjahr zu der der N-Limitationszustände im Sommer, der Begriff

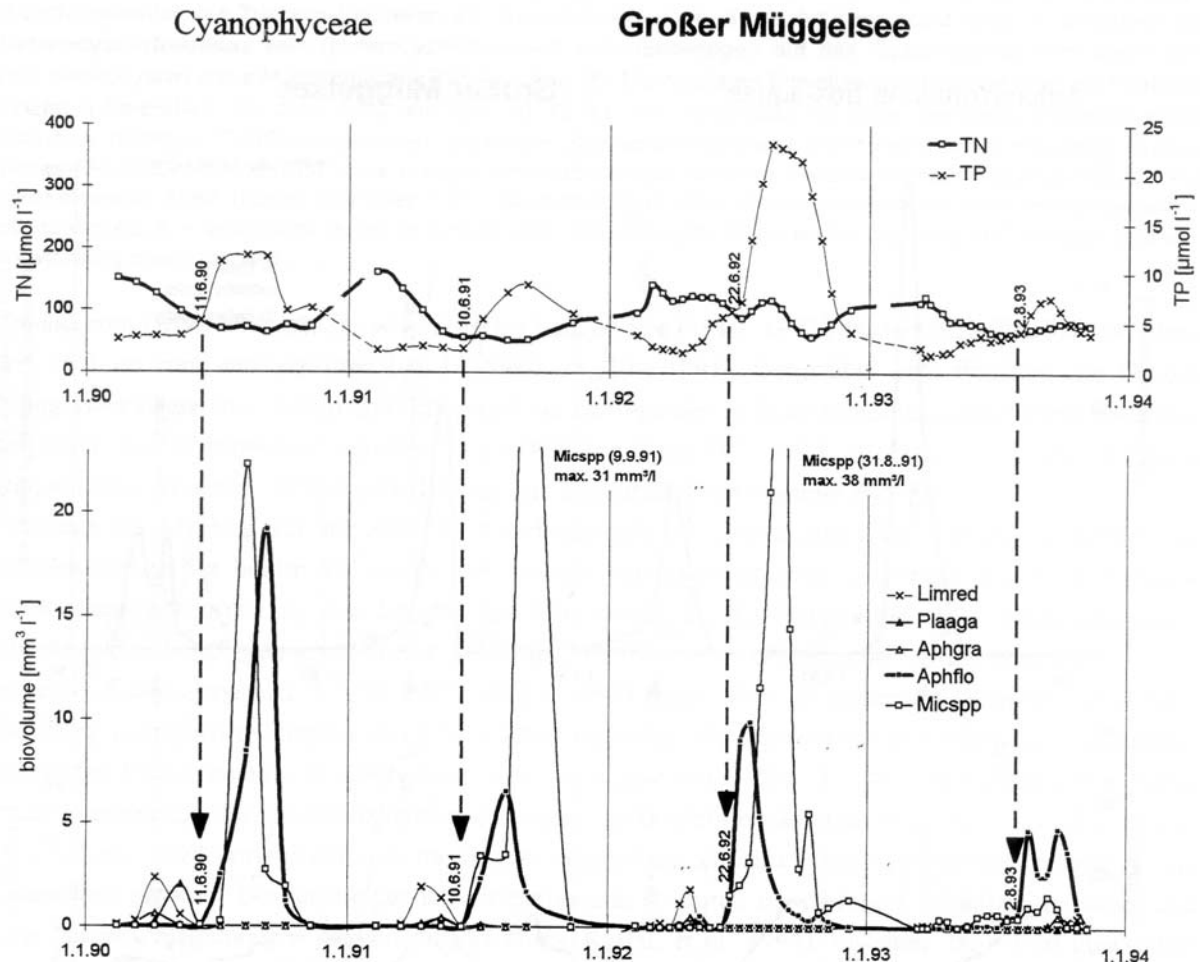


Abb. 40: Jahresdynamik der Biovolumina dominanter Cyanophyteen-Arten und -Artengruppen im Vergleich zur Jahresdynamik der Gesamtstickstoff (TN)- und Gesamtphosphor-Konzentrationen (TP) im Großen Müggelsee.

[Unterschreiten des TN/TP-Verhältnisses von 16:1: 11.6.1990, 10.6.-8.7.1991, 22.6.1992, 2.8.1993; TN-TP-Achsenkalierung und Abkürzungen der Algennamen siehe Abb. 39.]

Limitationszustand wird nachfolgend für TN/TP größer/kleiner 16 verwendet, was nicht damit gleichzusetzen ist, daß P bzw. N das Wachstum einer oder mehrerer Arten der Phytoplanktongemeinschaft unter diesen Bedingungen auch tatsächlich limitiert, siehe auch Diskussion in Kapitel 4. 6.).

Mit der Abb. 76 A wird offenkundig, daß sich die Phytoplankton-Zusammensetzung der „polymiktischen Flußseen“ gut gegenüber den anderen Gewässern abgrenzen läßt und sich damit deutlich von denen der anderen untersuchten Gewässer unterscheidet (Schnittebene 1, Cluster 1c). Innerhalb der „polymiktischen Flußseen“ verweist die Clusteranalyse jedoch auf eine abgestufte Ähnlichkeit der Phytoplanktonzusammensetzung zwischen den Gewässerjahren. Obwohl die Jahresdynamik der Nährelementkonzentrationen in den beiden Gewässern vergleichbar ist, treten grundsätzlich verschiedene Dominanzverhältnisse des Cyanophyteen-Planktons in beiden Gewässern auf. So sind das Sommer- und Herbstplankton im Langen See (1990, 1992) durch die Dominanz von *Planktothrix agardhii* (Oscillatoriales; „*Oscillatoria*“-Jahre) gekennzeichnet (Abb. 39). Im Großen Müggelsee dagegen entwickelt sich diese Blaualgenart nur kurzzeitig im späten Frühjahr (siehe insbesondere 1990 in Abb. 40). Im Sommer und Herbst etablieren sich dafür hohe Populationsdichten von *Aphanizomenon flos-aquae* (Nostocales) und *Microcystis*-Arten (Chroococcales) („*Aphanizomenon flos-aquae*/*Microcystis* spp.“-Jahre) (siehe auch LANS und MUES in Abb. 38).

Die detaillierte Jahresdynamik dieser verschiedenartigen Cyanophyteen-Planktonstrukturen spiegelt sich

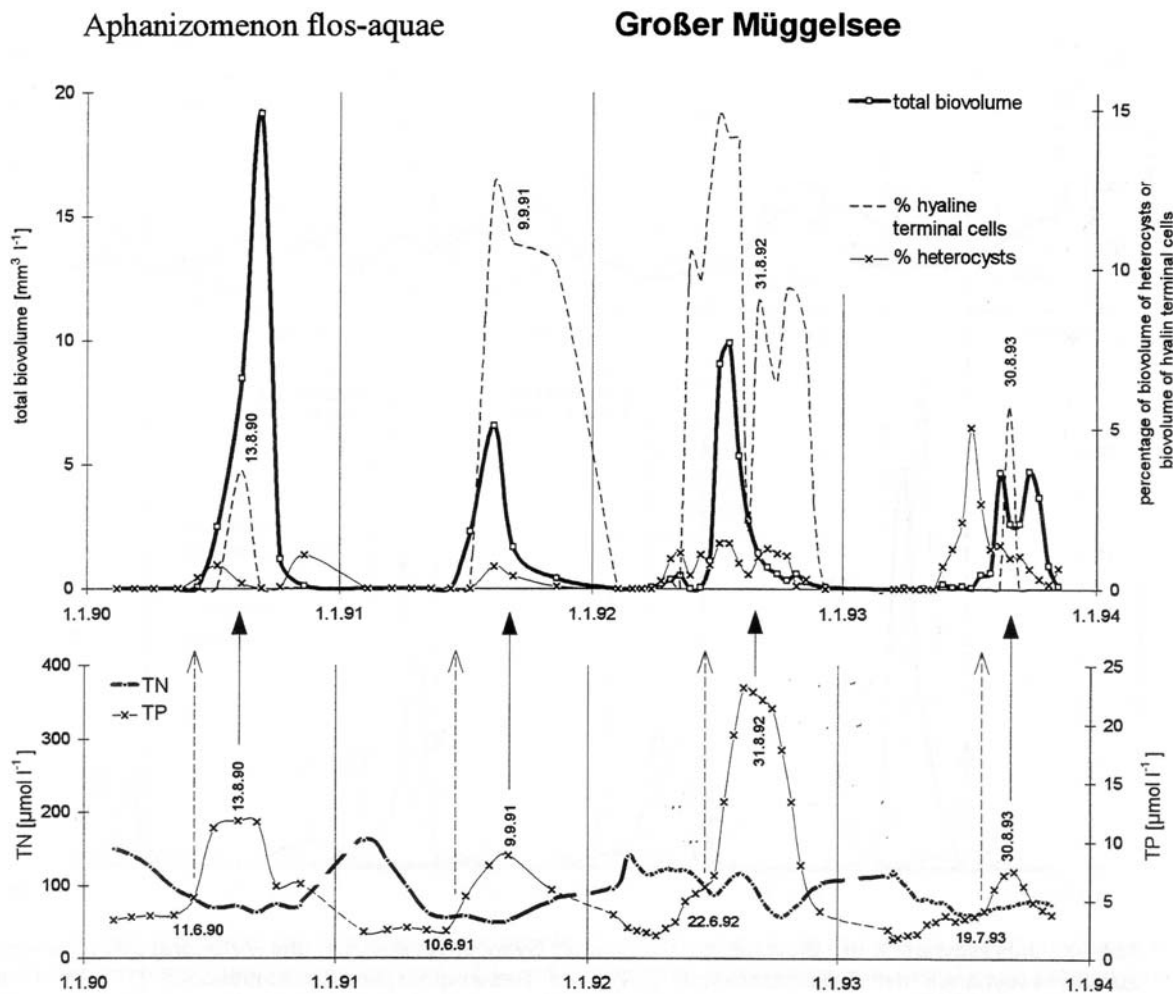


Abb. 41: Jahresdynamik der Biovolumenentwicklung einschließlich der Heterocystenfrequenz und des Biovolumenanteils hyaliner Trichom-Endzellen von *Aphanizomenon flos-aquae* im Vergleich zur Jahresdynamik der Gesamtstickstoff (TN)- und Gesamtphosphor-Konzentrationen (TP) im Großen Müggelsee. [Datenbasis: Biovolumenanteil der Heterocysten (Heterocystenfrequenz) [%] bzw. der hyalinen Trichom-Endzellen der Trichome [%] am Gesamtbiovolumen von *Aphanizomenon flos-aquae*. TN-TP-Achsenkalierung siehe Abb. 39.]

in den „typischen“ „*Oscillatoria*“-Jahren des Langen Sees (1990, 1993) und den „typischen“ „*Aphanizomenon flos-aquae*/*Microcystis* spp.“-Jahren des Großen Müggelsees (1990, 1992, 1993) wider (Jahresangaben nach Abb. 76 A: LANS siehe Cluster S2a, MUES siehe Cluster S2b).

Im Großen Müggelsee entwickeln sich in den genannten Jahren im Frühjahrsplankton unter hohen TN/TP-Verhältnissen höhere Populationsdichten von *Limnithrix redekei*. *Planktothrix agardhii* und *Aphanizomenon gracile* sind subdominant vertreten. In diesen „typischen“ „*Aphanizomenon flos-aquae*/*Microcystis* spp.“-Jahren wird jeweils im Juni (11.6.1990, ca. 25.6.1991, 22.6.1992) das kritische TN/TP-Verhältnis von 16:1 infolge einsetzender Phosphatrücklösung aus dem Sediment unterschritten (Abb. 40). Zu diesem Zeitpunkt des einsetzenden N-Limitationszustandes sind die Cyanophyceen-Arten des Frühjahrsplanktons nur noch mit geringen Biovolumina vertreten (Klarwasserstadien; siehe auch Abb. 18). Unmittelbar nach Unterschreiten des TN/TP-Verhältnisses von 16:1 setzt dann jeweils eine starke Entwicklung von *Aphanizomenon flos-aquae* ein.

Maximale Biovolumina von *Aphanizomenon flos-aquae* liegen meist unter den jahresniedrigsten TN/TP-Verhältnissen vor (siehe 13.8.1990, 9.9.1991, 31.8.1992 in Abb. 41). In dieser Phase der Massenentwicklung treten bei

den Trichomen konzentriert hyaline Endzellen auf (siehe Mikrofotografie Tafel III: Abb. 3). Der prozentuale Biovolumenanteil der Trichom-Endzellen am Gesamtbiovolumen dieser Art kann recht hoch im Vergleich zur Heterocystenfrequenz sein (Heterocystenfrequenz volumenbezogen auf das Gesamtbiovolumen dieser Art, [%]; Heterocysten siehe Mikrofotografie Tafel III: Abb. 2). Die höchsten Biovolumenanteile nehmen die hyalinen Trichom-Endzellen im Jahr 1992 ein (bis zu 15 %). Im Gegensatz zu einer gewissen Synchronisation zwischen niedrigen TN/TP-Verhältnissen, maximaler Biomasseentwicklung und hohem Biovolumenanteil hyaliner Trichom-Endzellen lassen sich keine klaren Konstellationen zur erhöhten Heterocystenbildung erkennen. So tritt beispielsweise 1993 (kühler Sommer, hohe Niederschläge) eine überdurchschnittlich hohe Heterocystenfrequenz von ca. 5 % entkoppelt zu der in diesem Jahr erst mit sechs Wochen Verzögerung auftretenden Massentwicklung dieser Art auf.

Analog zum Großen Müggelsee wird auch im Langen See (1990, 1992) das kritische TN/TP-Verhältnis von 16:1 im Juni unterschritten (ca. 1.6.1990, ca. 20.6.1991). Gegenüber dem Plankton des Großen Müggelsees liegen hier jedoch zum Zeitpunkt des eintretenden N-Limitationszustandes bereits hohe Biovolumina von *Planktothrix agardhii* vor (1990: ca. 8 mm³ l⁻¹; 1990: ca. 19 mm³ l⁻¹). Die etablierte Dominanzstruktur des „*Oscillatoria*“-Planktons besteht dann im Sommer fort.

Innerhalb des Clusters S2b der Abb. 76 A widerspiegelt sich jedoch auch, daß sich die Phytoplanktongemeinschaften der beiden Gewässer nicht immer klar gegeneinander abgrenzen lassen. Die Phytoplanktonzusammensetzung vom Langen See 1991 ähnelt der des Müggelsees 1993. Beide Gewässerjahre weisen Übergänge zwischen den „typischen“ Planktonentwicklungen der beiden Seen auf.

In beiden Gewässerjahren (LANS 1991, MUES 1993) liegen über den gesamten Jahresverlauf verhältnismäßig niedrige Biovolumina von *Planktothrix agardhii* und *Microcystis aeruginosa* s. l. gegenüber moderaten Biovolumina von *Aphanizomenon flos-aquae* vor (Abbn. 39, 40; siehe auch abweichende Zusammensetzung des Bacillariophyceen-Planktons bei beiden Gewässerjahren in Kapitel 3. 2. 2. 3. 2.).

Im Frühjahr 1993 entwickeln sich im Großen Müggelsee auffallend niedrige Populationsdichten von *Limnithrix redekei*. Die nachfolgende Sommerperiode ist durch ein niedriges Strahlungsdargebot und hohe Niederschlagsmengen gekennzeichnet (siehe KOHL et al. 1994). In jenem Jahr wird im Großen Müggelsee das kritische TN/TP-Verhältnis durch die geringe Phosphatrücklösung erst am 2.8. (Abb. 40) unterschritten. Zwar setzt dann wiederum unmittelbar nach Eintritt des N-Limitationszustandes eine starke Entwicklung von *Aphanizomenon flos-aquae* ein. Dieses erfolgt nun aber im Vergleich zum Vorjahr 6 Wochen verspätet. Wenngleich parallel dazu das Biovolumen der *Microcystis*-Arten spät im Sommer 1993 ansteigt, bleibt dennoch die Biovolumenentwicklung dieser Chroococcales im Vergleich zu den Jahren 1990 bis 1992 vernachlässigbar gering.

Im Langen See setzt 1991 eine zunehmende Biovolumenentwicklung von *Planktothrix agardhii* erst relativ spät im Frühjahr ein (ca. 1 Monat verzögert gegenüber 1990). Gegenüber den „typischen“ „*Oscillatoria*“-Jahren erreicht diese Art hier bei Unterschreiten des kritischen TN/TP-Verhältnisses ein vergleichsweise geringes Biovolumen von nur 2,3 mm³ l⁻¹ (siehe 10.6. in Abb. 39). Unter den Bedingungen der niedrigen TN/TP-Verhältnisse setzt dann 1991 auch in diesem Flußsee, ähnlich wie im Großen Müggelsee, eine stärkere Biovolumenentwicklung von *Aphanizomenon flos-aquae* und *Microcystis aeruginosa* s. l. ein.

Dominanzwechsel der Cyanophyceen-Arten in Gewässern mit mittleren saisonalen TN/TP-Verhältnissen < 16 (Flakensee) oder > 16 (Krumme Lake)

Für den Flakensee zeigen sich zwar auch wechselnde Konzentrationsverhältnisse von TN zu TP, aber im Gegensatz zu den „polymiktischen Flußseen“ wird das kritische TN/TP-Verhältnis häufig schon im Frühjahr unterschritten (18.3.1991, 27.4.1992, 13.4.1993 in Abb. 42) bzw. schwankt über lange Zeiträume mit kleiner Amplitude um den Wert von 16 (Februar bis Juni 1990, siehe aber auch April bis Juli 1993). Abgesehen von den zeitweise geringfügig über dem Wert von 16 vorliegenden TN/TP-Verhältnissen, herrschen somit im Flakensee über das ganze Jahr mehr oder weniger konstant Stickstofflimitationszustände vor.

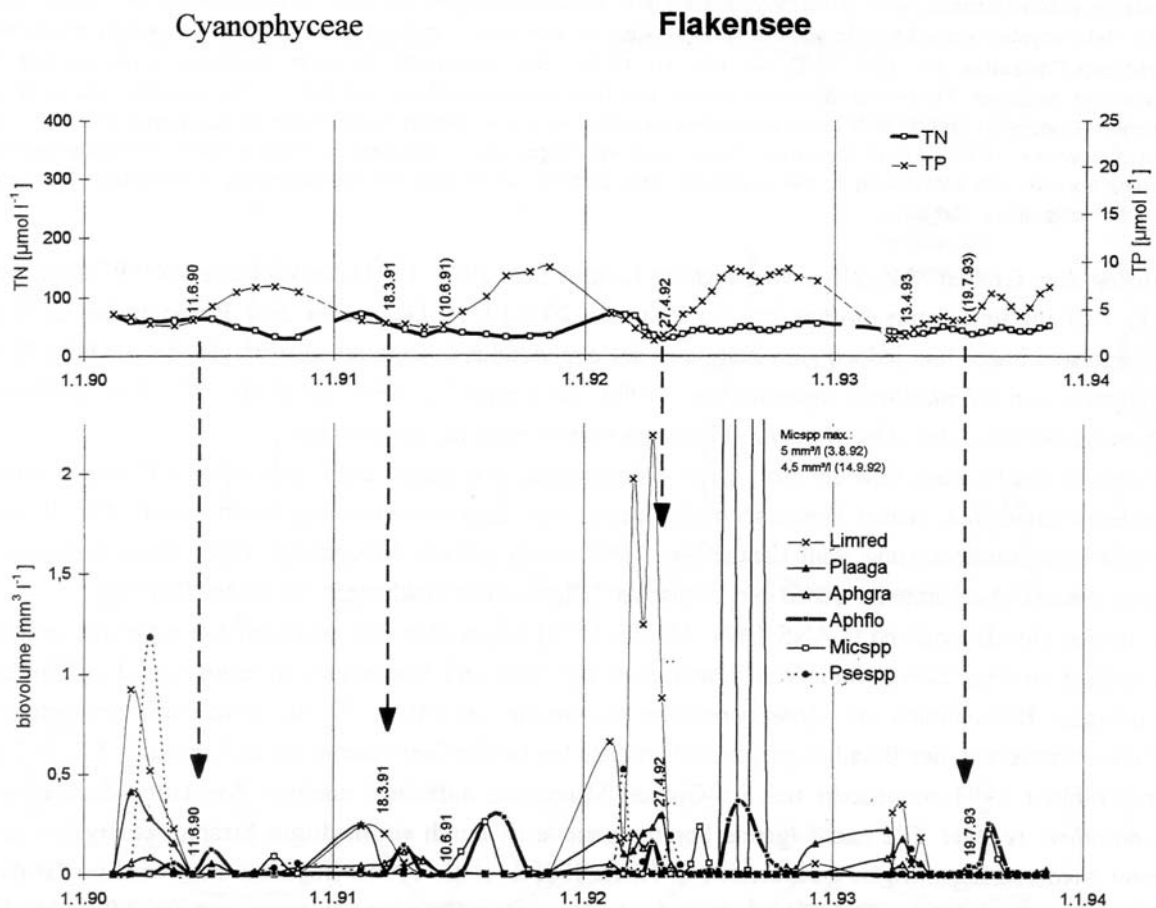


Abb. 42: Jahresdynamik der Biovolumina dominanter Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen im Vergleich zur Jahresdynamik der Gesamtstickstoff (TN)- und Gesamtphosphor-Konzentrationen (TP) im Flakensee. [Unterschreiten des TN/TP-Verhältnisses von 16:1: 11.6.1990, 18.3.1991, 27.4.1992, 13.4.1993; Abkürzungen der Algennamen: **Psespp** - *Pseudanabaena* spp., weitere Abkürzungen der Algennamen sowie TN-TP-Achsenskalierung siehe Abb. 39.]

Das Frühjahrs-Cyanophyceen-Plankton vom Flakensee ist noch weitestgehend in der Struktur und Dynamik mit dem der „polymiktischen Flußseen“ vergleichbar. So treten auch hier höhere Biovolumina von *Limnotherix redekei* in Begleitung einer geringfügigen Biovolumenentwicklung von *Planktothrix agardhii* und *Aphanizomenon gracile* auf.

Auch das Sommerplankton entspricht hinsichtlich der Art-Vorkommen dem des Großen Müggelsees. Zu den dominanten Cyanophyceen-Taxa des Sommerplanktons zählen im Flakensee wiederum *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis* spp. Jedoch zeigt sich hier insbesondere für *Aphanizomenon flos-aquae* eine vergleichsweise geringe Dynamik der Biovolumenentwicklung. Obwohl im Flakensee über lange Zeiträume im Jahr bereits das kritische TN/TP-Verhältnis von 16:1 unterschritten ist (Abb. 42), setzt die Biovolumenentwicklung von *Aphanizomenon flos-aquae* häufig erst bei einer weiteren starken (3.8.1992) bzw. sprunghaften (10.6.1991, 19.7.1993) Abnahme des TN/TP-Verhältnisses ein. Somit ergibt sich hier keine Initialisierung der Massenentwicklung von *Aphanizomenon flos-aquae* zum Zeitpunkt des unmittelbaren Unterschreitens des kritischen TN/TP-Verhältnisses, wie es sich im Großen Müggelsee 1990-1993 und dem Langen See 1991 klar gezeigt hat.

Im Gegensatz zum Großen Müggelsee, aber auch dem Langen See, wo die wechselnden TN/TP-Verhältnisse durch die Dynamik von TN und TP gleichermaßen bestimmt werden, wird im Flakensee die

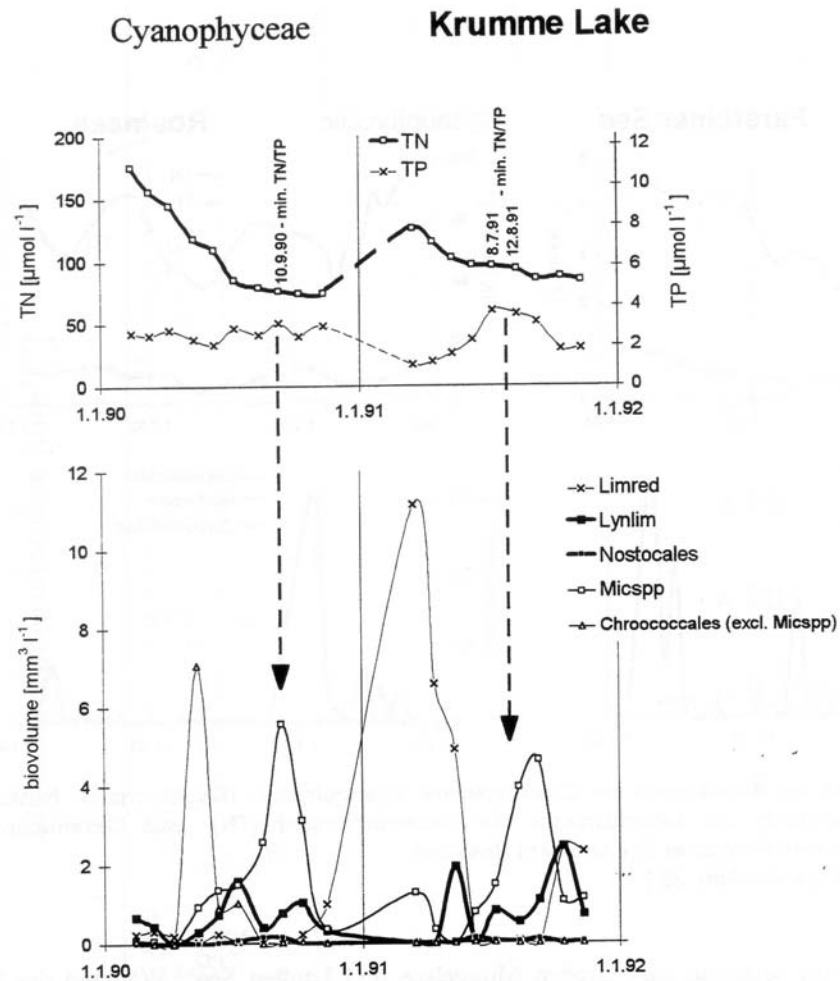


Abb. 43: Jahresdynamik der Biovolumina dominanter Arten und Artengruppen bzw. Ordnungen (Nostocales, Chroococcales (ohne Micspp)) der Cyanophyceen im Vergleich zur Jahresdynamik der Gesamtstickstoff (TN)- und Gesamtphosphor-Konzentrationen (TP) in der Krummen Lake.

[Abkürzungen der Algennamen: **Lynlim** - *Planktolyngbya subtilis* (Syn. *Lyngbya limnetica*), weitere Abkürzungen der Algennamen und TN-TP-Achsenkalierung siehe Abb. 39.]

saisonale Dynamik von TN/TP fast ausschließlich durch die sich ändernden TP-Konzentrationen bedingt (Abb. 16). Dagegen bewegen sich die TN-Konzentrationen über den gesamten Untersuchungszeitraum auf einem mehr oder weniger stabilen und niedrigem Niveau (Abb. 16 und Abb. 42).

In Abb. 16 widerspiegelt sich für den Großen Müggelsee und Langen See (MUES, LANS) eine gleichermaßen hohe Dynamik von TN und TP in der starken Dispersion der Saison-Mittelwerte sowohl entlang gedachter TN- als auch TP-Winkelhalbierender (eingezeichnete TN- und TP-Winkelhalbierende in Abb. 13 B zum schematischen Ablesen; Abb. 16 vergleiche dazu TN-, TP-Jahresdynamik in Abbn. 39 und 40). Für den Flakensee (FLAS) zeigt sich dagegen eine stärkere Dispersion allein entlang einer TP-Winkelhalbierenden. Die vergleichsweise geringe Jahresdynamik kommt in der parallelen Anordnung der Saison-Mittelwerte zur norm. SRSi/norm. TP-Achse zum Ausdruck (Abb. 16, siehe auch Abb. 42).

Allein das TN/TP-Verhältnis und das Cyanophyceen-Plankton berücksichtigend zeigt sich somit im hypertrophen Flakensee (Abb. 11) eine **nennenswerte** Dynamik lediglich im Jahresverlauf der TP-Konzentrationen und der Planktonentwicklung des Frühjahrs, nicht aber in dem Jahresverlauf der TN-Konzentrationen und der Sommer-Planktonentwicklung.

In der Krummen Lake liegen über den gesamten Untersuchungszeitraum die Werte oberhalb des optimalen TN/TP-Verhältnisses von 16:1, so daß für dieses Gewässer durchweg ein P-Limitationszustand angezeigt wird. Gleichwohl tritt eine saisonale Dynamik gleichermaßen bei den TN- wie auch den

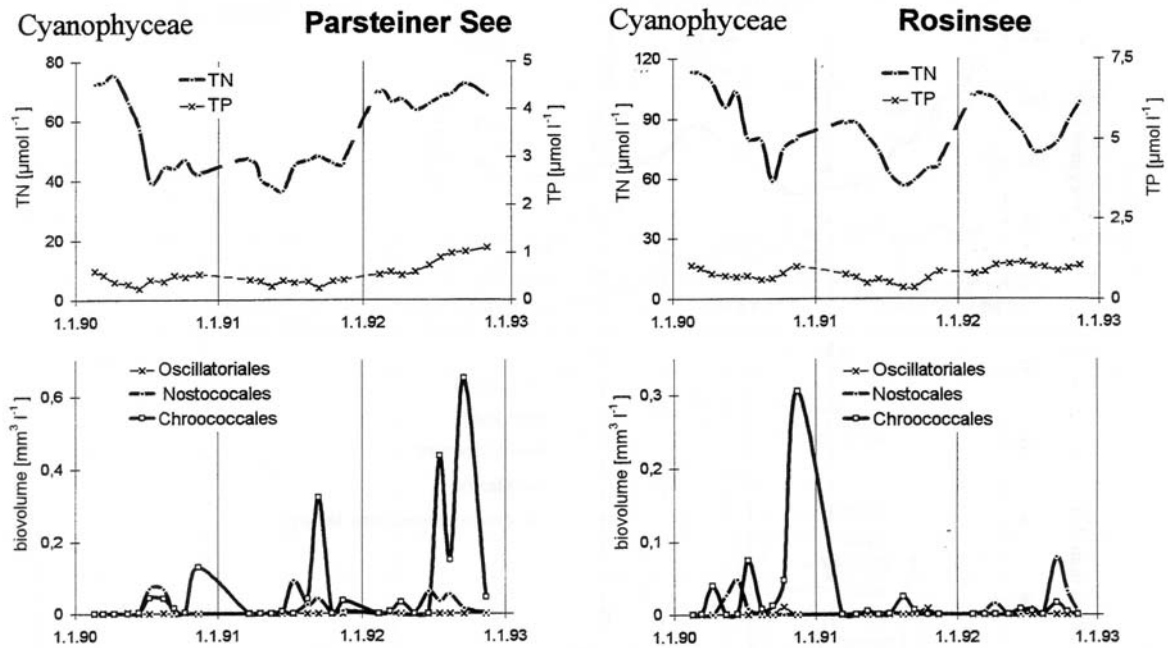


Abb. 44: Jahresdynamik der Biovolumina der Ordnungen der Cyanophyceen (Oscillatoriales, Nostocales, Chroococcales) im Vergleich zur Jahresdynamik der Gesamtstickstoff (TN)- und Gesamtphosphor-Konzentrationen (TP) in dem Parsteiner See und dem Rosinsee.
[TN-TP-Achsenskalierung siehe Abb. 39.]

Abb. 44: Jahresdynamik der Biovolumina der Ordnungen der Cyanophyceen (Oscillatoriales, Nostocales, Chroococcales) im Vergleich zur Jahresdynamik der Gesamtstickstoff (TN)- und Gesamtphosphor-Konzentrationen (TP) in dem Parsteiner See und dem Rosinsee.
[TN-TP-Achsenskalierung siehe Abb. 39.]

TP-Konzentrationen auf (in Analogie zum Großen Müggelsee und Langen See). Während des hohen TN/TP-Verhältnisses im Frühjahr treten höhere Biovolumina von *Limnothrix redekei* auf (subdominant: *Planktolyngbya subtilis*). Im Sommer entwickeln sich bei dem verhältnismäßig niedrigen TN/TP-Verhältnis stärker sowohl chroococcale Arten (Arten insbesondere der Gattungen *Gomphosphaeria*, *Woronichinia*, *Snowella* und *Chroococcus*) als auch *Planktolyngbya subtilis*. Dagegen sind die Biovolumina der nostocalen Arten wie auch der *Microcystis*-Arten unter dem Zustand der permanenten P-Limitation vernachlässigbar gering (Abb. 43).

Beziehung zwischen der Massenentwicklung der Nostocales und dem TN/TP-Verhältnis in den 4 Gewässergruppen

Eine klare Initialisierung der Massenentwicklungen in Abhängigkeit von einem kritischen Bedingungsgefüge (TN/TP-Verhältnis=16:1, Klarwasserstadium) zeigte sich mehrfach im jahresdynamischen Verlauf der 4 Gewässer bei *Aphanizomenon flos-aquae* (Nostocales). Die jahreszeitspezifische und gewässerspezifische Verteilung der Summe der Biovolumina der nostocalen Blaualgen steht in weitestgehender Übereinstimmung dazu. Recht klare Aussagen zur Regulation der N_2 -fixierenden (fakultativ diazotrophen) Cyanophyceen ergeben sich somit auch im gepoolten Datensatz (Abb. 45). Erst beim Unterschreiten eines TN/TP-Schwellenwertes von 20 werden Biomassedichten der nostocalen Blaualgen von mehr als $1 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$ („Flakenseegruppe“) bzw. weit mehr als $2 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$ („polymiktische Flußseen“) erreicht. Eine Ausnahme bilden jedoch die Biovolumina der Nostocales im Kiessee. Obwohl hier die Saison-Mittelwerte der TN/TP-Verhältnisse stets größer 16 (bzw. 20) sind (Abb. 15), treten in diesem See sporadisch über kurze Zeiträume höhere Biovolumina der nostocalen Blaualgen (dominant: *Aphanizomenon flos-aquae*) auf. Dagegen erreichen die Nostocales in den übrigen Gewässern mit hohen TN/TP-Verhältnissen, d. h. in den „dimiktischen, mesotrophen Seen“ und den „dystrophen Seen“,

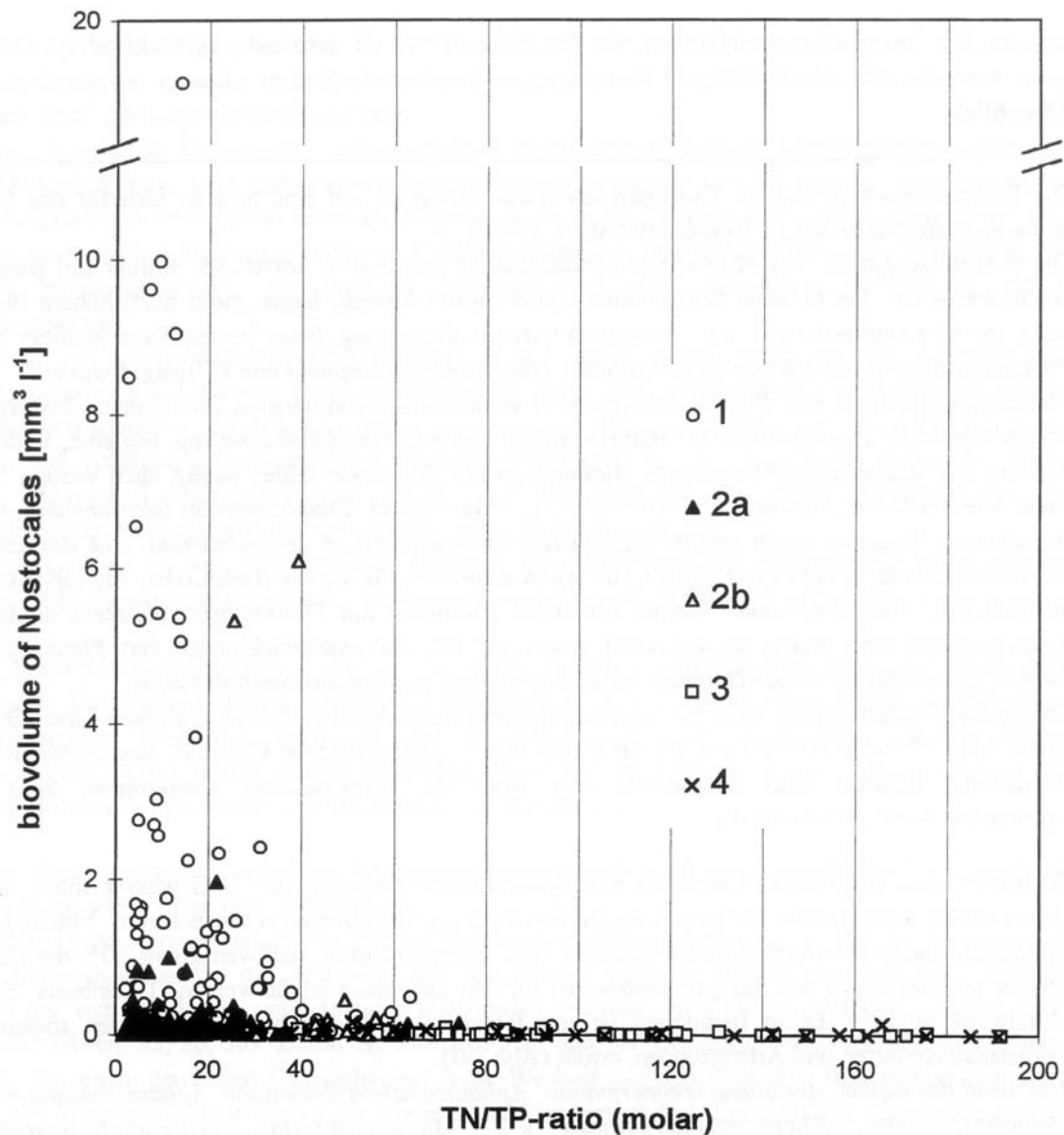


Abb. 45: Beziehung zwischen der Massenentwicklung der Nostocales und dem TN/TP-Verhältnis in den 4 Gewässergruppen.

[Darstellung zeigt übersichtshalber nur den Ausschnitt der TN/TP-Verhältnisse von 0 bis 200, Gewässergruppen: 1-„polymiktische Flußseen“, 2a-„mineralreiche Gewässer-Flakenseegruppe“, 2b-„mineralreiche Gewässer-Kiessee“, 3-„dimiktische, mesotrophe Seen“, 4-„dystrophe Seen“.]

keine nennenswert hohen Biovolumina (siehe Parsteiner See und Rosinsee in Abb. 44; siehe auch Biovolumenanteile der Nostocales in ROSS, PARS, GPLA und KRUL in Abb. 21).

Bereits mit der Abb. 16 wird darauf verwiesen, daß im Parsteiner See und im Rosinsee die TN-Konzentrationen stärker als die relativ konstanten TP-Konzentrationen variieren (siehe stärkere Dispersion der Saison-Mittelwerte entlang einer TN-Winkelhalbierenden gegenüber der TP-Winkelhalbierenden (Winkelhalbierende eingezeichnet im Ableseschema in Abb. 13 B), siehe auch Jahresdynamik von TN und TP in Abb. 44). Damit wird in diesen beiden Gewässern, in Analogie zum Flakensee (siehe oben), die saisonale Dynamik der TN/TP-Verhältnisse im wesentlichen wiederum nur von einer Nährelementkomponente bestimmt. Im Gegensatz zum Flakensee, in dem sich vorrangig eine saisonale Dynamik der TP-Konzentrationen und des Oscillatoria-Frühjahrsplanktons aufzeigen läßt, spiegelt sich in diesen beiden Gewässern mit höherer Dynamik der TN-Konzentrationen eine stärkere Dynamik bei den Nostocales und Chroococcales im Vergleich zu den Oscillatoriales wider.

Im Parsteiner See und Rosinsee setzt sich das Biovolumen der Nostocales im wesentlichen aus verschiedenen *Anabaena*-Arten, insbesondere *Anabaena lemmermannii*, zusammen (siehe Abb. 34). Darüber hinaus spielen im Rosinsee Biovolumina von *Aphanizomenon*-Arten eine Rolle. Die Zusammensetzung der Chroococcales ergibt sich aus einer Vielzahl von Arten (siehe Artenliste Tabelle III S. 68-71).

Überblick

Die Biovolumenanteile der 28 Cyanophyceen-Taxa verweisen auf eine diverse Struktur des Cyanophyceen-Planktons in den 11 Gewässern (Abbn. 27-29).

Die Biovolumenanteile von *Microcystis viridis* und *M. aeruginosa* korrelieren stärker mit denen der nostocalen Arten. Bei höheren Biovolumina von *Snowella litoralis* liegen meist auch höhere Biovolumina von *Merismopedia* spp. vor. Außerdem treten in Begleitung dieser beiden Taxa häufiger höhere Populationsdichten von *Chroococcus turgidus*, *Woronichinia compacta* und *W. naegeliana* auf.

Massenentwicklungen von *Planktothrix agardhii* werden meist von höheren Biovolumina von *Aphanizomenon gracile*, aber auch von *Limnothrix redekei* und von *Pseudanabaena* spp. begleitet. In den Gewässern mit Massenentwicklungen von *Aphanizomenon flos-aquae* bilden häufig auch weitere Nostocales, wie *Anabaena flos-aquae*, *A. spiroides*, *A. solitaria* und *Aphanizomenon issatschenkoi*, höhere Biovolumina. Dagegen ergibt sich für eine weitere *Anabaena*-Art, *A. lemmermannii*, eine stärkere Biomasseentwicklung gerade in den nicht von *Aphanizomenon flos-aquae* dominierten Phytoplanktongemeinschaften. *Anabaena lemmermannii* tritt dabei zusammen mit *Planktothrix rubescens* häufiger in Begleitung von einer Reihe chroococcaler Arten auf. Bei Massenentwicklungen von *Planktolyngbya subtilis* entwickeln sich zugleich relativ hohe Biovolumina von *Aphanizomenon skujae*.

Eine grobe Untergliederung nach den Verbreitungsschwerpunkten der 28 Cyanophyceen-Taxa (Dendrogramm Abb. 29) separiert die Taxa, die bevorzugt in den „polymiktischen Flußseen“ und „mineralreichen Gewässern“ (Cluster S1a) vorkommen von denen der „dimiktischen, mesotrophen Seen“ und „dystrophen Seen“ (Cluster S1b).

Zugunsten eines prägnanten Vergleichs des Cyanophyceen-Planktons der 11 Gewässer stützt sich die Untersuchung im folgenden auf eine Auswahl von Taxa aus dem breiten Artenspektrum. Mittels Hauptkomponentenanalysen wurde dazu die Zahl der Taxa soweit reduziert, daß wenigstens 60% der Gesamtvarianz mit den ersten drei Hauptkomponenten für den Datensatz erfaßt werden (Datenbasis: Saison-Mittelwerte, n=129). Diese Bedingung ist mit folgenden 10 Cyanophyceen-Taxa, den sogenannten repräsentativen Arten und Artengruppen, erfüllt (Abb. 30):

Anabaena flos-aquae, *Anabaena lemmermannii*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Aphanizomenon gracile*, *Limnothrix redekei*, *Microcystis aeruginosa* s.l., *Microcystis viridis*, *Microcystis wesenbergii*, *Planktothrix agardhii* und *Planktolyngbya subtilis* (Syn.: *Lyngbya limnetica*).

Die unterschiedlichen Cyanophyceen-Planktongemeinschaften lassen sich weitestgehend anhand der Biovolumenanteile der repräsentativen Arten und Artengruppen beschreiben (Abbn. 32, 34). Eine grundsätzliche Differenzierung der Cyanophyceen-Planktongemeinschaften zwischen den vier limnologisch verschiedenen Gewässergruppen ergibt sich dabei auch schon mit den unterschiedlich verteilten Biovolumenanteilen von drei Cyanophyceen-Arten-Paaren:

Planktolyngbya subtilis / *Microcystis wesenbergii*,
Aphanizomenon flos-aquae / *Microcystis viridis* und
Aphanizomenon gracile / *Planktothrix agardhii*

(Abb. 32, Korrelation der Biovolumenanteile siehe auch Abb. 33).

Nach dem Jointplot einer Kanonischen Korrespondenzanalyse (Abb. 34 A und B) ergeben sich die größten Unterschiede in der Zusammensetzung des Cyanophyceen-Planktons durch höhere Biovolumenanteile von *Anabaena lemmermannii*, *Planktolyngbya subtilis* und *Microcystis wesenbergii* in den einen und von den übrigen 7 Cyanophyceen-Taxa in den anderen Gewässern. Diese Unterschiede in der Cyanophyceen-Planktonzusammensetzung werden hauptsächlich im Zusammenhang mit den sehr unterschiedlichen TN/TP-Verhältnissen und Leitfähigkeiten zwischen den Gewässern gesehen. Die Verteilung der Objektpunkte der 4 Gewässergruppen widerspiegelt dabei die abgestufte Ähnlichkeit zwischen den vier Gewässergruppen hinsichtlich der limnologischen Charakteristik sowie der Zusammensetzung des Blaualgenplanktons. Es wird deutlich, daß die „polymiktischen Flußseen“ und „mineral

reichen Gewässer“ einander recht ähnliche Gewässergruppen im Vergleich zu den „dimiktischen, mesotrophen Seen“ und „dystrophen Seen“ sind.

In den „dystrophen Gewässern“, gekennzeichnet durch extrem niedrige Leitfähigkeiten sowie hohe TN/TP-Verhältnisse, sind insbesondere höhere Biovolumenanteile von *Microcystis wesenbergii* und *Planktolyngbya subtilis* charakteristisch. Dagegen treten in den „dimiktischen, mesotrophen Seen“ unter ähnlich niedrigen Leitfähigkeiten und hohen TN/TP-Verhältnissen, aber stabiler thermischer Schichtung, eher höhere Biovolumenanteile von *Anabaena lemmermannii* neben *Microcystis wesenbergii* und *M. aeruginosa* auf.

Innerhalb der „polymiktischen Flußseen“ lassen sich differenzierte Strukturen des Cyanophyceen-Planktons erkennen. Einerseits sind insbesondere die hohen Biovolumenanteile von *Limnithrix redekei*, *Planktothrix agardhii* und *Aphanizomenon gracile* an ein Bedingungsgefüge mit hohen TN-Konzentrationen und vollständig durchmischem Wasserkörper (hohes $z_{\text{mix}}/z_{\text{max}}$ -Verhältnis) gekoppelt. Extrem hohe Chlorophyll-a-Konzentrationen zeigen sich im Einklang mit dieser Konstellationen der limnologischen Bedingungen und spezifischen Arten-Zusammensetzung.

Andererseits sind für die „polymiktischen Flußseen“ aber auch hohe Biovolumenanteile von *Microcystis viridis*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena flos-aquae* und *Microcystis aeruginosa* s. l. charakteristisch. Die „mineralreichen Gewässer“ sind im Vergleich zu den „polymiktischen Flußseen“ meist durch niedrigere TN-Konzentrationen, geringere Chlorophyll-a-Konzentrationen sowie höhere Leitfähigkeiten gekennzeichnet. In diesen Gewässern sind Biovolumenanteile von *Planktothrix agardhii* seltener vertreten bzw. meist relativ niedrig gegenüber denen von *Microcystis viridis*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena flos-aquae* und *Microcystis aeruginosa* s. l.

Neben dieser gewässerspezifischen Verbreitung ergeben sich auch seasonspezifische Vorkommen der 10 Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen.

Aus der Hauptkomponentenanalyse und der Diskriminanzanalyse leitet sich ab, daß die Strukturen des Cyanophyceen-Planktons des Frühjahrs und des Winters einander ähnlich sind und sich gegenüber denen des sich wiederum untereinander gleichenden Sommer- und Herbst-Planktons stärker unterscheiden (Abbn. 35, 36, 38). Damit ist offensichtlich, daß der Übergang vom Frühjahr zum Sommer häufig von einem deutlichen Cyanophyceen-Arten-Wechsel begleitet wird. Die Blaualgenzusammensetzung des Sommers besteht dann auch weitestgehend im Herbst fort. Ein stärkerer Artenwechsel ergibt sich erst mit einsetzender Winterperiode. Für das Cyanophyceen-Plankton ist somit kennzeichnend, daß unmittelbar nach einem Arten-Wechsel vom Frühjahr zum Sommer sich i. a. eine sommerliche Massentwicklung der Cyanophyceen anschließt. Gewässerspezifische Unterschiede spiegeln sich dabei in erster Linie in der unterschiedlichen Cyanophyceen-Zusammensetzung des Sommer- und Herbstplanktons wider (Abb. 35). Somit ist eine Gewässerdifferenzierung, die sich allein auf die Zusammensetzung des Cyanophyceen-Planktons bezieht, in enger Beziehung zur saisonalen Planktonzusammensetzung zu sehen (siehe Gegensatz zum Bacillariophyceen-Plankton in Kapitel 3. 2. 2. 3.).

Die Differenzierung zwischen den saisonalen Planktongruppen liegt hauptsächlich in der starken jahreszeitspezifischen Biomasseentwicklung einzelner Cyanophyceen-Arten begründet (Abbn. 37 und 38). So ergibt sich bei folgenden 7 der 10 repräsentativen Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen eine sehr ausgeprägte jahreszeitabhängige Biovolumenentwicklung (Diskriminanzanalyse, Abb. 36 D):

Limnithrix redekei = „Frühjahrs/Winter“-Art

Microcystis aeruginosa s. l., *Planktolyngbya subtilis*, *Anabaena flos-aquae*, *A. lemmermannii*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Planktothrix agardhii*

= „Sommer/Herbst“-Arten.

Obwohl der Große Müggelsee und der Lange See limnologisch sehr ähnliche Gewässer sind und auch in beiden Gewässern eine nahezu identische Cyanophyceen-Arten-Zusammensetzung vorliegt, treten im Jahresverlauf sehr verschiedene Dominanzstrukturen des Cyanophyceen-Planktons auf. Währenddessen für den Langen See die „*Oscillatoria*“-Jahre (*Planktothrix agardhii*) „typisch“ sind, herrschen im Großen Müggelsee „*Aphanizomenon flos-aquae*/*Microcystis* spp.“-Jahre vor. Im Großen Müggelsee zeigt sich über

die gesamten Untersuchungsjahre, daß die Massenentwicklung von *Aphanizomenon flos-aquae* immer unmittelbar beim Unterschreiten des kritischen TN/TP-Verhältnisses von 16:1 einsetzt (Abb. 40). Bei dieser diazotrophen Blaualgenart zeigt sich keine zwangsläufige Kopplung zwischen einer extremen Biomasseentwicklung und einer erhöhten Heterocystenfrequenz. Jedoch nehmen bei hohen Populationsdichten die Biovolumina der „hyalinen Trichom-Endzellen“ häufig ein höheren prozentualen Anteil am Trichom-Biovolumen ein (Abb. 41).

Im Langen See wird zwar auch im späten Frühjahr das TN/TP-Verhältnis von 16 unterschritten, jedoch liegen zu diesem Zeitpunkt bereits höhere Biovolumina von *Planktothrix agardhii* vor, so daß sich diese Art auch weiter im Sommerplankton etabliert. Allein im Jahr 1991, in dem zum Zeitpunkt des Unterschreitens des TN/TP-Verhältnisses von 16:1 für den Langen See außergewöhnlich niedrige Populationsdichten von *Planktothrix agardhii* vorliegen, entwickelt sich auch hier *Aphanizomenon flos-aquae* mit hohen Biovolumina zur dominanten Art (Abb. 39).

Obwohl im hypertrophen Flakensee über lange Zeiträume im Jahr bereits das kritische TN/TP-Verhältnis von 16:1 unterschritten ist (Abb. 42), setzt die Biovolumenentwicklung von *Aphanizomenon flos-aquae* häufig erst bei einer weiteren starken bzw. sprunghaften Abnahme des TN/TP-Verhältnisses ein. Somit ergibt sich hier keine Initialisierung der Massenentwicklung von *Aphanizomenon flos-aquae* zum Zeitpunkt des unmittelbaren Unterschreitens des kritischen TN/TP-Verhältnisses, wie es sich im Großen Müggelsee 1990-1993 und dem Langen See 1991 klar gezeigt hat.

Die beiden „polymiktischen Flußseen“, d. h. der Große Müggelsee und der Langen See, aber auch die Krumme Lake (eutropher „dystropher See“) sind blaualgendominierte Gewässer. Bei diesen Gewässern, insbesondere jedoch bei den beiden „polymiktischen Flußseen“, wird der saisonale Wechsel der relativen Nährelementverfügbarkeit (TN/TP) gleichermaßen durch die Dynamik von TN und TP (d. h. in Relation zueinander, siehe normierte Konzentrationsverhältnisse in Abb. 16) bedingt. In diesen Gewässern zeigt sich für das Cyanophyceen-Plankton sowohl im Frühjahr als auch Sommer eine Massenentwicklung (Abb. 39, 40, 43).

Dagegen werden die jahreszeitbedingten Wechsel der TN/TP-Verhältnisse im Flakensee und den beiden „mesotrophen Seen“, d. h. dem Parsteiner See und Rosinsee, im wesentlichen nur von einer der beiden Nährelementkomponenten bedingt.

Im Flakensee ergibt sich die saisonale Dynamik der TN/TP-Verhältnisse hauptsächlich durch die Dynamik der TP-Konzentrationen, währenddessen sich die TN-Konzentrationen über den gesamten Untersuchungszeitraum auf einem mehr oder weniger stabilen und niedrigem Niveau bewegen. In diesem hypertrophen See zeigt sich zwar eine mit den beiden „polymiktischen Flußseen“ vergleichbare Cyanophyceen-Frühjahrsentwicklung, aber eine starke Cyanophyceen-Sommerentwicklung, wie sie insbesondere von den Nostocales unter den niedrigen TN/TP-Verhältnissen zu erwarten gewesen wäre, bleibt aus (Abb. 16, Abb. 42).

Im Gegensatz zum Flakensee werden im Parsteiner See und Rosinsee die im Jahresverlauf wechselnden TN/TP-Verhältnisse hauptsächlich durch TN-Konzentrationschwankungen bei nahezu konstant bleibenden TP-Konzentrationen bedingt. In diesen beiden Gewässern mit höherer Dynamik der TN-Konzentrationen spiegelt sich eine stärkere Dynamik bei den ausgesprochenen Sommerarten, den Nostocales und Chroococcales, im Vergleich zu den Oscillatoriales im Frühjahr wider (Abb. 16, Abb. 44).

Analog zu dem Cyanophyceen-Plankton wird in Kapitel 3. 2. 2. 3. die Struktur und Dynamik des Bacillariophyceen-Planktons dargestellt.

Publikationen zu den hier vorliegenden Untersuchungen: TEUBNER et al. 1996.

3. 2. 2. 3. Das Bacillariophyceen-Plankton

Die Bacillariophyceen nehmen im untersuchten Gewässerspektrum durchschnittlich ca. 30 % des Gesamtphytoplankton-Biovolumens ein und zählen somit, parallel zu den Cyanophyceen, zu den dominanten Algenklassen. Im Zufluß des Großen Müggelsees (MUEZ) erreichen die Bacillariophyceen mit 65 % den höchsten durchschnittlichen Anteil am Gesamtphytoplankton-Biovolumen unter den 11 Gewässern (siehe Abb. 19 B, 20 A).

Die Bestimmung der Bacillariophyceen-Arten basiert i. a. auf Merkmalen der verkieselten Zellwandstrukturen, die ohne Präparation in den lugolfixierten Proben schwer oder nicht erkennbar sind. Bis auf eine Reihe leicht erkennbarer Arten werden daher bei quantitativen Analysen des rezenten Phytoplanktons häufig allein die Biovolumina von Artengruppen, wie z. B. die der einzelligen (solitären) zentrischen Diatomeen, ermittelt. Dagegen spielt die Quantifizierung der Vorkommen von einzelnen Diatomeenarten bei detaillierten Gewässerqualitäts-Untersuchungen sowie paläolimnologischen Fragestellungen eine Schlüsselrolle. So dienen relative Abundanzen der Diatomeenarten (Zellzahl, Thekenzahl) der Rekonstruktion der ehemals im Gewässer herrschenden Umweltverhältnisse.

Über eine kombinierte Auswertung von lugolfixierten Proben und Diatomeenpräparaten wurden für das untersuchte Gewässerspektrum die Biovolumina der einzelner Bacillariophyceen-Arten oder Artengruppen ermittelt. Damit ist es möglich, die diverse Struktur und Dynamik des Diatomeen-Planktons auf dem Niveau von Arten bzw. Artengruppen und in Analogie zum Cyanophyceen-Plankton zu diskutieren.

3. 2. 2. 3. 1. Verteilungsmuster der Biovolumina der Arten und Artengruppen

Variationen und Co-Variationen der Biovolumenanteile der Bacillariophyceen-Arten und -Artengruppen

In den Biplot-Darstellungen der Hauptkomponentenanalysen (PCA) der Abb. 46 und 47 werden die variierenden Biovolumenanteile von 29 Bacillariophyceen-Arten und -Artengruppen in Beziehung zueinander dargestellt. In Ergänzung dazu wird im Dendrogramm der Hierarchischen Clusteranalyse (HCA) die Gruppenbildung dieser Taxa entsprechend ähnlich kombinierten Biovolumenanteilen in den untersuchten Gewässern gezeigt (Abb. 48).

Die taxonomische Beschreibung von einzelnen Bacillariophyceen-Arten und -Artengruppen erfolgt in Kapitel 3. 2. 1. (siehe auch Mikrofotografien zu Vertretern der Centrales (Tafeln IV bis VIII S. 55-63) und der Pennales (Tafel VI S. 59)).

Mit der Abb. 46 zeigt sich die Tendenz, daß die höheren Biovolumenanteile von *Stephanodiscus hantzschii* meist auch von höheren Biovolumenanteilen von *Cyclostephanos dubius*, *Cyclotella meneghiniana*, *Cyclotella atomus* und *Actinocyclus normanii* im Plankton begleitet werden (siehe hohe Ladungen, d. h. große Vektorlängen, für diese Arten entlang der 1. Hauptkomponente).

Im Plankton mit hohen Biovolumenanteilen von *Cyclotella radiosa* liegen meist nur niedrige Biovolumenanteile von *Aulacoseira* spp. und umgekehrt vor. Dagegen treten bei höheren Biovolumenanteilen von *Cyclotella radiosa* häufiger auch höhere Biovolumenanteile von *Stephanodiscus neoastraea* und *S. minutulus/parvus* auf. Darüber hinaus zeigt sich aber auch, daß die Biovolumenanteile der Gruppe um *Cyclotella radiosa/Stephanodiscus neoastraea* und die der Gruppe um *Stephanodiscus hantzschii/Actinocyclus normanii* unabhängig voneinander variieren (siehe auch Differenzierung in die Cluster S2a und S2b in Abb. 48).

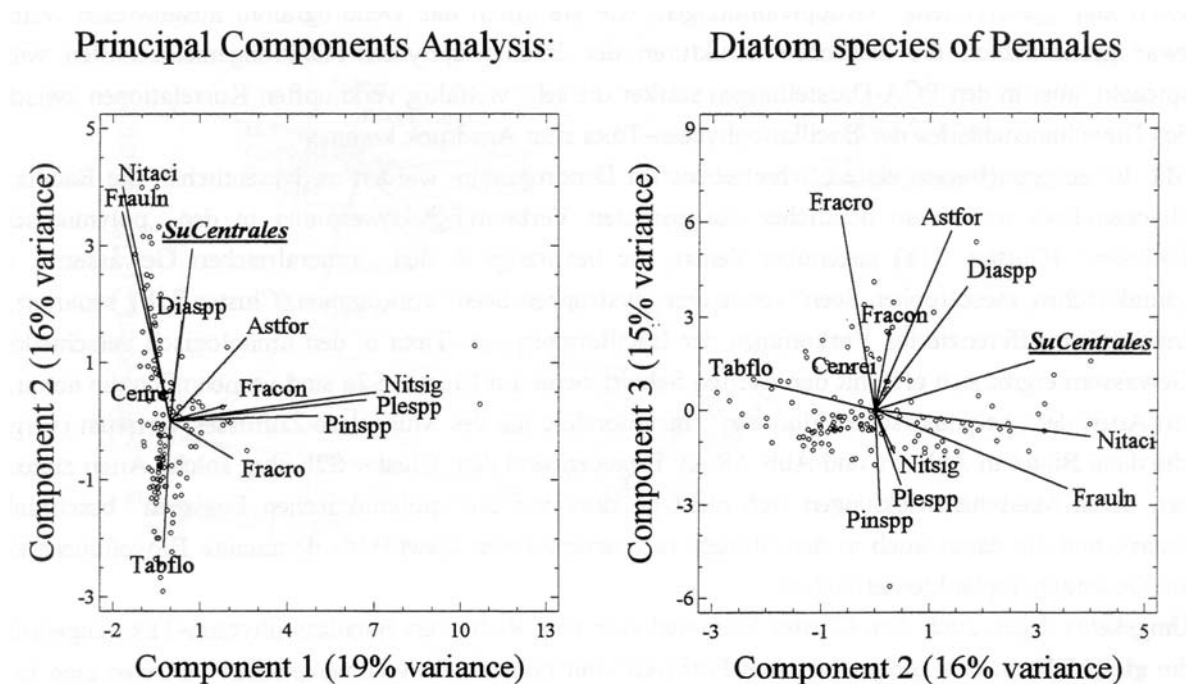


Abb. 47: Variationen und Co-Variationen der Biovolumenanteile von einzelnen pennaten Bacillariophyceen-Taxa (Pennales) gegenüber den Biovolumenanteilen der zentrischen Bacillariophyceen (Centrales).

[Biplot-Darstellung der PCA und Datenbasis analog Abb. 46. Gesamtvarianz für die 1.-3. HK gleich 50 %.

Abkürzungen der Variablenbeschriftung ($\rightarrow^{VI}$ siehe Mikrofotografien der Tafel VI S. 59): **Astfor**-*Asterionella formosa*, **Centrei**-*Fragilaria reicheltii* (Syn. *Centronella reicheltii*), **Diaspp**-*Diatoma* spp., **Fracon**-*Fragilaria construens*, **Fracro**-*Fragilaria crotonensis*, **Frauln**-*Fragilaria ulna*, **Nitaci**-*Nitzschia acicularis*, **Nitsig** $\rightarrow^{VI}$ -*Nitzschia sigmaidea*, **Plespp**-*Pleurosigma/Gyrosigma* spp., **Pinspp**-*Pinnularia* spp., **Su Centra**-Summe Centrales, **Tabflo** $\rightarrow^{VI}$ -*Tabellaria flocculosa*.]

Diatom species and species groups

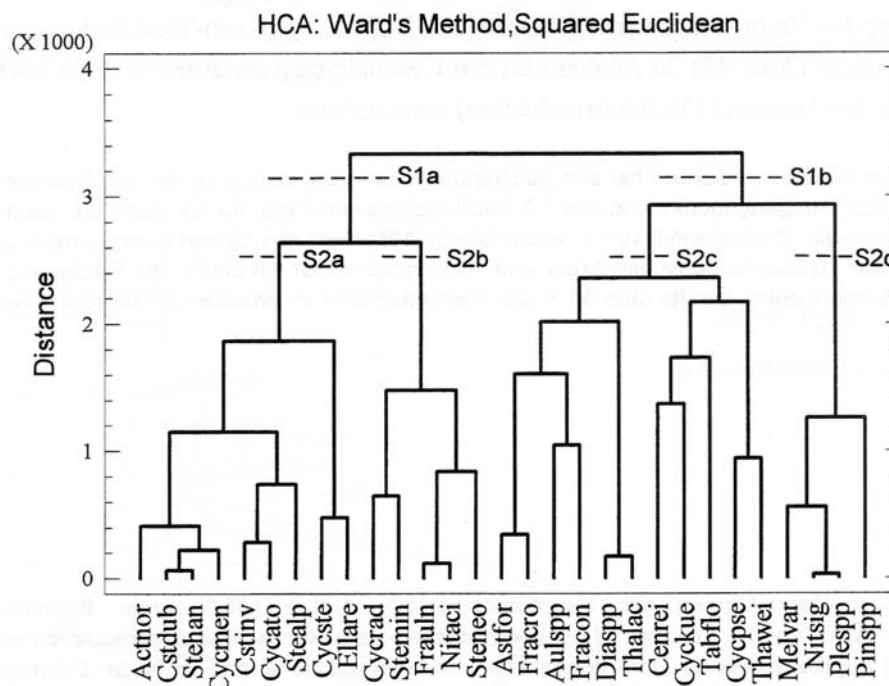


Abb. 48: Gruppierung der Bacillariophyceen-Taxa entsprechend ihren relativen Biovolumenanteilen am Gesamtphytoplankton-Biovolumen.

[Dendrogramm-Darstellung der Hierarchischen Clusteranalyse, Datenbasis: Saison-Mittelwerte. Strichellinien markieren Schnittebenen S1 und S2. Abkürzungen der Algennamen siehe Variablen in Abbn. 46-47.]

solch klar „geschnittene“ Gruppenbildungen, wie sie durch das Dendrogramm ausgewiesen werden, zwar grundsätzlich die ähnlichen Strukturen der Bacillariophyceen-Planktongemeinschaften widerspiegeln, aber in den PCA-Darstellungen stärker die sehr vielfältig verknüpften Korrelationen zwischen den Biovolumenanteilen der Bacillariophyceen-Taxa zum Ausdruck kommen.

Mit der eingezeichneten ersten Schnittebene im Dendrogramm werden im wesentlichen die Bacillariophyceen-Taxa mit einem deutlicher ausgeprägten Verbreitungsschwerpunkt in den „polymiktischen Flußseen“ (Cluster S1a) gegenüber denen, die bevorzugt in den „mineralreichen Gewässern“, den „dimiktischen, mesotrophen Seen“ sowie den „dystrophen Seen“ vorkommen (Cluster S1b), separiert.

Ein stärker differenziertes Vorkommen der Bacillariophyceen-Taxa in den limnologisch verschiedenen Gewässern ergibt sich erst mit der zweiten Schnittebene. Im Cluster S2a sind vornehmlich die dominanten Arten der „polymiktischen Flußseen“, insbesondere die des Müggelsee-Zuflusses vertreten (vergleiche dazu Biplot in Abb. 51 und Abb. 58 A). Dagegen sind dem Cluster S2b eher solche Arten zugeordnet, deren Massenentwicklungen sich nicht so stark auf die „polymiktischen Flußseen“ beschränken lassen, und die damit auch in den übrigen hier untersuchten Gewässern dominante Biovolumenanteile am Gesamtphytoplankton erreichen.

Umgekehrt liegen auch dem Cluster S2c wiederum eine Reihe von Bacillariophyceen-Taxa zugeordnet, die **gleichfalls** in den „polymiktischen Flußseen“ mit höheren Biovolumenanteilen vertreten sind (z. B. *Aulacoseira* spp., vergleiche dazu Abbn. 51 und 58 A). Dennoch kristallisiert sich aber heraus, daß viele Arten dieses Clusters S2c, insbesondere aber gerade die der Cluster S2d und S2e, deutliche Verbreitungsschwerpunkte in den „mineralreichen Gewässern“, den „dimiktischen, mesotrophen Seen“ und den „dystrophen Seen“ haben.

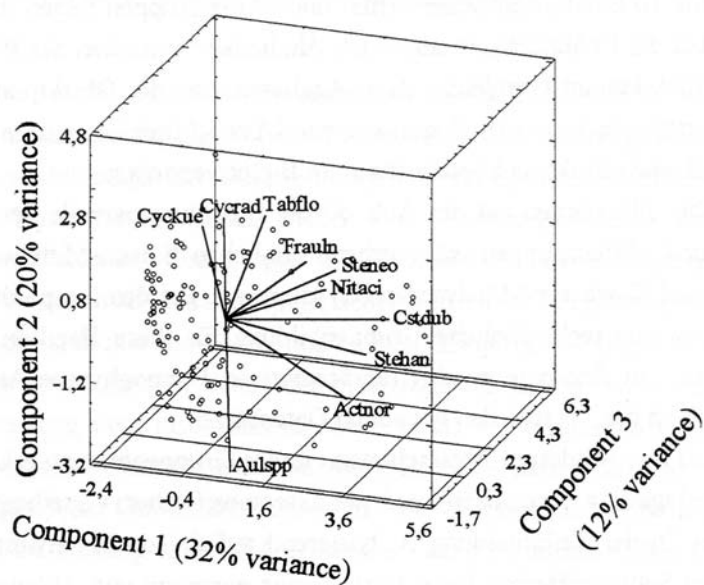
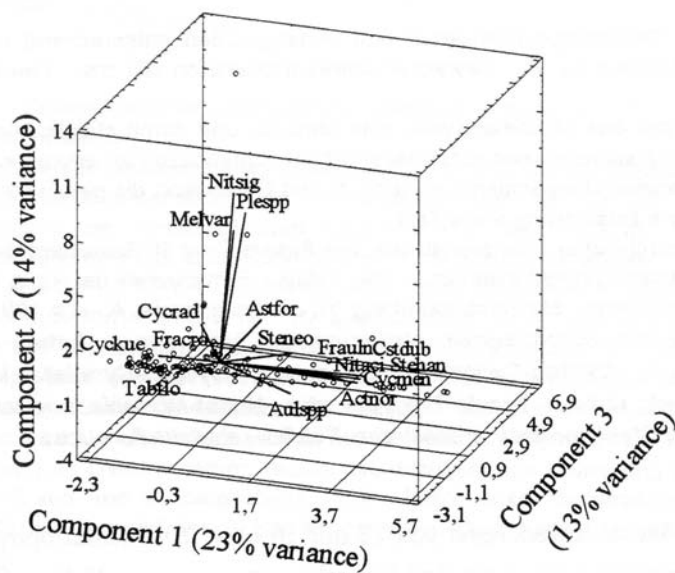
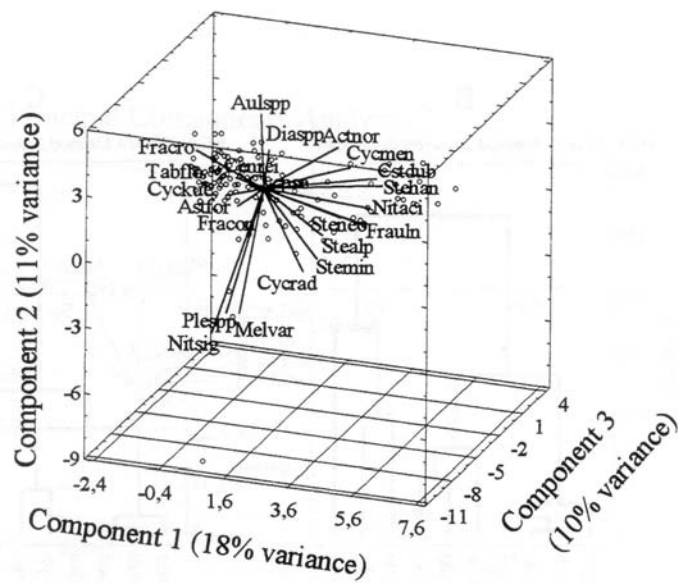
Repräsentative Bacillariophyceen-Arten und -Artengruppen der unterschiedlichen Phytoplanktongemeinschaften

Der geringe Varianzanteil von nur 43 bzw. 50 % für die ersten drei Hauptkomponenten der Abbn. 46 und 47 verweist darauf, daß sich anhand dieses breiten Spektrums von 29 Bacillariophyceen-Taxa die Zusammensetzung der Phytoplanktongemeinschaften nicht sehr prägnant beschreiben läßt. Die sich stark überlagernden Verbreitungsschwerpunkte vieler Bacillariophyceen-Taxa bedingen recht unscharfe Clusterzuordnungen (Abb. 48). In Analogie zu den Cyanophyceen erscheint es somit auch hier sinnvoll, eine Reduktion der Artenzahl (Variablenreduktion) vorzunehmen.

Die Prozedur der Variablenreduktion bei den Bacillariophyceen wird analog zu der der Cyanophyceen durchgeführt (siehe S. 92). Ausgangspunkt sind hier 22 Bacillariophyceen-Taxa, da für diese die Bedingung erfüllt ist, wenigstens einmal ein Mindestanteil von 5 % am Saison-Mittelwert des Gesamtbiovolumens zu erreichen. Mit der Reduktion auf 10 Bacillariophyceen-Arten und -Artengruppen ist wiederum die Bedingung erfüllt, mit den ersten 3 Hauptkomponenten bereits über 60 % der Gesamtvarianz zu erfassen (Datenbasis: Saison-Mittelwerte n=129).

Abb. 49: Biplot-Darstellungen der Hauptkomponentenanalysen (PCA) unter Berücksichtigung einer reduzierten Anzahl von 22, 16 bzw. 10 Bacillariophyceen-Taxa. Mit der Variablenreduktion erhöht sich für die ersten drei Hauptkomponenten der Varianzanteil von 39 % auf 50 % bzw. 64 % der Gesamtvarianz. Nähere Erläuterung siehe analog Abb. 30 und Text.

[Datenbasis: relatives Biovolumen bezogen auf das Gesamtphytoplankton-Biovolumen, Startkriterium für Auswahl der 22 Arten: relatives Biovolumen der Saison-Mittelwerte wenigstens einmal mindestens 5 % des Gesamtphytoplankton-Saison-Biovolumens (Untersuchungszeitraum 1990-93), Variablenreduktionen durch PCAs, Abkürzungen der Algennamen siehe Abbn. 46-47.]



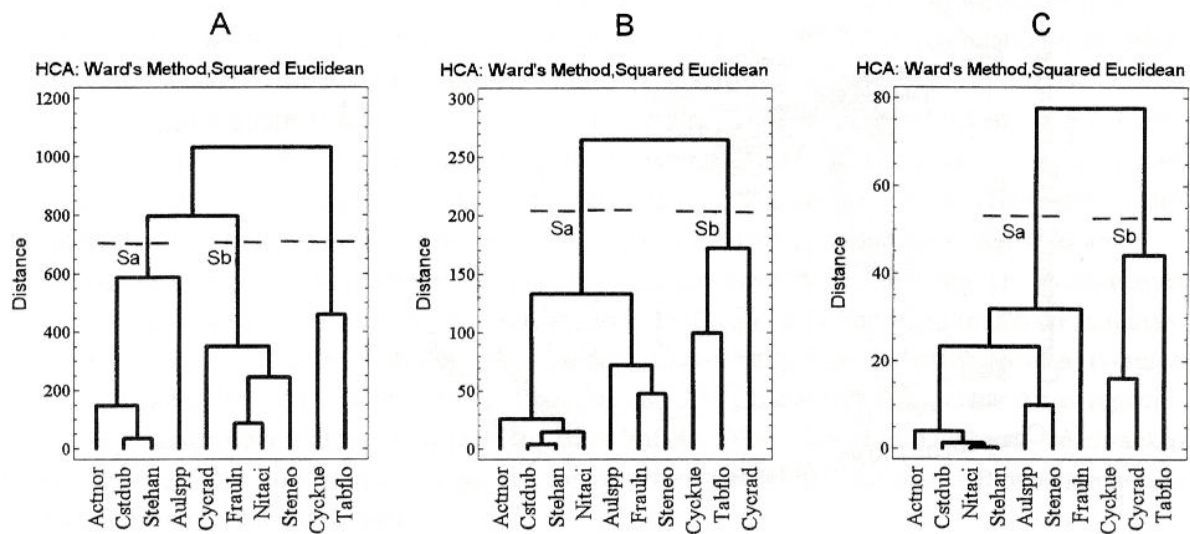


Abb. 50: Gruppenbildung von 10 Bacillariophyceen-Arten und -Artengruppen entsprechend den relativen Biovolumenanteilen bei Saison-Mittelwerten (A), Gewässer-Jahresmittelwerten (B) bzw. Gewässer-Mittelwerten (C).

Prinzipiell zeigt sich im Ergebnis der drei Clusteranalysen eine ähnliche und damit stabile Arten-Gruppenbildungen, obgleich in Nuancen Unterschiede beim verschiedenartigen Datenbezug zu erkennen sind. In der Abb. A kommen Aspekte der saisonalen Unterschiede, in Abbn. B und C verstärkt die gewässerspezifischen Unterschiede zum Ausdruck. Nähere Erläuterung siehe Text.

[Dendrogramm-Darstellungen Hierarchischer Clusteranalysen. Die Auswahl der 10 Taxa folgt dem Ergebnis der Variablenreduktion durch Hauptkomponentenanalysen, das relative Biovolumen der Taxa bezieht sich auf das Gesamtphytoplankton-Biovolumen, Stichprobenumfang (n) der Datenbasis: A - n = 129, B - n = 34; C - n = 11. Die Strichellinien markieren Schnittebenen. Abkürzung der Algennamen: **Actnor**-*Actinocyclus normanii*, **Aulsp**-*Aulacoseira* spp., **Cstdub**-*Cyclostephanos dubius*, **Cyckue**-*Cyclotella kuetzingiana/ocellata/comensis*, **Cyrcad**-*Cyclotella radiosa*, **Frauln**-*Fragilaria ulna*, **Nitaci**-*Nitzschia acicularis*, **Stehan**-*Stephanodiscus hantzschii*, **Steneo**-*Stephanodiscus neoastraea*, **Tabflo**-*Tabellaria flocculosa*.]

Die Abb. 49 zeigt Ausschnitte der Variablenreduktion von 22 auf 16 bzw. 10 Bacillariophyceen-Taxa. Neben der Erhöhung des Varianzanteils für die ersten drei Hauptkomponenten von 39 % auf 50 % bzw. 64 % wird hier auch die Tendenz zu einer stark zunehmenden Dispersion der Objektpunkte offensichtlich. Mit der Einbeziehung von nur 10 Bacillariophyceen-Arten und -Artengruppen liegen die Objektpunkte gut im Raum verteilt, so daß die Unähnlichkeit oder auch Ähnlichkeit zwischen der Planktonzusammensetzung klarer zum Ausdruck kommt (vergleiche dazu Agglomeration der Objektpunkte in der Biplot-Darstellung mit 22 Bacillariophyceen-Taxa). Zugunsten der Übersichtlichkeit wurde jedoch in Analogie zu den Cyanophyceen auf eine Objektpunktschriftung im Biplot verzichtet.

Analog zu den Cyanophyceen (Abb. 31) werden mit der Abb. 50 die Biovolumenanteile der 10 extrahierten Bacillariophyceen-Arten und -Artengruppen entsprechend ähnlichen Saison-Mittelwerten (A), Gewässer-Jahresmittelwerten (B) und Gewässer-Mittelwerten (C) gruppiert. Bei den 3 separat durchgeführten Clusterbildungen zeigt sich eine recht ähnliche Gruppenbildung für diese Bacillariophyceen-Taxa. Damit ergibt sich auch hier - in Analogie zu den repräsentativen Cyanophyceen-Arten - eine stabile Clusterbildung unabhängig von den verschiedenen gepoolten Datensätzen.

In Nuancen lassen sich jedoch auch hier wiederum Abweichungen in der Gruppenbildung erkennen, die im Zusammenhang mit einer Überlagerung von saison- und gewässerspezifischer Verteilung der Biovolumina gesehen werden müssen. In der Teilabbildung A, basierend auf Saison-Mittelwerten, liegen sowohl die beiden ausgesprochenen Sommer/Herbst-Taxa *Actinocyclus normanii* und *Aulacoseira* spp.

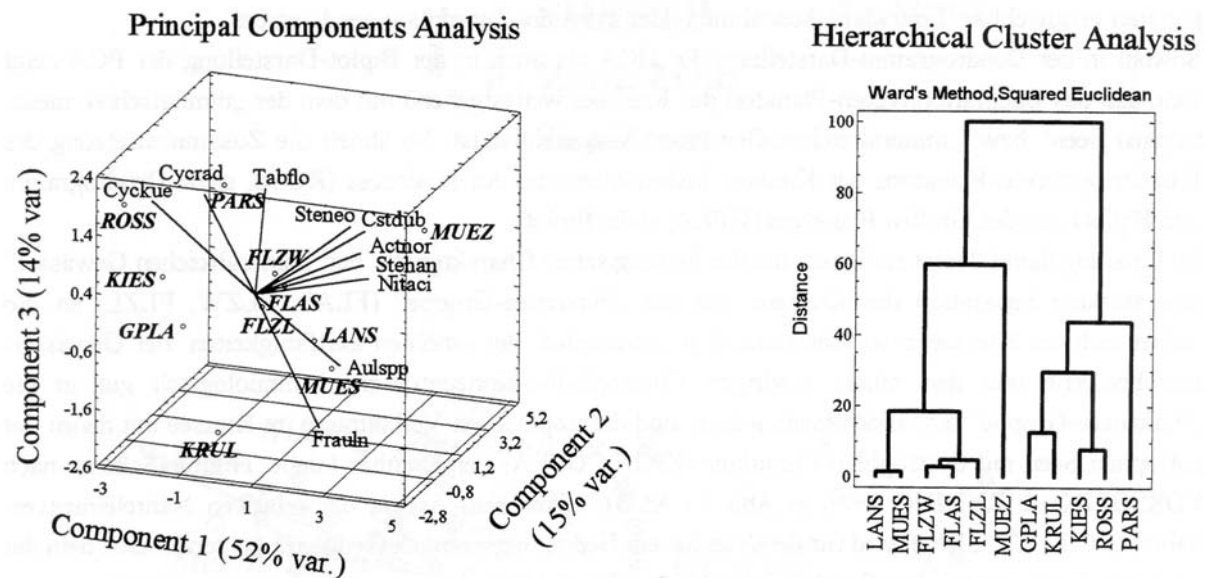


Abb. 51: Gruppierung der untersuchten Gewässer anhand von 10 repräsentativen Bacillariophyceen-Arten und -Artengruppen.

Im Ergebnis der Hierarchischen Clusteranalyse (HCA) und der Hauptkomponentenanalyse (PCA) zeigt sich eine Gruppierung/Anordnung der 11 Gewässer(-punkte), die sich weitgehend mit der Gruppenbildung entsprechend der limnologischen Charakteristik deckt (LANS, MUES, MUEZ siehe „polymiktische Flußseen“; FLAS, FLZL und FLZW siehe „mineralreiche Gewässer“; ROSS und PARS siehe „dimiktische, mesotrophe Seen“; GPLA und KRUL siehe „dystrophe Seen“ in Kapitel 3. 1. 2.). Somit repräsentieren die relativen Biovolumenanteile der 10 ausgewählten Arten und Artengruppen vornehmlich die spezifische Struktur des Bacillariophyceen-Planktons in den limnologisch verschiedenen Gewässergruppen (Ausnahme: Klare Separation des Kieselsees von den übrigen drei „mineralreichen Gewässern“; siehe Text).

[Datenbasis: Gewässer-Mittelwerte, relatives Biovolumen bezogen auf das Gesamtphytoplankton-Biovolumen, HCA und PCA basieren auf demselben Datensatz; Darstellung: HCA - Clusterung der Objekte (Gewässer) im Dendrogramm, rechts (die dazugehörige Clusterung der Variablen (Arten) ist in der Teilabbildung C von Abb. 50 dargestellt); PCA - Biplot, links, Varianzanteil für die 1. bis 3. Hauptkomponente gleich 81 %; Auswahl der 10 Bacillariophyceen-Taxa basiert auf Variablenextraktionen durch PCA (siehe Abb. 49).

Gewässerabkürzungen (von links nach rechts im Dendrogramm): Langer See, Großer Müggelsee, Flakensee-Zufluß-Wolt. Schleuse, Flakensee, Flakensee-Zufluß Löcknitz, Müggelsee-Zufluß, Großer Plagesee, Krumme Lake, Kieselsee, Rosinsee, Parsteiner See.]

(Cluster Sa) als auch die beiden ausgesprochenen Frühlings/Winter-Arten *Nitzschia acicularis* und *Stephanodiscus neoastraea* (Cluster Sb) jeweils einem Cluster gemeinsam zugeordnet.

In die Clusterbildungen der Teilabbildungen B und C, welche sich auf Gewässer-Jahresmittelwerte bzw. Gewässer-Mittelwerte beziehen, fließen allein Gesichtspunkte der gewässerspezifischen Verteilung der Biovolumenanteile ein. Somit ergibt sich hier eine veränderte Gruppenzugehörigkeit der oben genannten Arten mit ausgesprochen saisonspezifischer Verteilung. Entsprechend der gewässerspezifischen Verbreitung grenzen sich hier die ausgeprägten Bacillariophyceen-Arten der hypertrophen Gewässer (in B und C: Cluster Sa) gegenüber denen der mesotroph bis eutrophen Gewässer (in B und C: Cluster Sb) ab (Artenverteilung siehe insbesondere Abb. 51 bis 55, trophische Verhältnisse siehe Abb. 11 A, B).

In Ergänzung zur Clusterung der Bacillariophyceen-Arten (Variablen) in Abb. 50 C wird die Clusterung der dazugehörigen Gewässerstandorte in Abb. 51 (siehe Dendrogramm) dargestellt. Parallel dazu wird die Biplot-Darstellung einer PCA präsentiert, welche auf dem selben Datensatz basiert (siehe S. 95).

Die Gruppierung der Gewässer nach der Ähnlichkeit der Zusammensetzung des Bacillariophyceen-Planktons (Abb. 51) ist weitestgehend mit der Gruppierung der Gewässer nach limnologischen Gesichtspunkten vergleichbar. Eine klare Ausnahme bildet dabei die Zuordnung des Kieseesees.

Sowohl in der Dendrogramm-Darstellung der HCA als auch in der Biplot-Darstellung der PCA zeigt sich, daß das Bacillariophyceen-Plankton des Kieseesees weitestgehend mit dem der „dimiktischen, mesotrophen Seen“ bzw. „mineralreichen Gewässer“ vergleichbar ist. So ähnelt die Zusammensetzung des Bacillariophyceen-Planktons des Kieseesees insbesondere der des Rosinsees (ROSS, siehe Dendrogramm und Biplot) und des Großen Plagesees (GPLA, siehe Biplot).

Im Einklang damit deutet sich auch bei der limnologischen Charakteristik der „mineralreichen Gewässer“ eine stärkere Separation des Kieseesees von der „Flakensee-Gruppe“ (FLAS, FLZW, FLZL) an. So ordnet sich der Kieseese zwar einerseits, d. h. hinsichtlich der erhöhten Leitfähigkeiten, der Gewässer-morphometrie und den relativ niedrigen Chlorophyll-a-Konzentrationen, limnologisch gut in die „Flakensee-Gruppe“ ein, andererseits jedoch sind die trophischen Verhältnisse im Kieseese mit denen der eutrophen Seen mit dystrophem Charakter (KRUL, GPLA) vergleichbar (siehe Trophie-Schema nach FORSBERG & RYDING 1980 in Abb. 11 A, B). Unter dem Aspekt der relativen Nährelementverhältnisse (TN, TP, SRSi) wird für den Kieseese ein Bedingungsgefüge erkennbar, das tendenziell dem der „dimiktischen, mesotrophen Seen“ ähnelt (Abbn. 15 und 16).

Damit zeigt sich in Abhängigkeit von den ausgewählten limnologischen Kriterien eine wechselhafte Strenge bei der limnologischen Zuordnung des Kieseesees innerhalb der „mineralreichen Gewässer“. Die Heterogenität dieser limnologisch gefaßten Gewässergruppe kommt auch in der uneinheitlichen Zusammensetzung der Bacillariophyceen-Planktongemeinschaften der „Flakensee-Gruppe“ einerseits und des Kieseesees andererseits zum Ausdruck. Damit repräsentieren die relativen Biovolumenanteile der 10 ausgewählten Arten und Artengruppen vornehmlich die spezifische Struktur des Bacillariophyceen-Planktons in den limnologisch verschiedenen Gewässern. Bis auf eine wechselhaft strenge Zuordnung des Kieseesees zu den mineralreichen Gewässern (Abb. 51 siehe vergleichsweise zu Abb. 52) widerspiegeln darüber hinaus die Biovolumenanteile der 10 repräsentativen Bacillariophyceen-Taxa gut die limnologischen Gruppenzugehörigkeiten der untersuchten Gewässer (siehe Analogie zu den repräsentativen Cyanophyceen-Arten in Kapitel 3. 2. 2. 2. 1.).

Beziehung zwischen den verschiedenen limnologischen Parametern und den Biovolumenanteilen der 10 Bacillariophyceen-Arten und -Artengruppen

Mit den Jointplot-Darstellungen einer CCA (Abb. 52 A und B) werden die Verteilungen der saisonalen Biovolumenanteile der 10 repräsentativen Bacillariophyceen-Arten und -Artengruppen in Beziehung zu 7 limnologischen Parametern gesetzt (siehe auch Textausführungen zur CCA in Kapitel 3. 2. 2. 2. 1. zu Abb. 34 A, B).

Die größten Unterschiede in der Zusammensetzung des Bacillariophyceen-Planktons ergeben sich durch die höheren Biovolumenanteile von *Tabellaria flocculosa*, *Cyclotella kuetzingiana/ocellata/comensis* in den einen und *Stephanodiscus hantzschii* in den anderen Gewässern. Diese maximale Dispersion der artspezifischen Biovolumenverteilung entlang der ersten Achse der CCA wird hauptsächlich im Zusammenhang mit den sehr unterschiedlichen SRSi-Konzentrationen, aber auch mit den stark differierenden SRSi/TN-Verhältnissen und Chlorophyll-a-Konzentrationen in den untersuchten Gewässern gesehen. Entlang der ersten Achse der CCA lassen sich lediglich die Objektpunkte der „dimiktischen, mesotrophen Gewässer“ von denen der übrigen Gewässergruppen klar abgrenzen. In diesen Gewässern mit stabiler Schichtung im Sommer und Winter (häufig hohe $z_{\text{mix}}/z_{\text{max}}$ -Verhältnisse) und niedrigen SRSi-Konzentrationen treten insbesondere höhere Biovolumenanteile von *Cyclotella kuetzingiana/ocellata/comensis*, *Cyclotella radiosa* oder auch *Tabellaria flocculosa* gegenüber sehr geringen Biovolumenanteilen von *Stephanodiscus hantzschii* hervor (siehe auch Abbn. 53 und 54;

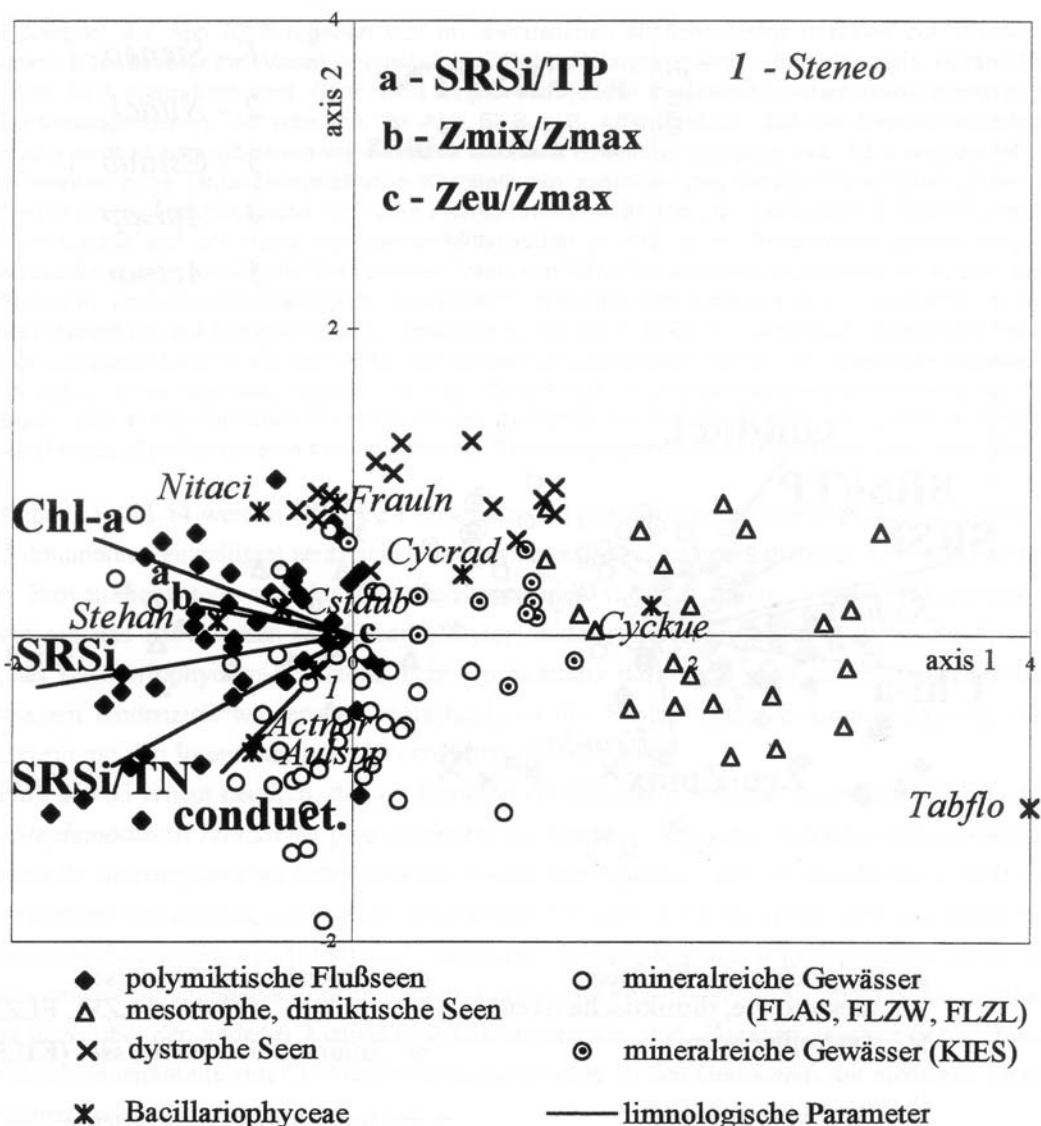


Abb. 52 A: Jointplot der 1. gegen die 2. Achse der Kanonischen Korrespondenzanalyse (CCA) zu den Daten der limnologischen Parameter und den Biovolumina ausgewählter Bacillariophyceen-Arten und -Artengruppen in den 4 Gewässergruppen

[Datenbasis: Saison-Mittelwerte, relative Biovolumina bezogen auf das Gesamtphytoplankton, n=129 (mit dem Biovolumen a der Art i (a_i) gilt über alle Saison-Mittelwerte: $\sum a_i > 0$); „main matrix“-relatives Biovolumen von 10 Cyanophyceen-Arten der 129 Proben; „second matrix“-Daten von 7 limnologischen Parametern der 129 Proben; Standardisierung durch „Hill's method“, Eigenwerte (λ) der Kanonischen Korrespondenzachsen 1 und 2: $\lambda_{axis1}=0,343$, $\lambda_{axis2}=0,106$;

Abkürzungen: Algennamen siehe Abb. 50, limnologischen Parameter: chl-a - Chlorophyll-a, conduct. - Leitfähigkeit, SRSi - gelöstes reaktives Silizium, TN - Gesamt-Stickstoff, TP - Gesamt-Phosphor, z_{mix} - durchmischte Gewässertiefe, z_{max} - maximale Gewässertiefe, z_{eu} - euphotische Zone.]

Einschränkung: *Tabellaria flocculosa* nur in einem der beiden „dimiktischen, mesotrophen Seen“, im PARS). Hohe saisonale Biovolumenanteile von *Stephanodiscus hantzschii* werden dagegen insbesondere in den „polymiktischen Flußseen“ beobachtet und werden in Beziehung zu hohen SRSi-Konzentrationen gestellt.

Die Streuung der Objektpunkte entlang der 2. Achse resultiert im wesentlichen aus den unterschiedlichen Saison-Biovolumenanteilen von *Nitzschia acicularis* (ausgesprochene Frühlings/Winter-Art) und *Fragilaria ulna* einerseits und *Actinocyclus normanii* und *Aulacoseira* spp. (ausgesprochene Sommer/

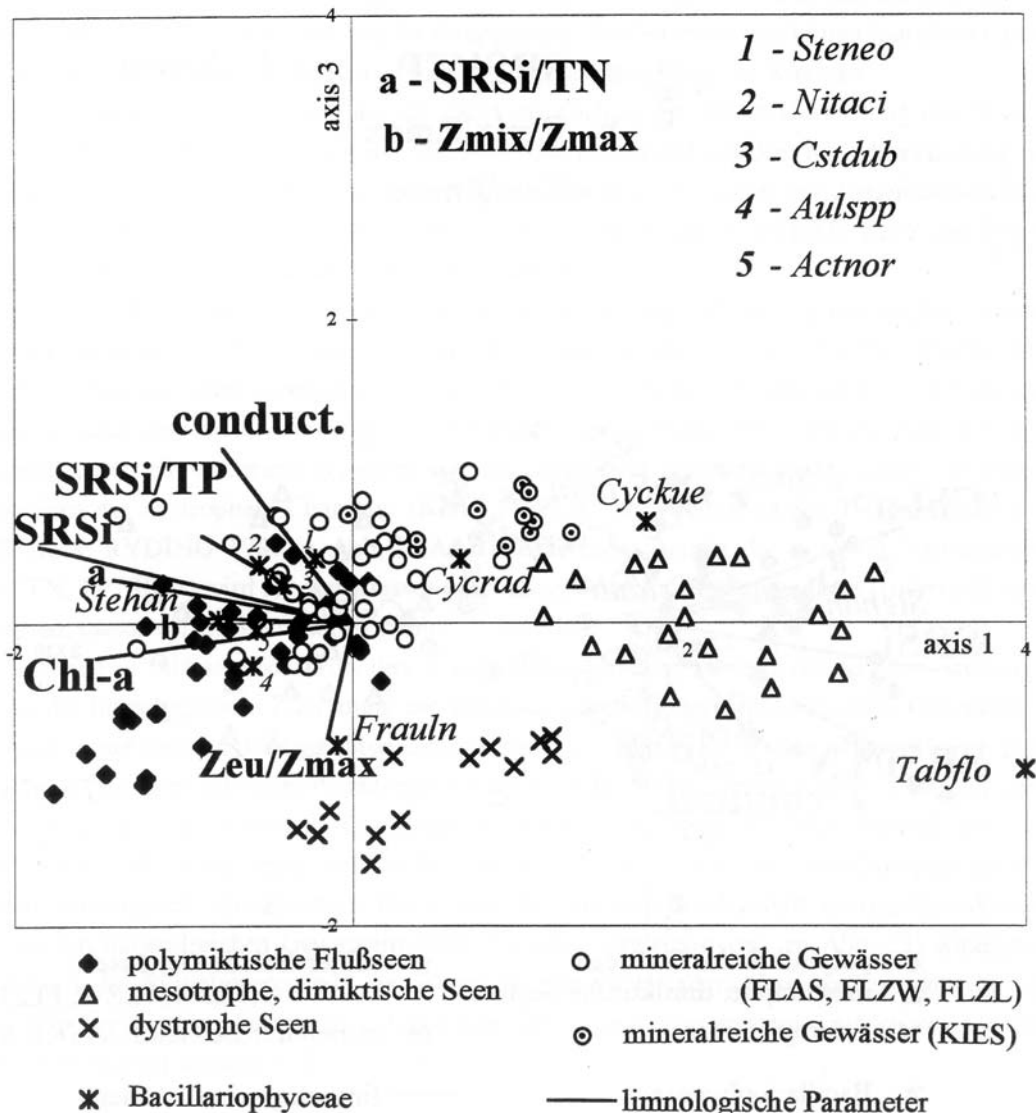


Abb. 52 B: Jointplot der 1. gegen die 3. Achse der Kanonischen Korrespondenzanalyse (CCA) in Ergänzung zu Abb. 52 A.

[Eigenwert (λ) der Kanonischen Korrespondenzachse 3: $\lambda_{\text{axis3}}=0,047$; ansonsten siehe Abb. 52 A]

Herbst-Arten) andererseits (saisonale Unterschiede der Biovolumenentwicklung der ausgesprochenen Saison-Arten siehe Abb. 57).

Hohe saisonale Biovolumenanteile von *Actinocyclus normanii* und *Aulacoseira* spp. treten dabei insbesondere in Relation zu hohen SRSi/TN-Verhältnissen auf (vergleiche dazu Jahresdynamik der relativen Nährelementverfügbarkeit in Kapitel 3. 2. 2. 3. 2.).

Entlang der 2. Achse der CCA lassen sich die Objektpunkte der „dystrophen Seen“ gut gegenüber denen der anderen Gewässergruppen abgrenzen. In den „dystrophen Seen“ mit sehr niedrigen Leitfähigkeiten und sehr niedrigen SRSi-Konzentrationen wird das Bacillariophyceen-Plankton insbesondere von höheren saisonalen Biovolumenanteilen von *Fragilaria ulna* und *Cyclotella radiosa* geprägt (siehe auch Abbn. 53 und 54). Innerhalb der „mineralreichen Gewässer“ („Flakensee-Gruppe“ und Kiessee) zeigt sich wiederum, daß die Zusammensetzung des saisonalen Bacillariophyceen-Planktons vom Kiessee recht ähnlich dem der „dimiktischen, mesotrophen Seen“ aber auch dem der „dystrophen Seen“ ist.

Dagegen ist das Bacillariophyceen-Plankton der „Flakensee-Gruppe“ stärker mit dem der „polymiktischen Flußseen“ vergleichbar (siehe Abb. 52 A und B).

Mit dem Jointplot der Abb. 52 B ergeben sich im wesentlichen ähnliche Interpretationen zur Verteilung der Objektpunkte (Gewässer) und Variablendarstellung (Bacillariophyceen-Arten, limnologische Parameter) wie oben zu Abb. 52 A ausgeführt sind. Gleichwohl zeigen sich jedoch in Nuancen Unterschiede zwischen diesen beiden Darstellungsebenen. So wird mit der Abb. 52 B z. B. offensichtlich, daß die Biovolumenanteile von *Fragilaria ulna* nicht so eng mit denen von *Nitzschia acicularis* korrelieren wie es in Abb. 52 A angedeutet wird.

Einerseits werden enge jahreszeitspezifische Korrelationen zwischen den Biovolumenanteilen dieser beiden Arten offensichtlich (siehe zeitgleiche und hohe Frühjahrsmaxima in Abb. 62, siehe auch Zuordnung der beiden Arten in ein Cluster auf der Basis von Saison-Mittelwerten in Abb. 50 A). Andererseits jedoch zeigen sich gewässerspezifisch unterschiedliche Vorkommen. Während *Nitzschia acicularis* ausschließlich in den „polymiktischen Flußseen“ und den „mineralreichen Gewässern“ vorkommt, tritt *Fragilaria ulna* im gesamten untersuchten Gewässerspektrum auf (vergleiche dazu Artenliste in Tabelle III S. 68-71, siehe auch Zuordnung der beiden Arten in verschiedene Cluster auf der Basis von Gewässer-Jahresmittelwerten und Gewässer-Mittelwerten in Abb. 50 B und C; siehe ebenfalls Abb. 54). Auf der Datenbasis von Saison-Mittelwerten der Abb. 52 A und B widerspiegeln sich somit wiederum Überlagerungen zwischen seasonspezifischen und gewässerspezifischen Schwerpunkten der Biovolumenentwicklung einzelner Bacillariophyceen-Arten (vergleiche dazu Abb. 50).

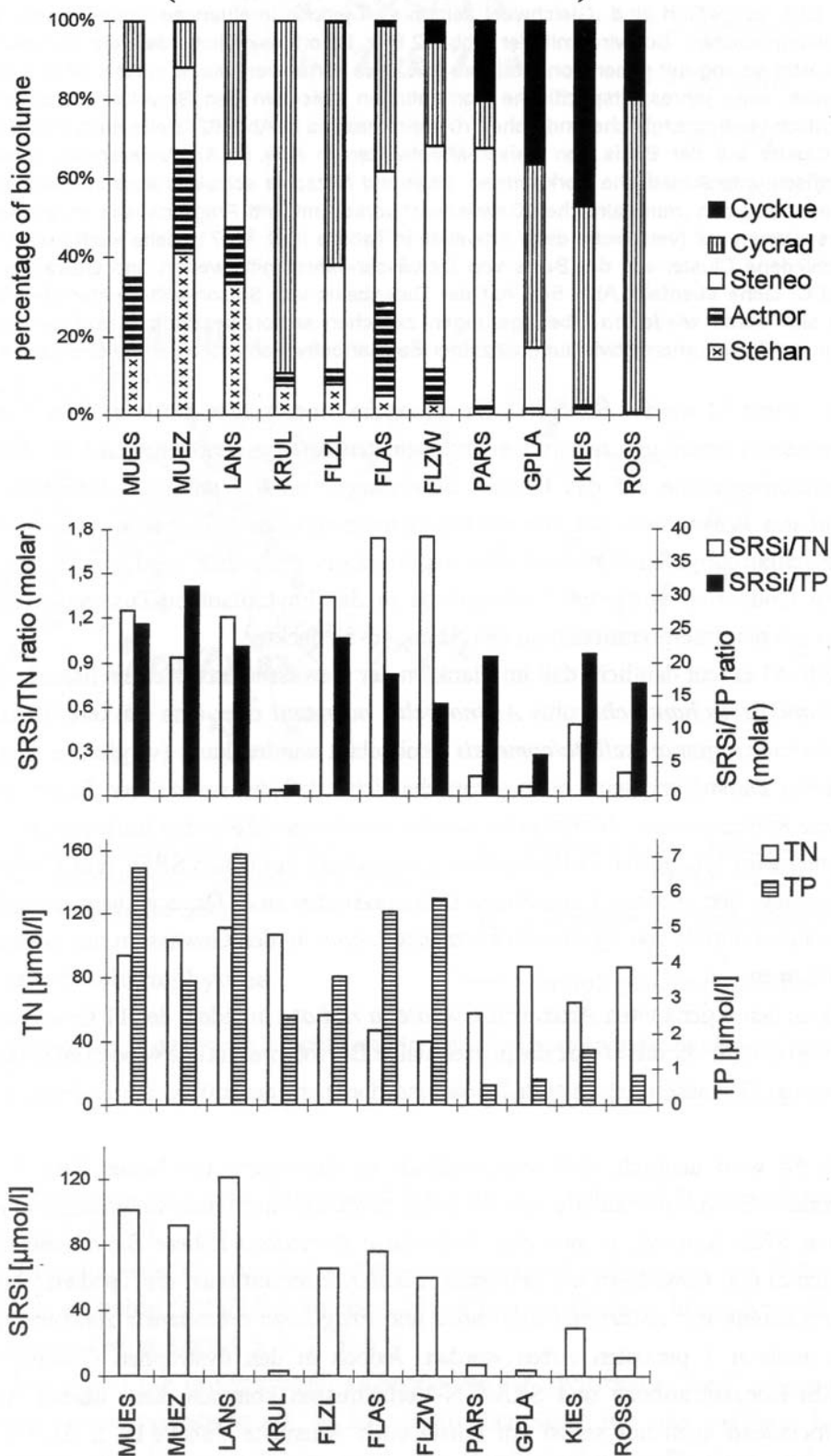
In den Abbn. 53 und 54 werden für die 11 Gewässer die prozentualen mittleren Biovolumenanteile von jeweils 5 dominanten einzelligen zentrischen und pennaten Arten gegenübergestellt. Obwohl sich hier die relativen Biovolumenanteile auf das Gesamt-Biovolumen von nur jeweils 5 Bacillariophyceen-Arten (und nicht auf das Biovolumen des Gesamt-Phytoplanktons) beziehen und hier somit die Zusammensetzung des Bacillariophyceen-Planktons nicht repräsentativ dargestellt wird, zeigen sich zwischen den 11 Gewässern tendenziell wiederum Unterschiede in der Phytoplankton-Zusammensetzung, die sich weitestgehend mit den Interpretationen zu den Abbn. 46-52 decken.

So wird in Abb. 53 erneut deutlich, daß im Plankton der Gewässer entweder ein höherer Biovolumenanteil von *Stephanodiscus hantzschii* plus *Actinocyclus normanii* oder eine stärkere Massenentwicklung von *Cyclotella kuetzingiana/ocellata/comensis* beobachtet werden kann (vergleiche dazu Abb. 52). In der so gewählten Darstellung wird auch veranschaulicht, daß die summierten Biovolumenanteile von *Stephanodiscus hantzschii* und *Actinocyclus normanii* insbesondere in den stark durchflossenen Gewässern (insbesondere im Müggelsee-Zufluß und im Langen See) mit hohen SRSi- und TN-Konzentrationen dominant gegenüber den anderen 3 einzelligen Diatomeenarten sind. Dagegen liegt der Schwerpunkt der höheren Biovolumenanteile von *Cyclotella kuetz./ocell./com.* in den Gewässern mit niedrigen SRSi- und TP-Konzentrationen.

Im Gegensatz zu den 3 genannten Arten tritt *Cyclotella radiosa* in jedem der 11 Gewässer häufiger auf. Dennoch variieren auch bei dieser Art die prozentualen Biovolumenanteile wiederum deutlich. Gerade in den silikatärmeren Gewässern ist *Cyclotella radiosa* dominant gegenüber den anderen 4 berücksichtigten Arten.

Mit der Abb. 54 wird deutlich, daß ausschließlich in Gewässern mit hohen SRSi-Konzentrationen höhere prozentuale Biovolumenanteile von *Nitzschia acicularis* auftreten, wohingegen in den Gewässern mit niedrigeren SRSi-Konzentrationen eher *Tabellaria flocculosa* höhere Biovolumenanteile erreicht. Auch zeigt sich in den Gewässern mit sinkenden SRSi-Konzentrationen die Tendenz, daß die Summen der Biovolumenanteile von *Asterionella formosa* und *Fragilaria crotonensis* zunehmend dominant gegenüber den anderen 3 pennaten Arten werden. Jedoch in den dystrophen Gewässern mit extrem niedrigen SRSi-Konzentrationen und SRSi/TN-Verhältnissen kommen diese beiden Arten nicht und *Tabellaria flocculosa* auch nur selten vor (siehe auch Artenliste Tabelle III S. 68-71). Hier erreicht allein *Fragilaria ulna* höhere Biovolumina, wobei die Schalen in diesen siliziumarmen Seen meist nur sehr hyalin verkieselt sind. *F. ulna* zählt zu den Arten, die über das gesamte Gewässerspektrum stetig vertreten sind.

Dominant Species of Centrales (unicellular centric diatoms)



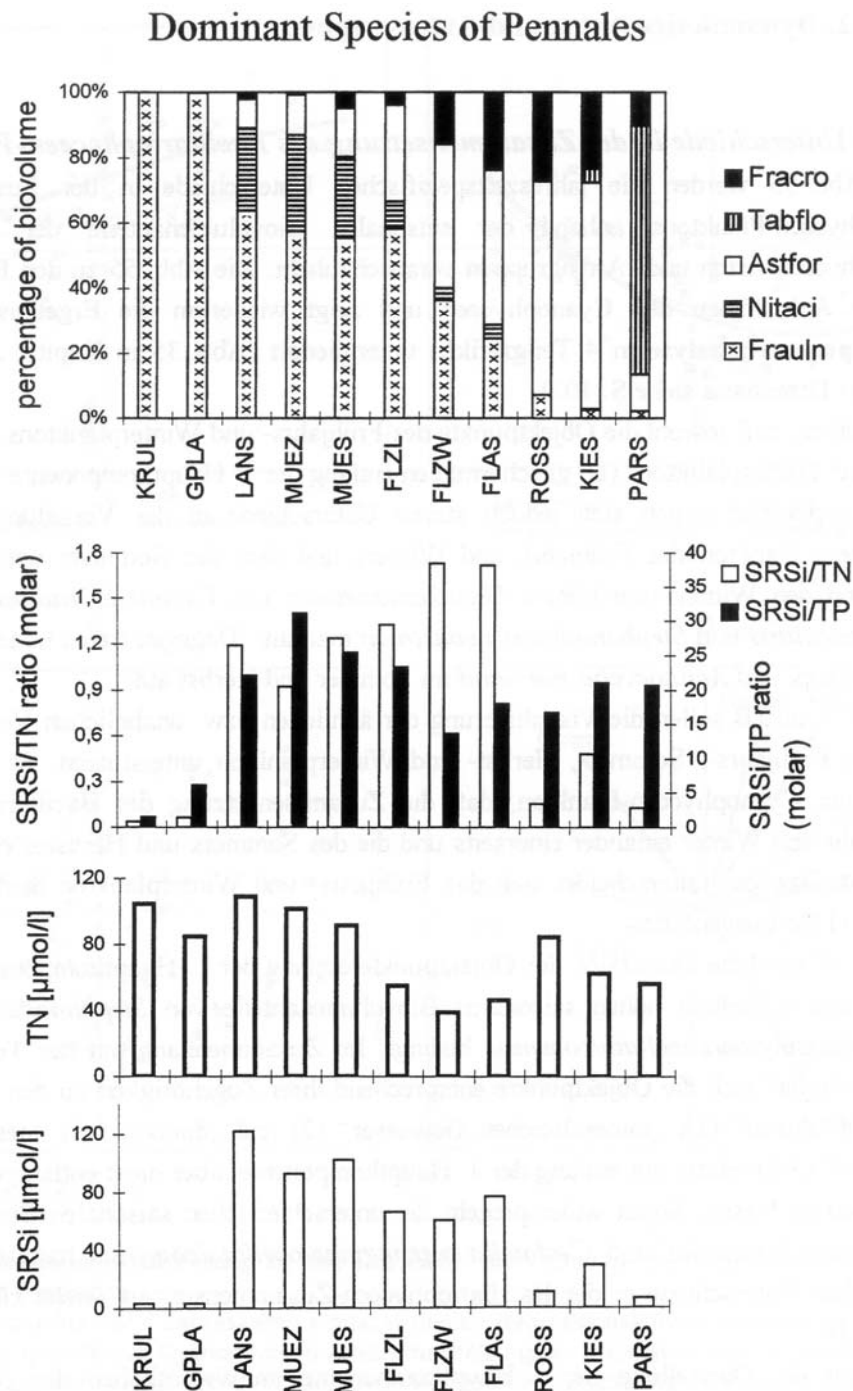


Abb. 54: Relative Biovolumenanteile [%] von 5 dominanten, pennaten Diatomeenarten im Vergleich zu mittleren Nährelementkonzentrationen bzw. -verhältnissen in den 11 Gewässern.

[Datenbasis: Gewässer-Mittelwerte, Abkürzungen der Algennamen (Legende von oben nach unten): *Fragilaria crotonensis*, *Tabellaria flocculosa*, *Asterionella formosa*, *Nitzschia acicularis*, *Fragilaria ulna*; Abkürzungen zu den Nährelementen: siehe Abb. 53, Abkürzung der Gewässernamen siehe Abb. 51.]

Abb. 53 (Seite links): Relative Biovolumenanteile [%] von 5 dominanten, einzelligen zentrischen Diatomeenarten im Vergleich zu mittleren Nährelementkonzentrationen bzw. -verhältnissen in den 11 Gewässern.

[Datenbasis: Gewässer-Mittelwerte, Abkürzungen der Algennamen (Legende von oben nach unten): *Cyclotella kuetzingiana/ocellata/comensis*, *Cyclotella radiosa*, *Stephanodiscus neoastraea*, *Actinocyclus normanii*, *Stephanodiscus hantzschii*; Abkürzungen zu den Nährelementen: TN - Gesamt-Stickstoff, TP - Gesamt-Phosphor, SRSi - gelöstes reaktives Silizium, Abkürzung der Gewässernamen siehe Abb. 51.]

3. 2. 2. 3. 2. Dynamik der Arten und Artengruppen

Saisonale Unterschiede in der Zusammensetzung des Bacillariophyceen-Planktons

Mit der Abb. 55 werden die jahreszeitspezifischen Unterschiede in der Zusammensetzung des Bacillariophyceen-Planktons anhand der saisonalen Biovolumenanteile der 10 repräsentativen Bacillariophyceen-Arten und -Artengruppen veranschaulicht. Die Abb. 55 zu den Bacillariophyceen ist analog der Abb. 35 zu den Cyanophyceen und zeigt wiederum die Ergebnisse einer (einzigen) **Hauptkomponentenanalyse** in 4 Teilgrafiken untergliedert (Abb. 35 in Kapitel 3. 2. 2. 2. 1.; Erläuterungen zur Datenbasis siehe S. 102).

Es wird deutlich, daß sowohl die Objektpunkte des Frühjahrs- und Winterplanktons (A) als auch die des Sommer- und Herbstplanktons (B) gleichermaßen entlang der 1. Hauptkomponente streuen. Entlang der 2. Hauptkomponente zeigen sich jedoch starke Unterschiede in der Verteilung der Objektpunkte zwischen dem Plankton des Frühjahrs und Winters und dem des Sommers und Herbstes. Für das Frühjahr und den Winter sind höhere Biovolumenanteile von *Cyclotella radiosia*, *Fragilaria ulna*, *Nitzschia acicularis* und *Stephanodiscus neoastraea* markant. Dagegen treten höhere Biovolumina von *Aulacoseira* spp. und *Actinocyclus normanii* im Sommer und Herbst auf.

Die Kurven A und B sollen die Visualisierung der ähnlichen bzw. unähnlichen Verteilung der Objektpunkte vom Frühjahrs-, Sommer-, Herbst- und Winterplankton unterstützen. Es zeigt sich dabei in Analogie zum Cyanophyceen-Plankton, daß die Zusammensetzung des Bacillariophyceen-Planktons vom Frühjahr und Winter einander einerseits und die des Sommers und Herbstes einander andererseits ähnlich sind. Dagegen unterscheidet sich das Frühjahrs- und Winterplankton deutlicher von dem des Sommer- und Herbstplanktons.

In der Abb. 55 wird die Dispersion der Objektpunkte entlang der 1. Hauptkomponente im wesentlichen durch die unterschiedlich hohen saisonalen Biovolumenanteile von *Stephanodiscus hantzschii* und *Cyclotella kuetzingiana/ocellata/comensis* bedingt. Im Zusammenhang mit der Teilabbildung C wird dabei deutlich, daß sich die Objektpunkte entsprechend ihrer Zugehörigkeit zu den Gruppen der „polymiktischen Flußseen“ (1), „mineralreichen Gewässer“ (2) und „dimiktischen, mesotrophen Seen/dystrophen Seen“ (3/4) relativ gut entlang der 1. Hauptkomponente, aber nicht entlang der 2. Hauptkomponente, abgrenzen lassen. Somit widerspiegeln die unterschiedlichen saisonalen Biovolumenanteile von *Stephanodiscus hantzschii* und *Cyclotella kuetzingiana/ocellata/comensis* hauptsächlich die gewässerspezifischen Unterschiede in der Bacillariophyceen-Zusammensetzung (siehe Übereinstimmung mit Abb. 52 A, B).

Während mit der Darstellung der 1. Hauptkomponente im wesentlichen die „krassen“ gewässerspezifischen Unterschiede betont hervortreten, kommen entlang der 2. Hauptkomponente die „feinen“ seasonspezifischen Unterschiede der Bacillariophyceen-Zusammensetzung zum Ausdruck (zu „Umfangsfaktor“ [1. Hauptkomponente] und „Formfaktor“ [2. Hauptkomponente] siehe HENRION et al. 1988) (vergleiche dazu Cyanophyceen-Plankton in Kapitel 3. 2. 2. 2. 1.).

Im Vergleich zur Hauptkomponentendarstellung lassen sich wiederum mit Hilfe einer **Diskriminanzanalyse** (DA) schärfer die saisonalen Unterschiede in der Zusammensetzung des Bacillariophyceen-Planktons darstellen (siehe Analogie zum Cyanophyceen-Plankton in Kapitel 3. 2. 2. 2. 1.).

Obwohl neben der 1. auch die 2. Diskriminanzfunktion signifikant (Irrtumswahrscheinlichkeit= 3,86 %) zur Trennung der 4 saisonalen Gruppen beiträgt, besitzt allein die 1. Diskriminanzfunktion einen hohen Erklärungsgehalt (erklärter Varianzanteil von 90 %). Dieses kommt auch im weit höheren Betrag des

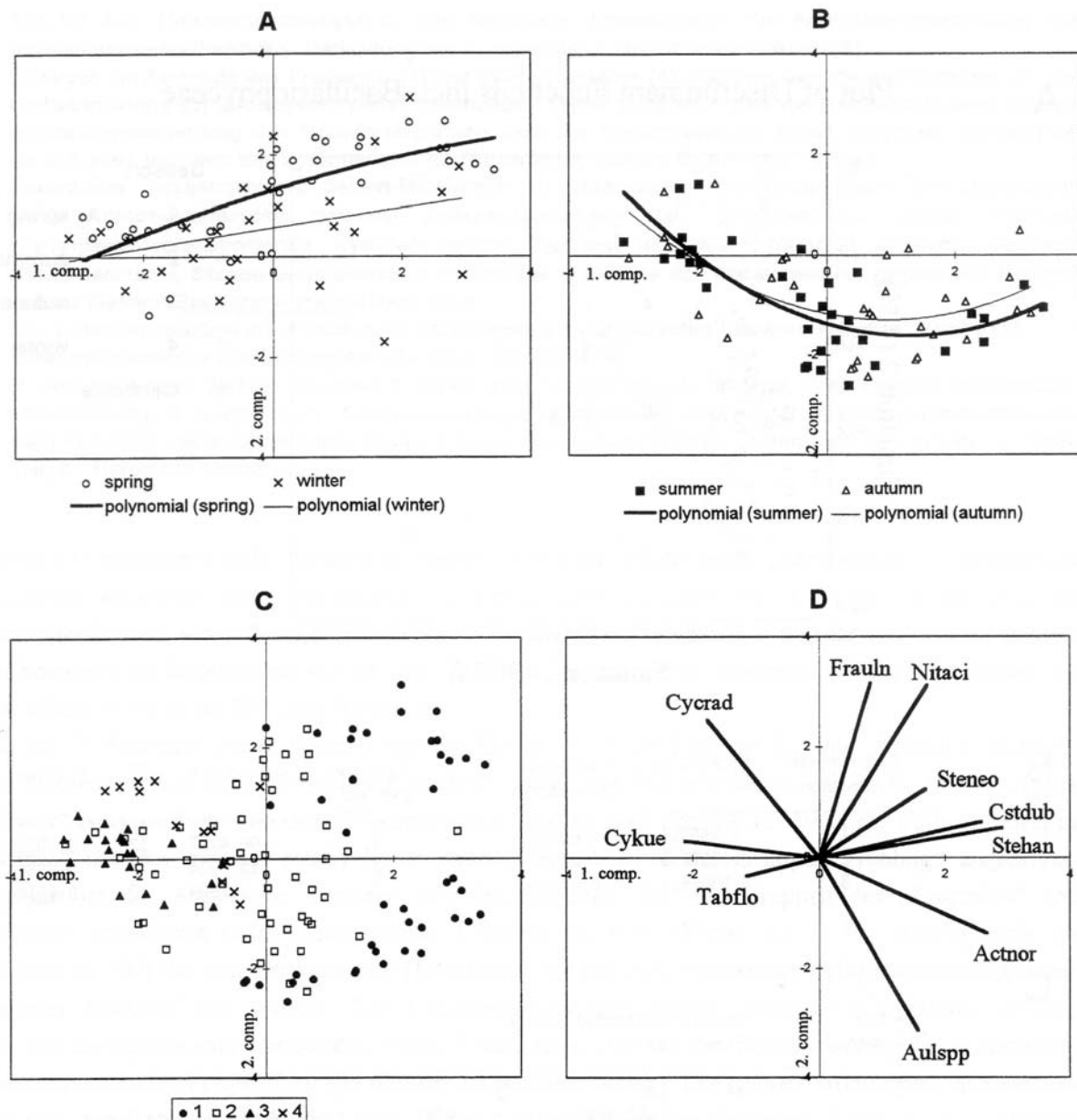


Abb. 55: Hauptkomponentendarstellung zu den saisonalen Unterschieden der Biovolumenentwicklung des Bacillariophyceen-Planktons.

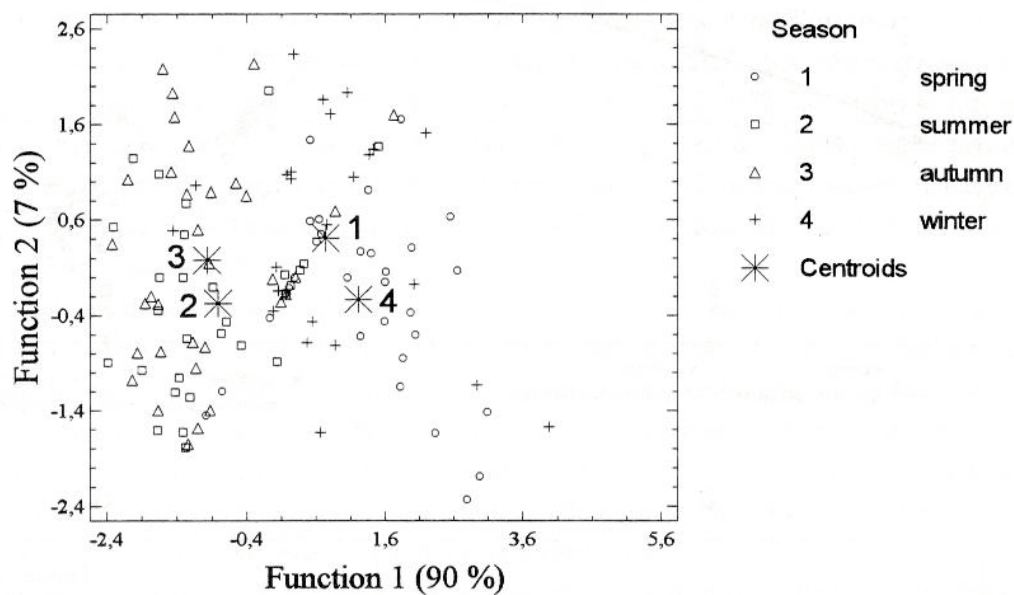
Die für die Objektpunkte der 4 Jahreszeiten eingezeichneten Regressionskurven unterstützen den visuellen Eindruck, daß die quantitative Cyanophyceen-Zusammensetzung im Frühjahrs- und im Winterplankton (A) einander ähnlich ist, sich jedoch von dem einander weitestgehend gleichenden Sommer- und Herbstplankton stärker unterscheidet (siehe Text).

Neben einer Markierung der Objektpunkte entsprechend ihrem saisonalen Bezug (A, B) wird in C die Zuordnung zu den 4 Gewässergruppen dargestellt (1- „polymiktische Flußseen“, 2- „mineralreiche Gewässer“, 3- „dimiktische, mesotrophe Seen“, 4- „dystrophe Seen“). Nähere Erläuterung im Text.

[Ergebnisse einer einzigen PCA in 4 Teilabbildungen untergliedert: Objektdarstellung (A-C) und Variablen-darstellung (D), Datenbasis: Saison-Mittelwerte, 10 repräsentative Bacillariophyceen-Arten und -Artengruppen berücksichtigend, Abkürzung der Algennamen siehe Abb. 50, relatives Biovolumen bezogen auf das Gesamt-Bacillariophyceen-Biovolumen.]

Kanonischen Korrelationskoeffizienten (0,69909) für die 1. Diskriminanzfunktion zum Ausdruck (siehe Abb. 56 B).

Bei den Bacillariophyceen zeigt sich in Analogie zu den Cyanophyceen, daß entlang der 1. Diskriminanzfunktion die Zentroide vom Frühjahr (1) und Winter (4) einerseits und die vom Sommer (2) und

A**Plot of Discriminant Functions incl. Bacillariophyceae****B**

Discriminant Function	Eigenvalue	Canonical Correlation	Functions Derived	Chi-Square	DF	P-Value
1	0.955914	0.69909	1	96.4787	12	0.0000
2	0.0797235	0.27173	2	13.2924	6	0.0386
3	0.0309611	0.17330	3	3.7809	2	0.1510

C

Classification Table

Actual Season	Group Size	Predicted Season			
		1	2	3	4
1	34	18 (52.94%)	3 (8.82%)	0 (0.00%)	13 (38.24%)
2	34	0 (0.00%)	14 (41.18%)	9 (26.47%)	11 (32.35%)
3	34	0 (0.00%)	12 (35.29%)	17 (50.00%)	5 (14.71%)
4	27	7 (25.93%)	2 (7.41%)	2 (7.41%)	16 (59.26%)

Percent of cases correctly classified: 50.39%

D

Classification Function Coefficients for Season

	1	2	3	4
Aulspp	0.309624	1.05256	0.903297	0.248962
Actnor	-0.357445	0.395238	0.931629	-0.0671226
Steneo	1.04998	0.358215	0.413409	1.22479
Nitaci	1.75954	-0.369104	-0.587668	0.627903

Abb. 56 A-D: Diskriminanzanalyse zu den saisonalen Unterschieden der Artenzusammensetzung des Bacillariophyceen-Planktons. Darstellung der 2. gegen die 1. Diskriminanzfunktion (A).

Es liegen die Zentroide des Frühljahrs- (1) und Winterplanktons (4) einerseits und die des Sommer- (2) und Herbstplanktons (3) andererseits näher beieinander. Damit zeigt sich, daß die Bacillariophyceen-Biovolumenzusammensetzung des Frühljahrsplanktons dem des Winterplanktons ähnelt. Dagegen unterscheidet sie sich stark von dem des Sommer- und Herbstplanktons. Nähere Erläuterung im Text.

[Datenbasis: Ausgangspunkt: Saison-Mittelwerte, 10 repräsentative Bacillariophyceen-Taxa berücksichtigend: **Actnor**-*Actinocyclus normanii*, **Aulsp**-*Aulacoseira* spp., *Cyclostephanos dubius*, *Cyclotella kuetzingiana/ocellata/comensis*, *Cyclotella radiosa*, *Fragilaria ulna*, **Nitaci**-*Nitzschia acicularis*, *Stephanodiscus hantzschii*, **Steneo**-*Stephanodiscus neoastraea*, *Tabellaria flocculosa*; relatives Biovolumen bezogen auf das Gesamt-Bacillariophyceen-Biovolumen;

DA: Variablenreduktion auf 4 Taxa durch schrittweise Vorwärtsauswahl („forward selection“) (siehe D),

Zusammenfassende Analyseangaben zur DA in Tabellen B-D:

B (von links nach rechts): Eigenwert, Kanonische Korrelation; Chi-Quadrat, Freiheitsgrad, Irrtumswahrscheinlichkeit),

C: Vergleich der Gruppenzuordnung (Klassifikationsmatrix), **D**: Klassifikationskoeffizienten nach Fisher für die 4 Jahreszeiten (Fisher's linear discriminant function coefficients, 1 - Frühjahr, 2 - Sommer, 3 - Herbst, 4 - Winter).]

Herbst (3) andererseits dicht beisammen liegen, wiederum jedoch beide „Zentroidpaare“ voneinander distanziert abgebildet sind. Die abgestuften Unterschiede zwischen den 4 Saisongruppen, d. h. die Bacillariophyceen-Arten-Zusammensetzung des Frühljahrs ist vergleichbar mit der des Winters und die des Sommers ist vergleichbar mit der des Herbstes, kommen auch wiederum in den Ergebnissen der Klassifikation durch die DA zum Ausdruck.

Von den 34 Frühljahrswerten werden nach der DA ca. 53 % der Fälle der Gruppe „Frühjahr“ zugeordnet. Darüber hinaus wird ein weiterer größerer Anteil der Frühljahrswerte, ca. 38 %, in die Gruppe „Winter“ eingegliedert. Von den 27 Winterwerten werden nach der DA ca. 59 % der Fälle der Gruppe „Winter“ und ein zweiter, relativ hoher Anteil von ca. 26 % der Gruppe „Frühling“ zugeordnet. Dagegen ist der Anteil von Sommer- und Herbstwerten, der den Gruppen des „Frühljahrs“ und „Winters“ zugeordnet wird, relativ gering (Frühjahr: ca. 9 %, Winter: ca. 15 %). Analog liegen im Ergebnis der DA die Sommerwerte und Herbstwerte mit höheren Anteilen der Fälle wechselseitig in den Gruppen „Sommer“ und „Herbst“. Eine Eingliederung in die Gruppen „Sommer“ und „Herbst“ ist auch hier von untergeordneter Bedeutung, obgleich sich zeigt, daß bei den Sommerwerten die ungünstigste Zuordnungsrate im Vergleich zu den übrigen Jahreszeiten besteht. Die starken Streuungen, insbesondere zwischen den Gruppen „Frühjahr“ und „Winter“ einerseits und den Gruppen „Sommer“ und „Herbst“ andererseits, bedingen maßgeblich, daß bei nur ca. 50 % aller Fälle die durch die Diskriminanzanalyse vorhergesagte Gruppenzugehörigkeit mit der vorgegebenen Gruppenzugehörigkeit (Saison-Mittelwerte) übereinstimmt (siehe C in Abb. 56).

Mit der DA wird den relativen Biovolumenanteilen von 4 Bacillariophyceen-Taxa (Ausgangsdaten: die 10 repräsentativen Bacillariophyceen-Arten und -Artengruppen, Datenbasis für DA nach „forward selection“: 4 Taxa, siehe Abb. 56 D) hohe diskriminatorische Bedeutung für die Unterscheidung der 4 saisonalen Gruppen beigemessen. Dabei lassen sich *Nitzschia acicularis* und *Stephanodiscus neoastraea* als markante Vertreter des Frühljahrs- und Winter-Planktons charakterisieren. *Actinocyclus normanii* und *Aulacoseira* spp. kennzeichnen dagegen das Sommer- und Herbst-Plankton.

Die Schwerpunkte der unterschiedlichen Biomasseentwicklung zwischen dem Frühjahr und dem Sommer bzw. Herbst dieser genannten 4 Bacillariophyceen-Taxa werden in Abb. 57 veranschaulicht. Bei der Datenauswahl zur grafischen Darstellung der saisonalen Biovolumenanteile wurde jeweils der maximale Betrag des Klassifikationskoeffizienten in diesen 3 Saison-Gruppen innerhalb eines jeden Taxon berücksichtigt (siehe D in Abb. 56).

So können im Frühjahr häufig höhere Biovolumenanteile von *Stephanodiscus neoastraea* gegenüber niedrigeren Biovolumenanteilen von *Aulacoseira* spp. beobachtet werden (Abb. 57 A). Dagegen liegt im Sommer eine deutliche Dominanz von *Aulacoseira* spp. gegenüber *Stephanodiscus neoastraea* vor.

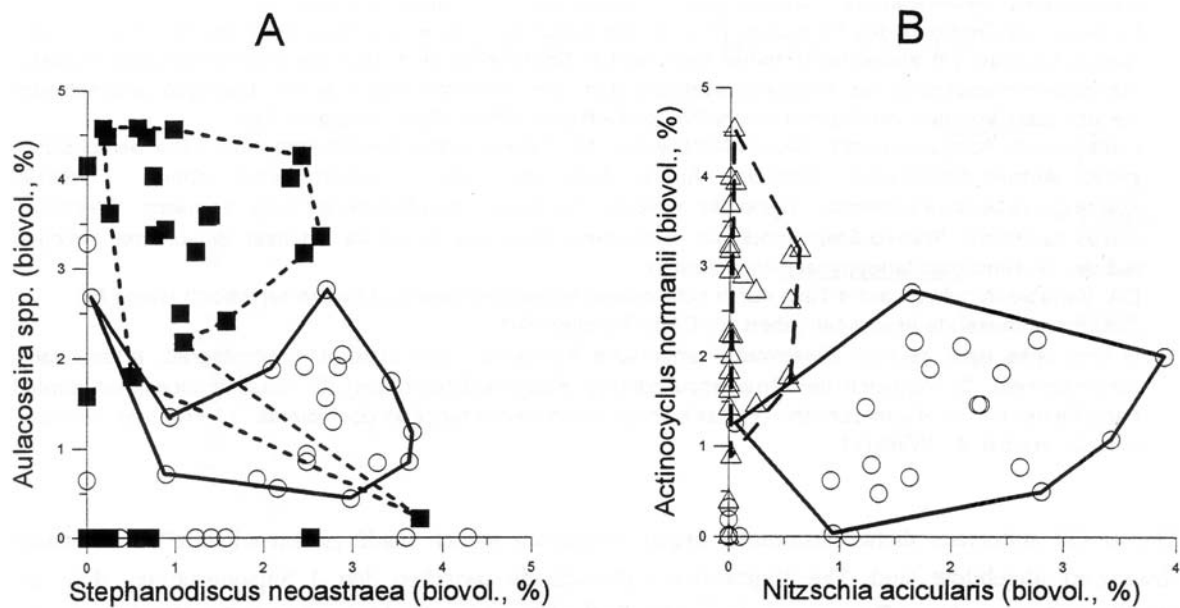


Abb. 57 A-B: Saisonale Variation der Biovolumenanteile von 4 Bacillariophyceen-Taxa, die im Ergebnis der DA eine diskriminatorische Bedeutung haben (siehe D in Abb. 56 und Text). Die Biovolumenanteile von ausgesprochenen Frühjahrs- und (Winter)-Arten (*Stephanodiscus neoastraea*, *Nitzschia acicularis*) werden gegen die Biovolumenanteile ausgesprochener Sommer- (*Aulacoseira* spp., A) bzw. Herbst-Arten (*Actinocyclus normanii*, B) dargestellt.

[Datenbasis: Saison-Mittelwerte, relatives Biovolumen bezogen auf Gesamt-Bacillariophyceen-Biovolumen, logarithmiert; Symbole: **Kreis** - Frühjahr, **Quadrat** - Sommer, **Dreieck** - Herbst.]

Noch klarer lassen sich die relativen Biovolumenanteile des Frühjahrs und des Herbstes von *Nitzschia acicularis* und *Actinocyclus normanii* gegeneinander abgrenzen (Abb. 57 B). Im Frühjahr liegen häufig höhere Biovolumenanteile von *Nitzschia acicularis* gegenüber niedrigeren von *Actinocyclus normanii* vor. Im Herbstplankton hingegen tritt *Nitzschia acicularis* häufig nicht oder nur mit vernachlässigbar niedrigen Biovolumenanteilen gegenüber sehr hohen Biovolumenanteilen von *Actinocyclus normanii* auf.

Wenigstens drei dieser 4 Bacillariophyceen-Taxa sind in jedem Gewässer vertreten (siehe Artenliste Tabelle III S. 68-71), so daß prinzipiell alle 11 Gewässer in die Darstellungsform der saisonalen Unterschiede der Bacillariophyceen-Biovolumina über die Gesamtheit des untersuchten Gewässerspektrums einbezogen werden (Abbn. 56 und 57).

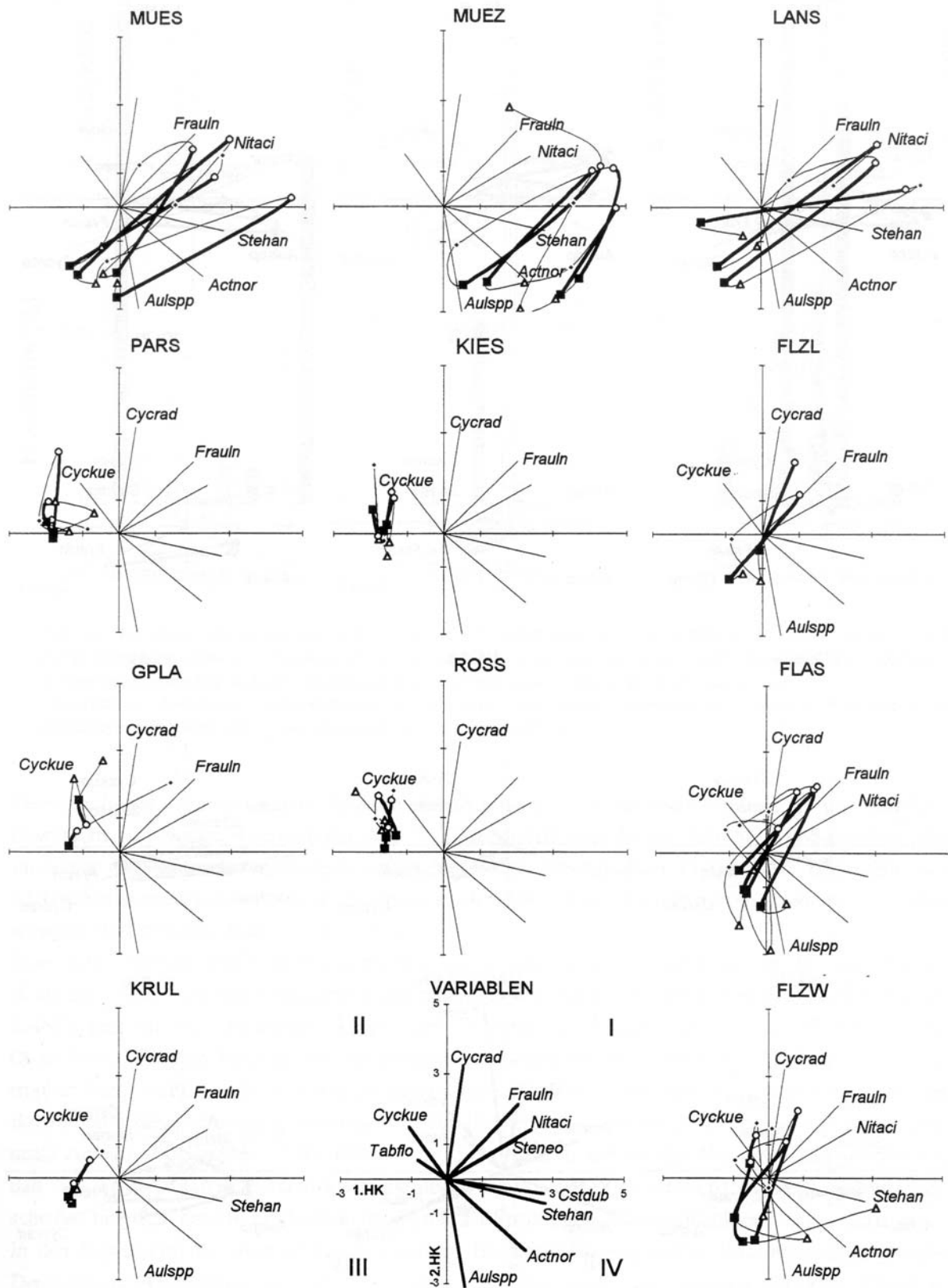
Abb. 58 A-B (folgende Seiten): Hauptkomponentendarstellung zur saisonalen Abfolge der wechselnden Zusammensetzung des Bacillariophyceen-Planktons in den 11 Gewässern. Darstellung der 2. gegen die 1. (A) bzw. 3. gegen die 2. Hauptkomponente (B).

Die Objektpunkte wurden über den Untersuchungszeitraum entsprechend dem zeitlichen Verlauf mit Linien verbunden. Die fett gezeichneten Linienabschnitte heben dabei die veränderte Biovolumenzusammensetzung jeweils zwischen dem Frühjahrsplankton (Kreise) und dem im Jahresverlauf folgenden Sommerplankton (große Quadrate) hervor. Objektpunkte des Herbstplanktons sind durch Dreiecke markiert.

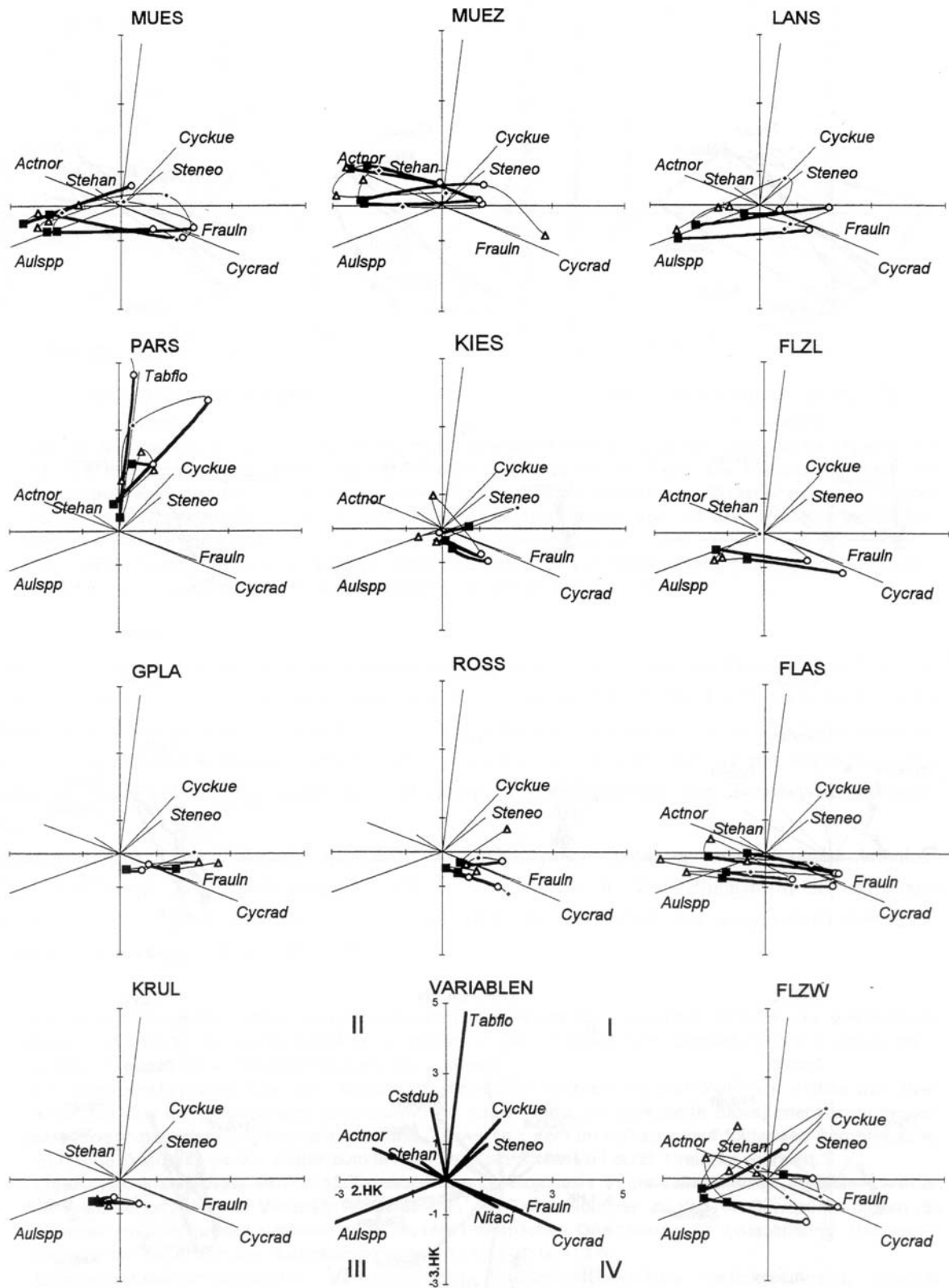
[Ergebnisse einer einzigen PCA in 12 Teilabbildungen untergliedert: in der Teilabbildung „Variablen“ werden die Vektoren von allen 10 Variablen dargestellt; in den Teilabbildungen zu den 11 Gewässern dienen die vereinzelt eingezeichneten Vektoren einer besseren räumlichen Orientierung zur Teilabbildung „Variablen“, Varianzanteil der ersten drei Hauptkomponenten: 32 % + 20 % + 12 %.

Datenbasis: Saison-Mittelwerte, 10 repräsentative Bacillariophyceen-Taxa berücksichtigend, relatives Biovolumen bezogen auf Gesamt-Phytoplankton-Biovolumen. Abkürzungen der Algennamen siehe Abb. 50, Abkürzung der Gewässernamen siehe Abb. 51.]

A



B



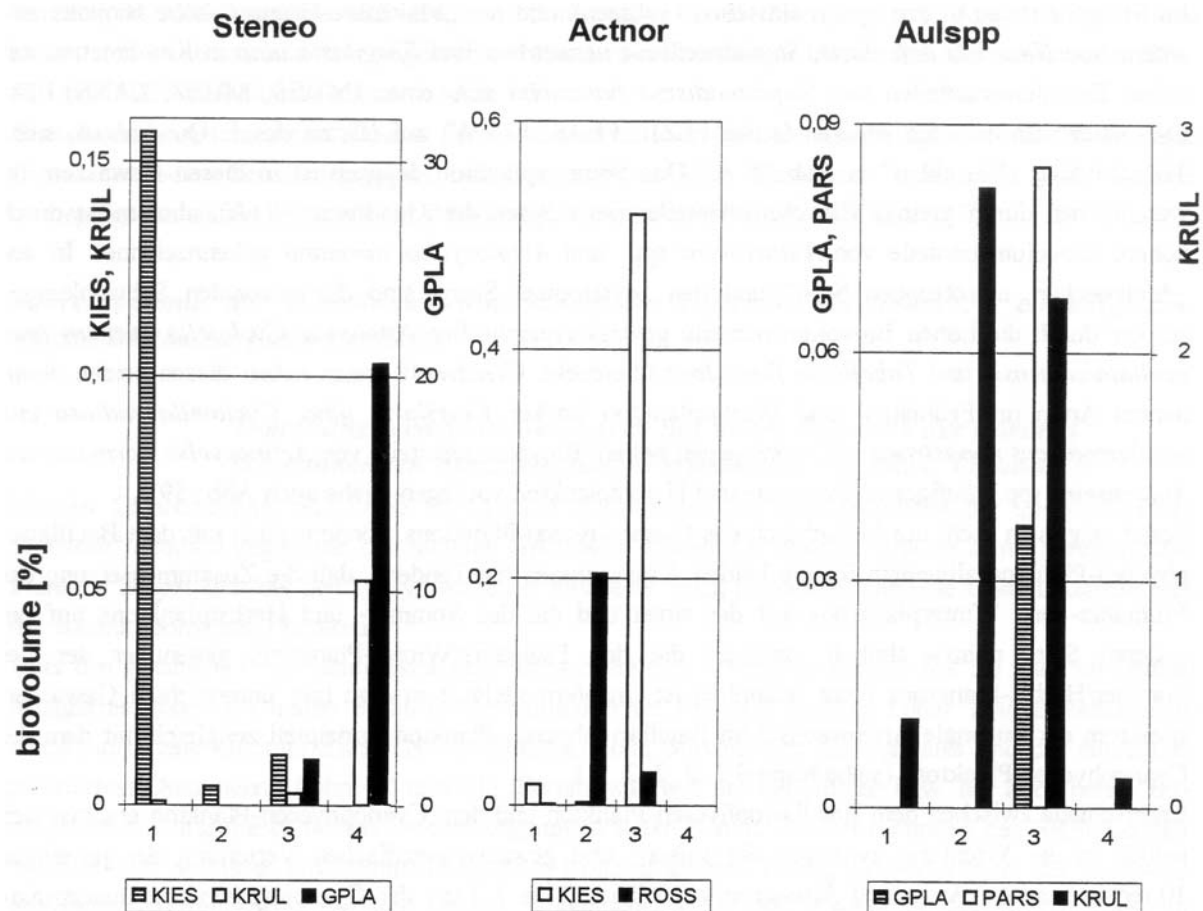


Abb. 59: Beispiele der saisonalen Verteilung der Biovolumenanteile markanter Arten des Frühjahrs- und Winterplanktons (Steneo - *Stephanodiscus neoastraea*) bzw. des Sommer- und Herbstplanktons (Actnor - *Actinocyclus normanii*, Aulsp - *Aulacoseira* spp.) in den meso- und eutrophen Gewässern.

[Datenbasis: Gewässer-Saisonmittelwerte, relatives Biovolumen bezogen auf Gesamt-Phytoplankton-Biovolumen [%]; Abkürzung der Gewässernamen siehe Abb. 51.]

Dennoch liegen unterschiedliche Akzente der saisonalen Biovolumenentwicklung in den einzelnen Gewässern vor, worauf bereits in der Abb. 55 C verwiesen wird. In der Abb. 58 A und B werden die saisonalen Biovolumenentwicklungen aufgeschlüsselt für die einzelnen 11 Gewässer dargestellt. Die 12 Teilabbildungen leiteten sich in Analogie zu der Abb. 38 der Cyanophyceen wiederum aus einer einzigen PCA ab (siehe Kapitel 3. 2. 2. 1.).

Eine klare saisonale Differenzierung des Bacillariophyceen-Planktons zeigt sich in der Darstellungsebene der 1. und 2. Hauptkomponente insbesondere für die „polymiktischen Flußseen“ (MUES, MUEZ, LANS) und für die „Flakensee-Gruppe“ der „mineralreichen Gewässer“ (FLZL, FLAS, FLZW) (Abb. 58 A). Für den Kieselsee, die „dimiktischen, mesotrophen Seen“ (PARS, ROSS) und die „dystrophen Seen“ (GPLA, KRUL) kommen die seasonspezifischen Unterschiede der Zusammensetzung des Bacillariophyceen-Planktons insbesondere in der Darstellungsebene der 2. gegen die 3. Hauptkomponente zum Ausdruck (Abb. 58 B). Wie in Abb. 55 wird auch anhand der Abb. 58 wiederum deutlich, daß sich die quantitative Zusammensetzung des Frühjahrs- und Sommerplanktons meist stärker unterscheidet, hingegen das Herbstplankton häufig mit der Struktur des Sommerplanktons vergleichbar ist.

In den Gewässern mit einer ähnlichen mittleren Bacillariophyceenplankton-Zusammensetzung (siehe Dendrogramm-Darstellung der HCA in Abb. 51) ergibt auch eine ähnliche saisonale Plankton-Differenzierung.

Im Frühjahr treten in den „polymiktischen Flußseen“ und der „Flakensee-Gruppe“ hohe Biovolumenanteile von *Nitzschia acicularis*, *Stephanodiscus neoastraea* und *Fragilaria ulna* in Kombination mit hohen Biovolumenanteilen von *Stephanodiscus hantzschii* zum einen (MUES, MUEZ, LANS) bzw. *Cyclotella radiosia* zum anderen (siehe FLZL, FLAS, FLZW) auf (Arten des I. Quadranten, siehe Teilabbildung „Variablen“ in Abb. 58 A). Das Sommerplankton dagegen ist in diesen Gewässern im wesentlichen durch geringe Biovolumenanteile dieser Arten des Quadranten I (A), aber meist durch höhere Biovolumenanteile von *Aulacoseira* spp. und *Actinocyclus normanii* gekennzeichnet. In den „dimiktischen, mesotrophen Seen“ und den „dystrophen Seen“ sind die saisonalen Schwankungen stärker durch die hohen Biovolumenanteile gewässerspezifischer Arten wie *Cyclotella kuetzingiana/ocellata/comensis* und *Tabellaria flocculosa* überdeckt. Gleichwohl treten neben diesen beiden dominanten Arten im Frühjahrs- und Winterplankton stärker *Fragilaria ulna*, *Cyclotella radiosia* und *Stephanodiscus neoastraea* auf, wohingegen höhere Biovolumenanteile von *Actinocyclus normanii* und *Aulacoseira* spp. häufiger im Sommer- und Herbstplankton vorliegen (siehe auch Abb. 59).

Somit zeigt sich nicht nur hinsichtlich des Cyanophyceen-Planktons, sondern auch mit dem Bacillariophyceen-Plankton allgemein für die beiden Algengruppen die Tendenz, daß die Zusammensetzung des Frühjahrs- und Winterplanktons auf der einen und die des Sommer- und Herbstplanktons auf der anderen Seite relativ ähnlich, dagegen die des Frühjahrs/Winter-Planktons gegenüber der des Sommer/Herbst-Planktons recht unähnlich ist. Insofern verläuft in dem hier untersuchten Gewässerspektrum der saisonale Artenwechsel im Bacillariophyceen-Plankton prinzipiell zeitgleich mit dem des Cyanophyceen-Planktons (siehe Kapitel 3. 2. 2. 2.).

Unterschiede zwischen dem Bacillariophyceen-Plankton und dem Cyanophyceen-Plankton ergeben sich jedoch in der Wichtung zwischen der saison- und gewässerspezifischen Verteilung der jeweiligen 10 repräsentativen Arten und Artengruppen. Während bei 7 Taxa der Cyanophyceen eine ausgeprägte jahreszeitspezifische Biovolumenentwicklung beobachtet werden kann, zeigt sich nur bei 4 Taxa der Bacillariophyceen eine deutlich jahreszeitbedingte Populationsentwicklung (Abb. 36 und Abb. 56). Im Gegensatz zum Cyanophyceen-Plankton kommen somit die gewässerspezifischen Unterschiede des Bacillariophyceen-Planktons auch nicht erst bei bestimmten Konstellationen der jahreszeitlichen Planktonentwicklung klar zum Ausdruck (Abb. 35 und Abb. 55). Stärkere gewässerspezifische Unterschiede zeigen sich hier unabhängig von der saisonal verschiedenen Zusammensetzung des Bacillariophyceen-Planktons.

Jahresdynamik der Bacillariophyceen im Vergleich zur Dynamik der Nährelementverhältnisse (TN, TP und SRSi)

In den untersuchten Gewässern spiegelt sich eine unterschiedliche saisonale Dynamik der SRSi-Konzentrationen im Vergleich zum TN/TP-Konzentrationsverhältnis wider (Abbn. 15 und 16).

Im Großen Müggelsee und Langen See schwanken die Konzentrationen von TN, TP und SRSi gleichermaßen **in Relation** zueinander, so daß sich für diese Gewässer klare Unterschiede in der jahreszeitspezifischen relativen Nährelementverfügbarkeit (TN/TP, SRSi/TP, SRSi/TN) herauskristallisieren (siehe normierte relative Konzentrationsverhältnisse in Abb. 16).

Dagegen ist die relative Nährelementverfügbarkeit sowohl im Flakensee als auch im Parsteiner See und Rosinsee insbesondere durch die Dynamik der saisonal stark wechselnden SRSi-Konzentrationen im Gegensatz zu verhältnismäßig geringfügigen TN/TP-Schwankungen geprägt.

In den dystrophen Seen wiederum liegen durchweg niedrige SRSi-Konzentrationen vor. Im Vergleich zu den anderen Gewässern ergibt sich dann hier auch eine schwächere saisonale Dynamik der SRSi/TP- wie auch der SRSi/TN-Verhältnisse (Abb. 16).

In der Mehrzahl der Gewässer (siehe MUES, MUEZ, LANS, PARS, ROSS, KRUL) treten im Frühjahr meist niedrigere mittlere SRSi-Konzentrationen auf als im Herbst. Im Flakensee dagegen liegen häufig im Frühjahr höhere mittlere SRSi-Konzentrationen als in der Herbst-Saison vor (Abb. 16). Im Kiessee

lassen sich keine saisonal klar abgestuften Nährelementverhältnisse hinsichtlich der variierenden TN-, TP- und SRSi-Verhältnisse erkennen (Abb. 15).

Obwohl diese verschiedenen Akzente der saisonalen relativen Nährelementverfügbarkeit in den einzelnen Gewässern oder Gewässergruppen bestehen, tritt in allen Gewässern eine mehr oder weniger ausgeprägte saisonale Dynamik der Bacillariophyceen auf (Abbn. 60, 61, 64, 65, 67).

Jahresdynamik der Biovolumenentwicklung der Centrales (Melosira s. l.; einzellige zentrische Diatomeen) und Pennales

Dominanzwechsel in Gewässern mit hoher Dynamik der saisonal schwankenden Konzentrations-Verhältnisse von SRSi, TP und TN

Mit der Clusterbildung S1c (Abb. 76 A) kann die Struktur des Phytoplanktons der „polymiktischen Flußseen“ deutlich gegenüber den anderen Gewässern abgegrenzt werden. Analog zum Cyanophyceen-Plankton zeigen sich bei den „polymiktischen Flußseen“ auch prinzipiell ähnliche Dominanzstrukturen des Bacillariophyceen-Planktons.

Über den gesamten Untersuchungszeitraum entwickeln sich sowohl im Langen See als auch im Großen Müggelsee unter den hohen SRSi/TP-Verhältnissen im Frühjahr (infolge hoher TN/TP-Verhältnisse dementsprechend niedrige SRSi/TN-Verhältnisse) hohe Biovolumina der Pennales und der einzelligen zentrischen Diatomeen (Abbn. 60 und 61). Bereits während der maximalen bzw. der noch hohen Biomasseentwicklung dieser beiden Diatomeengruppen treten bereits die Jahresminima der SRSi-Konzentrationen auf. So lassen sich minimale Silizium-Konzentrationen, häufig nahe oder unter der Nachweisgrenze, bereits im April bzw. Juni messen, wohingegen das TN/TP-Verhältnis von 16:1 i. a. erst im Juni unterschritten wird (vergleiche dazu Jahresdynamik der Cyanophyceen-Arten in Kapitel 3. 2. 2. 2. 2.).

Im Großen Müggelsee (1990-1992) setzt mehr oder weniger zeitgleich mit dem Unterschreiten des TN/TP-Verhältnisses von 16 (Präferenz der N-Limitation) und bei steigenden SRSi-Konzentrationen (hohe SRSi/TN-Verhältnisse) die Massenentwicklung von *Melosira* s. l.-Arten ein (siehe 11.6.1990, 10.6.1991, 25.5.1992 in Abb. 61). In diesen Jahren verläuft im Großen Müggelsee der Auftakt der Biovolumenentwicklung von *Melosira* s. l. synchron zu dem von *Aphanizomenon flos-aquae* und *Microcystis aeruginosa* s. l. Im Langen See setzt 1990 gleichfalls mit steigenden SRSi-Konzentrationen und dem TN/TP-Verhältnis kleiner 16 (siehe 11.6.1990 in Abb. 60), demzufolge unter hohen SRSi/TN-Verhältnissen, die Biovolumenentwicklung von *Melosira* s. l. ein, obwohl hier bereits hohe Biovolumina von *Planktothrix agardhii* bestehen (siehe 9.7.1990 in Abb. 60). Im allgemeinen treten in den beiden Flußseen bei der Massenentwicklung von *Melosira* s. l. meist hohe Populationsdichten von *Aulacoseira granulata* auf. Subdominant dagegen sind dabei *A. italica*, *A. ambigua* und *Melosira varians*.

Die Dynamik der dominanten pennaten Bacillariophyceen-Arten verläuft in beiden Gewässern über den Zeitraum der Untersuchung ähnlich. Im Frühjahr wird das pennate Bacillariophyceen-Plankton durch die Massenentwicklung von *Fragilaria ulna* und *Nitzschia acicularis* geprägt (Abb. 62).

Mit der Abb. 62 zeigt sich, daß das Frühjahrsplankton von den Biovolumen-Maxima von *Fragilaria ulna* bzw. den Zellzahl-Maxima von *Nitzschia acicularis* bestimmt wird. Die unterschiedlichen Bezugsgrößen für die quantitativen Aussagen der Planktonentwicklung ergeben in dieser Abbildung verschieden akzentuierte Aussagen zur Dominanzstruktur. Ein Vergleich von Datensätzen mit unterschiedlicher Bezugsbasis - Biovolumina, (Bio)-Oberflächen bzw. Zellzahlen - ergibt mit dem hier vorliegenden Datensatz (PCA, HCA, CCA) jedoch identische bzw. weitestgehend vergleichbare Ergebnisse der multivariaten Statistik, so daß sich mit dem hier vorliegenden Gewässerspektrum allein auf die Darstellung der Biovolumina der Arten in der multivariaten Statistik beschränkt wird (HCA-, PCA- und CCA-Grafiken auf der Datenbasis von Oberflächen und Zellzahlen werden aus „Platz-Sparsamkeitsgründen“ nicht gezeigt).

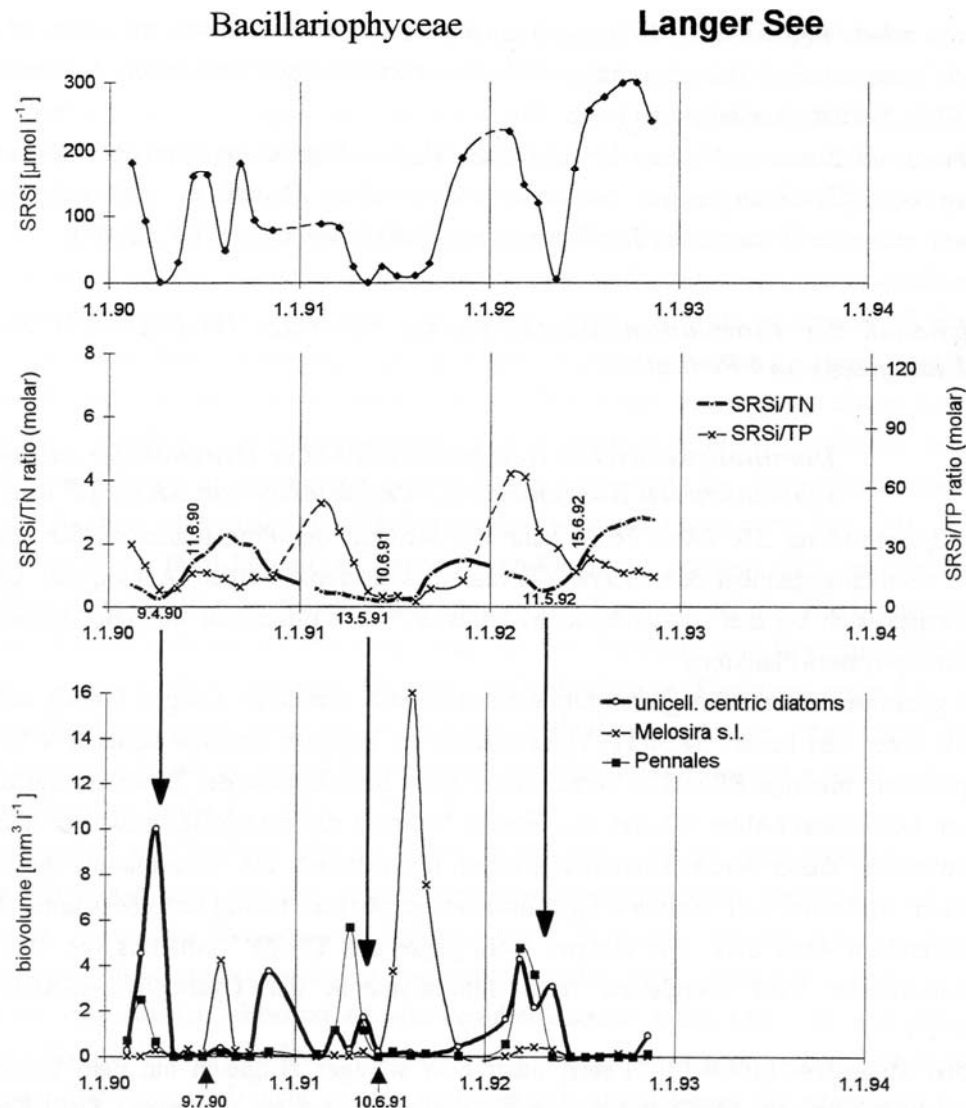


Abb. 60: Jahresdynamik der Biovolumina der Bacillariophyceen (einzellige zentrische Diatomeen, *Melosira* s. l. und Pennales) im Vergleich zur Jahresdynamik der SRSi-Konzentrationen sowie dem SRSi/TN- und dem SRSi/TP-Verhältnis im Langer See.

[Achsenkalierung entspricht dem Verhältnis von SRSi/TN:SRSi/TP = 1:16.

SRSi-Minima: 9.4.1990, 13.5.1991, 11.5.1992; Unterschreiten des TN/TP-Verhältnisses von 16:1: 11.6.1990, 10.6.1991, 15.6.1992; Beginn der Massenentwicklung von *Melosira* s. l.: 9.7.1990, 10.6.1991.]

Permanente Unterschiede im Bacillariophyceen-Plankton zwischen dem Langer See (1990-1992) und dem Großen Müggelsee (1990-1992) zeigen sich insbesondere in der Dominanzstruktur der planktischen einzelligen Diatomeenarten. Für den Langer See sind beispielsweise über die gesamten Untersuchungs-jahre höhere Biovolumina von *Stephanodiscus hantzschii* gegenüber niedrigeren Biovolumina von *S. neoastraea* charakteristisch (Abbn. 72 und 74, siehe auch Abb. 53). Dagegen erreicht *S. hantzschii* im Frühjahrsplankton der „typischen“ „*Aphanizomenon flos-aquae*/Microcystis spp.“-Jahre des Großen Müggelsees (1990-1992) nur geringere Biovolumina gegenüber *S. neoastraea* (Abbn. 71 und 73, charakteristische Bacillariophyceen-Planktonzusammensetzung im Gewässer siehe auch Abb. 53).

Die beiden Gewässerjahre des Clusters S2b (Abb. 76 A), das sind der Langer See 1991 und der Große Müggelsee 1993, repräsentieren hinsichtlich des Bacillariophyceen-Planktons Übergänge zwischen den „typischen“ Bacillariophyceen-Planktonentwicklungen der beiden Seen. In diesen beiden Gewässerjahren liegen im Gegensatz zu den übrigen Jahren dieser beiden Gewässer im Sommer auffallend

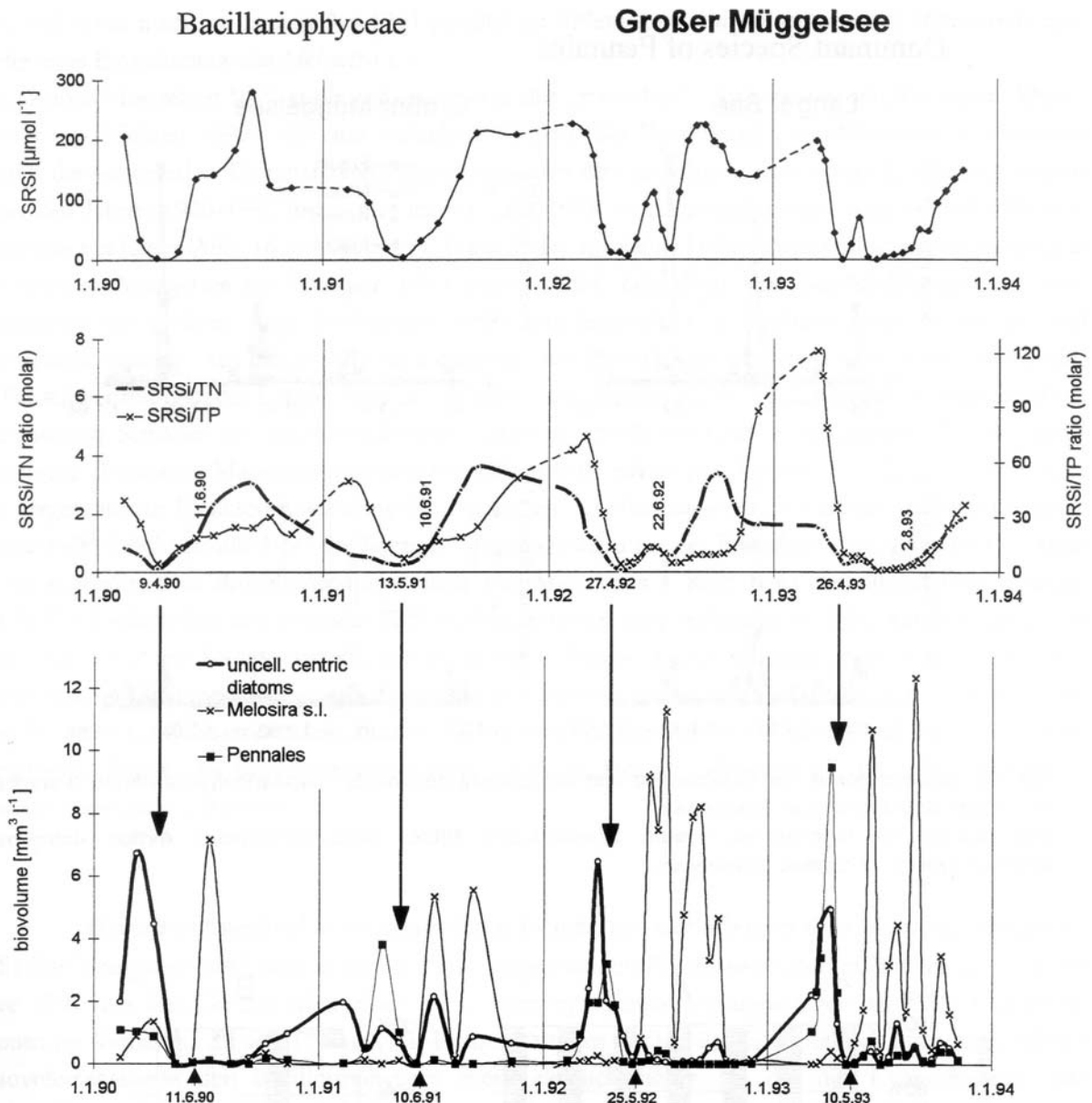


Abb. 61: Jahresdynamik der Biovolumina der Bacillariophyceen (einzellige zentrische Diatomeen, *Melosira* s. l. und Pennales) im Vergleich zur Jahresdynamik der SRSi-Konzentrationen sowie dem SRSi/TN- und dem SRSi/TP-Verhältnis im Großen Müggelsee.

[Achsenkalierung siehe Abb. 60. SRSi-Minima: 9.4.1990, 13.5.1991, 27.4.1992, 26.4.1993;

Unterschreiten des TN/TP-Verhältnisses von 16:1: 11.6.1990, 10.6.1991, 22.6.1992, 2.8.1993;

Beginn der Massenentwicklung von *Melosira* s. l.: 11.6.1990, 10.6.1991, 25.5.1992, 10.5.1993.]

niedrige SRSi-Konzentrationen vor, was auf eine überproportionale Elimination dieses Nährelementes gegenüber den TN- und TP-Konzentrationen und damit auf eine extreme Biovolumenentwicklung der Bacillariophyceen gegenüber den Cyanophyceen verweist (Abb. 16). Während in beiden Gewässern die Bacillariophyceen im Sommerplankton mit maximal 30 % am Gesamtphytoplankton-Biovolumen subdominant gegenüber den Cyanophyceen (über 60 % Biovolumenanteil) vertreten sind (siehe MUES 1990-1992; LANS 1990, 1992 in Abb. 63 A), nehmen die Bacillariophyceen im Sommer der beiden oben genannten Gewässerjahre (LANS 1991, MUES 1993) nahezu 60 % des Gesamtbiovolumens ein. Diese klare Dominanz der Bacillariophyceen wird im Langen See 1991 durch die Massenentwicklung von *Melosira* s. l. (ca. 16 mm³ l⁻¹, siehe Abb. 60) bestimmt. Analog der Planktonentwicklung in den „typischen“ „*Aphanizomenon flos-aquae*/Microcystis spp.“-Jahren des Großen Müggelsees entwickel-

Dominant Species of Pennales

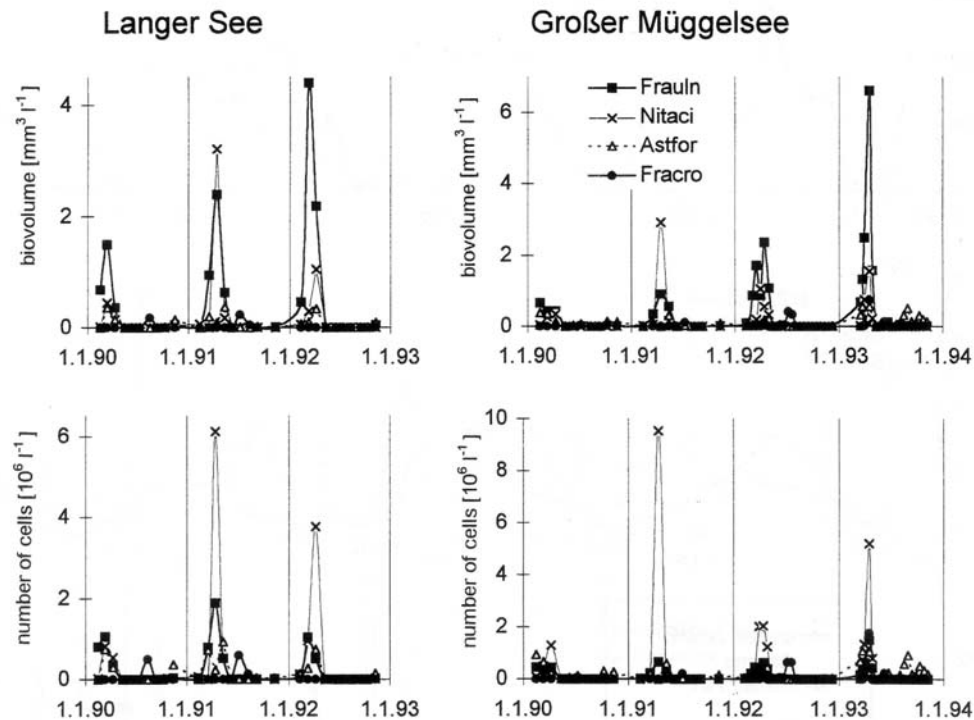


Abb. 62: Jahresdynamik der Biovolumina und der Zellzahl dominanter Bacillariophyceen-Arten (Pennales) im Langer See und Großen Müggelsee.

[Abkürzungen der Algennamen: **Frauln** - *Fragilaria ulna*, **Nitaci** - *Nitzschia acicularis*, **Astfor** - *Asterionella formosa*, **Fracro** - *Fragilaria crotonensis*.]

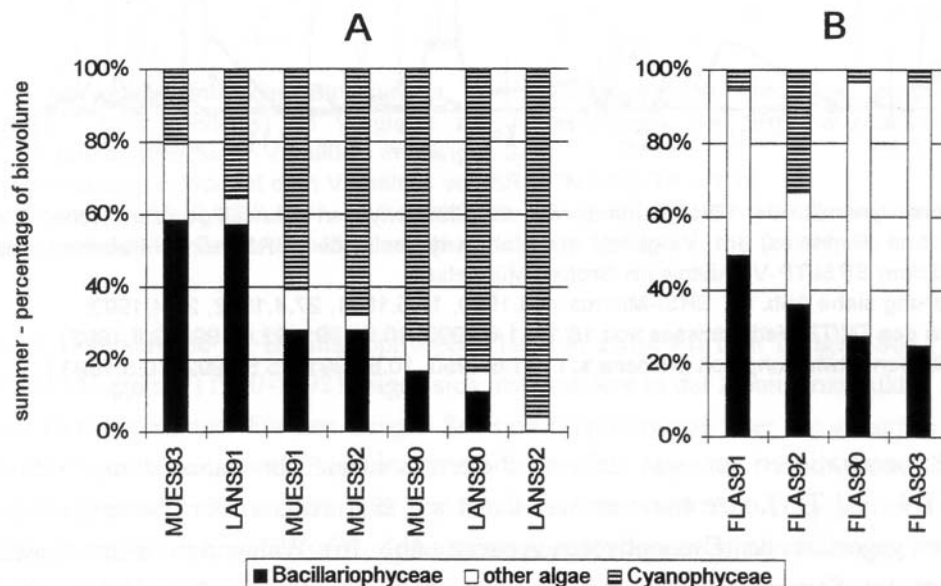


Abb. 63 A-B: Relativer Anteil [%] der Bacillariophyceen und Cyanophyceen am Gesamtbiovolumen des Sommer-Planktons. **A** - Großer Müggelsee (MUES) und Langer See (LANS), **B** - Flakensee (FLAS).

Im Sommer des Jahres 1991 im Langer See und des Jahres 1993 im Großen Müggelsee nehmen die Bacillariophyceen nahezu 60 % des Gesamtbiovolumens ein. Für diese beiden Sommer liegen auffällig niedrige normierte SRSi-Konzentrationen im Verhältnis zu den norm. TN- und norm. TP-Konzentrationen vor (siehe Abb. 16), was auf eine stärkere Elimination von SRSi im Vergleich zu anderen Untersuchungsjahren und damit auf eine extreme Massenentwicklung der Bacillariophyceen hinweist. Im Gegensatz zum Langer See und zum Großen Müggelsee nehmen im Flakensee neben den Bacillariophyceen und Cyanophyceen auch andere Algenklassen hohe Biovolumenanteile ein. [Datenbasis: Saison-Mittelwerte (Sommer).]

ten sich somit auch im Langen See 1991 parallel zu *Aphanizomenon flos-aquae* und *Microcystis* spp. **sehr** hohe Biovolumina von *Melosira* s. l.

Im Großen Müggelsee 1993 ergibt sich gegenüber den „typischen“ „*Aphanizomenon flos-aquae*/*Microcystis* spp.“-Jahren 1990-1992 eine veränderte Struktur des Bacillariophyceen-Planktons insbesondere durch die veränderten Dominanzverhältnisse zwischen den einzelligen zentrischen Diatomeen. Gegenüber den Jahren 1990-1992 liegen hier im Frühjahr 1993 verhältnismäßig hohe mittlere SRSi/TP-Verhältnisse vor (siehe Abb. 16 und Abb. 61). Unter dieser speziellen Nährelementverfügbarkeit dominieren im Großen Müggelsee im Frühjahr 1993 extrem hohe Zellzahlen von *Stephanodiscus hantzschii* gegenüber den anderen sonst dominanten Arten, wie beispielsweise *Stephanodiscus neoastraea* und *Cyclotella radiosa*. Aus dieser Sicht ist das Müggelsee-Plankton der einzelligen zentrischen Diatomeen 1993 stärker mit dem des Langen Sees und Müggelsee-Zuflusses (Abb. 53) vergleichbar. Begleitend zur veränderten Struktur des Bacillariophyceen-Planktons bleibt im Großen Müggelsee 1993 die sonst „typische“ Frühjahrs-Massenentwicklung von *Limnithrix redekei* aus (Kapitel 3. 2. 2. 2., Abb. 16).

Im Gegensatz zur Planktonentwicklung der „typischen“ „*Aphanizomenon flos-aquae*/*Microcystis* spp.“-Jahre 1990-1992 verläuft 1993 die Sommer-Massenentwicklung der Blaualgen und *Melosira* s. l.-Arten nicht synchron. Die Biovolumenentwicklung von *Melosira* s. l. setzt trotz verhältnismäßig niedriger SRSi/TN-Verhältnisse und geringer SRSi-Konzentrationen sehr frühzeitig im Jahr, nämlich bereits im Mai, ein. Über die Sommerperiode, die durch ein außergewöhnlich geringes Strahlungsdargebot und hohe Niederschläge gekennzeichnet ist, hält die Massentwicklung von *Melosira* s. l. an. Damit ist hier die *Melosira* s. l.-Massenentwicklung der *Aphanizomenon flos-aquae*-Massenentwicklung zeitlich vorgeschaltet (Beginn der Biovolumenentwicklung siehe in Abb. 61: *Melosira* s. l. 10.5.1993, *Aphanizomenon flos-aquae* 2.8.1993).

Dominanzwechsel in ausgewählten Gewässern der übrigen drei Gewässergruppen

Mit dem Übergang vom Frühling zum Sommer zeigen sich im Flakensee wiederum, ähnlich dem Langen See 1991 und dem Großen Müggelsee 1993, überproportionale Verringerungen der SRSi-Konzentrationen im Verhältnis zu den TN- und TP-Konzentrationen (Abb. 16). Es ergibt sich auch hier, daß die Biovolumenanteile der Bacillariophyceen meist deutlich höher als die der Cyanophyceen sind (Abb. 63 B). Für den Flakensee gilt dieser Vergleich jedoch nur eingeschränkt. Während sich das Sommer-Plankton des Langen Sees und des Großen Müggelsees fast ausschließlich aus Cyanophyceen und Bacillariophyceen zusammensetzt und damit die Biovolumenanteile dieser beiden Algengruppen quasi komplementär auftreten, gewinnen im Flakensee weitere Algenklassen mit höheren Biovolumenanteilen größere Bedeutung (Abb. 19 B).

Im Unterschied zu den beiden „polymiktischen Flußseen“ liegen im Flakensee im Frühjahr meist keine deutlich abgesetzt hohen SRSi/TP-Konzentrationen vor (Abb. 64). Das Frühjahrsplankton ist fast ausschließlich durch hohe Biovolumina der einzelligen zentrischen Diatomeen geprägt. Pennate Kieselalgen, wie Arten der Fragilariaceae, spielen im Frühjahr nur eine untergeordnete Rolle. Dafür erreichen hier - im Gegensatz zu den polymiktischen Flußseen - die Pennales im Sommer höhere Biovolumina, wenngleich die Zusammensetzung der pennaten Arten nicht mit der der „polymiktischen Flußseen“ vergleichbar ist (siehe Tabelle III S. 68-71). Im Vergleich zu den „polymiktischen Flußseen“ treten im Flakensee erst spät im Jahr minimale SRSi-Konzentrationen auf, die somit dem Unterschreiten des kritischen TN/TP-Verhältnisses zeitlich verzögert folgen (siehe SRSi-Minima 10.9.1990, 18.7.1991, 22.6.1992, 5.7.1993; Unterschreiten des TN/TP-Verhältnisses von 16:1: 11.6.1990, 18.3.1991, 27.4.1992, 13.4.1993 in Abb. 64). Aber auch hier, analog zum Großen Müggelsee und zum Langen See, werden zum Zeitpunkt der hohen Diatomeen-Biovolumenentwicklung die Jahresminima der SRSi-Konzentrationen gemessen.

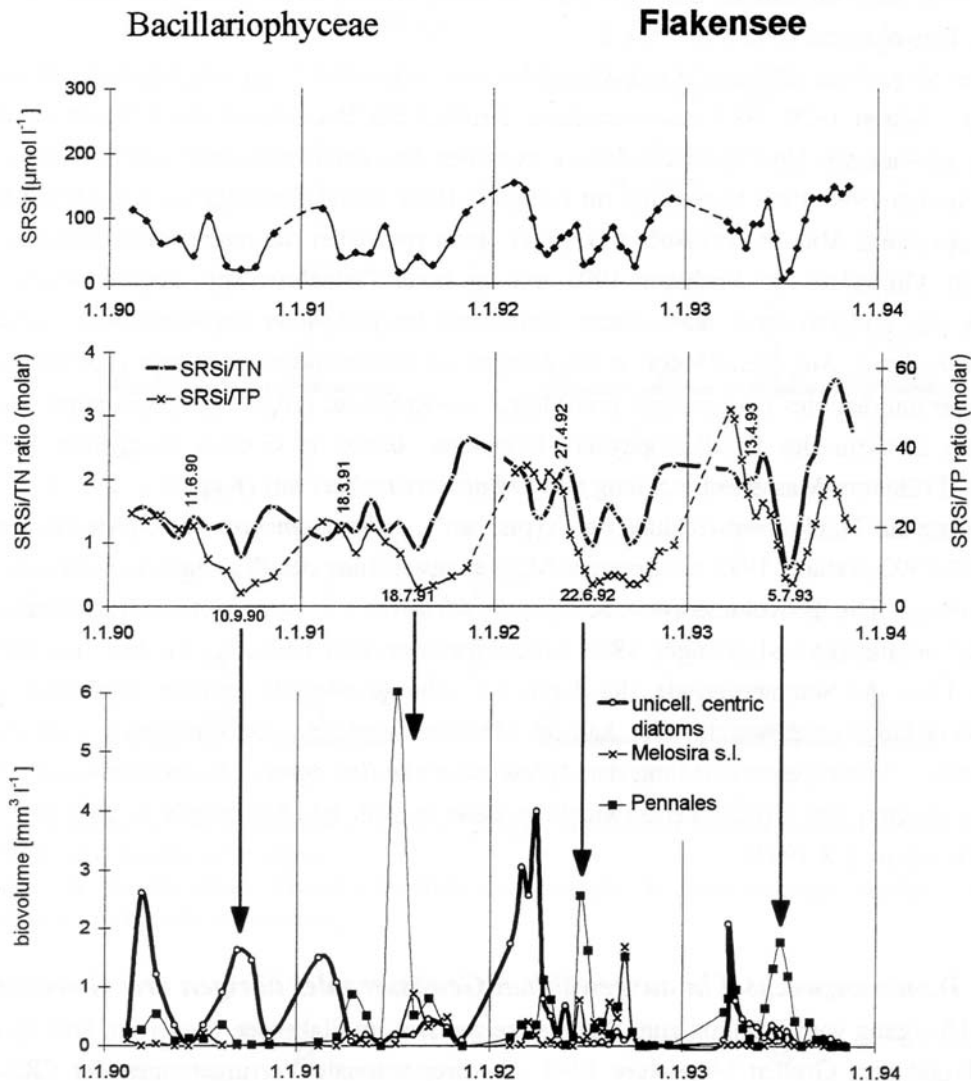


Abb. 64: Jahresdynamik der Biovolumina der Bacillariophyceen (einzellige zentrische Diatomeen, *Melosira* s. l. und Pennales) im Vergleich zur Jahresdynamik der SRSi-Konzentrationen sowie dem SRSi/TN- und dem SRSi/TP-Verhältnis im Flakensee.

[Achsenkalierung siehe Abb. 60. SRSi-Minima: 10.9.1990, 18.7.1991, 22.6.1992, 5.7.1993;

Unterschreiten des TN/TP-Verhältnisses von 16:1: 11.6.1990, 18.3.1991, 27.4.1992, 13.4.1993.]

Im Gegensatz zu den oben diskutierten Gewässern sind in den „dimiktischen, mesotrophen Seen“ und in den „dystrophen Seen“ allein im Spätsommer bzw. Herbst, dem Zeitpunkt geringer Biovolumenentwicklung der Bacillariophyceen, höhere SRSi-Konzentrationen meßbar (Abbn. 65 und 67). Obwohl die 4 Gewässer hinsichtlich der relativen Nährelementverfügbarkeit recht ähnlich sind (P-Limitationsbedingungen, im Vergleich zu den anderen Gewässern niedrige SRSi-Konzentrationen) zeigen sich nur wenige Übereinstimmungen in der Zusammensetzung und Jahresdynamik der einzelnen Diatomeengruppen.

So ist ein verhältnismäßig stark entwickeltes Plankton der Pennales sowohl im Parsteiner See als auch in den beiden „dystrophen Seen“ zu finden. Im Parsteiner See entwickelt sich eine Vielfalt von pennaten Arten. Hohe Biovolumina erreicht dabei *Tabellaria flocculosa* im Vergleich zu *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis*, *Fragilaria ulna* und anderen Arten (Abb. 66). Dagegen setzt sich das Diatomeenplankton der Pennales unter den extrem niedrigen SRSi-Konzentrationen der „dystrophen Seen“ gewissermaßen nur aus einer Art, nämlich aus *Fragilaria ulna*, zusammen (siehe auch Abb. 54).

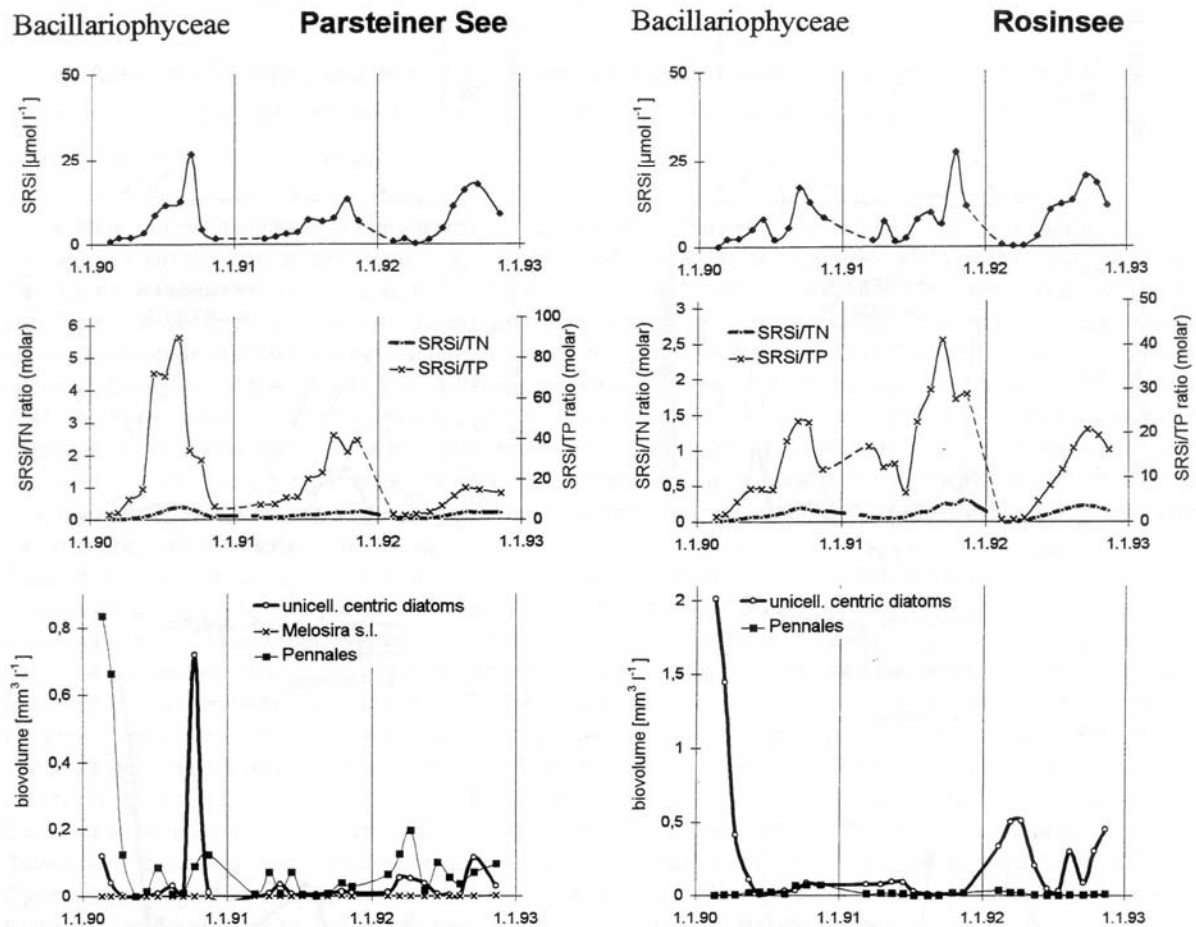


Abb. 65: Jahresdynamik der Biovolumina der Bacillariophyceen (einzellige zentrische Diatomeen, *Melosira* s. l. und Pennales) im Vergleich zur Jahresdynamik der SRSi-Konzentrationen sowie dem SRSi/TN- und dem SRSi/TP-Verhältnis im Parsteiner See und Rosinsee. Achsenskalierung siehe Abb. 60.

Dominant Species of Pennales

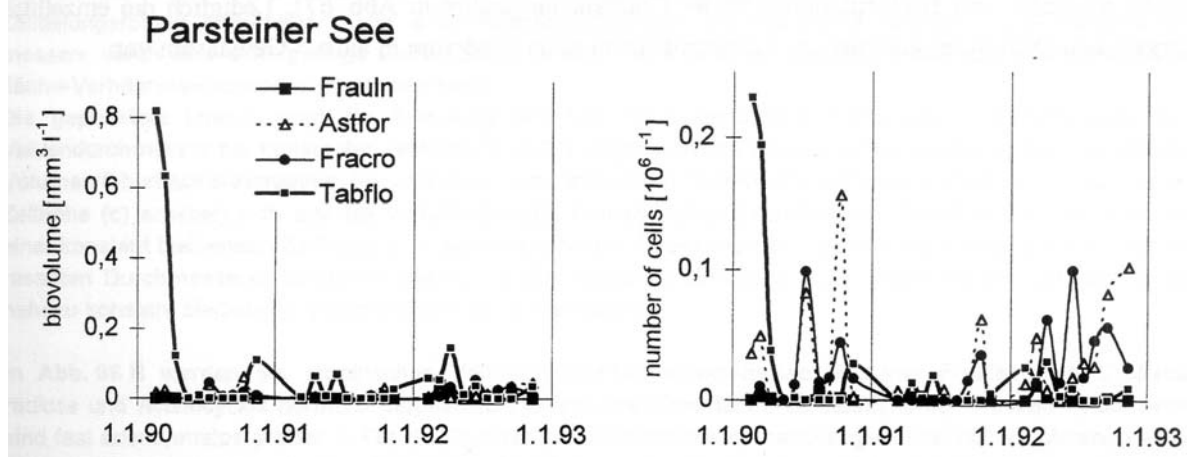


Abb. 66: Jahresdynamik der Biovolumina und der Zellzahl dominanter Bacillariophyceen-Arten (Pennales) im Parsteiner See.

[Algennamen von o. nach u.: *Fragilaria ulna*, *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis*, *Tabell. flocculosa*.]

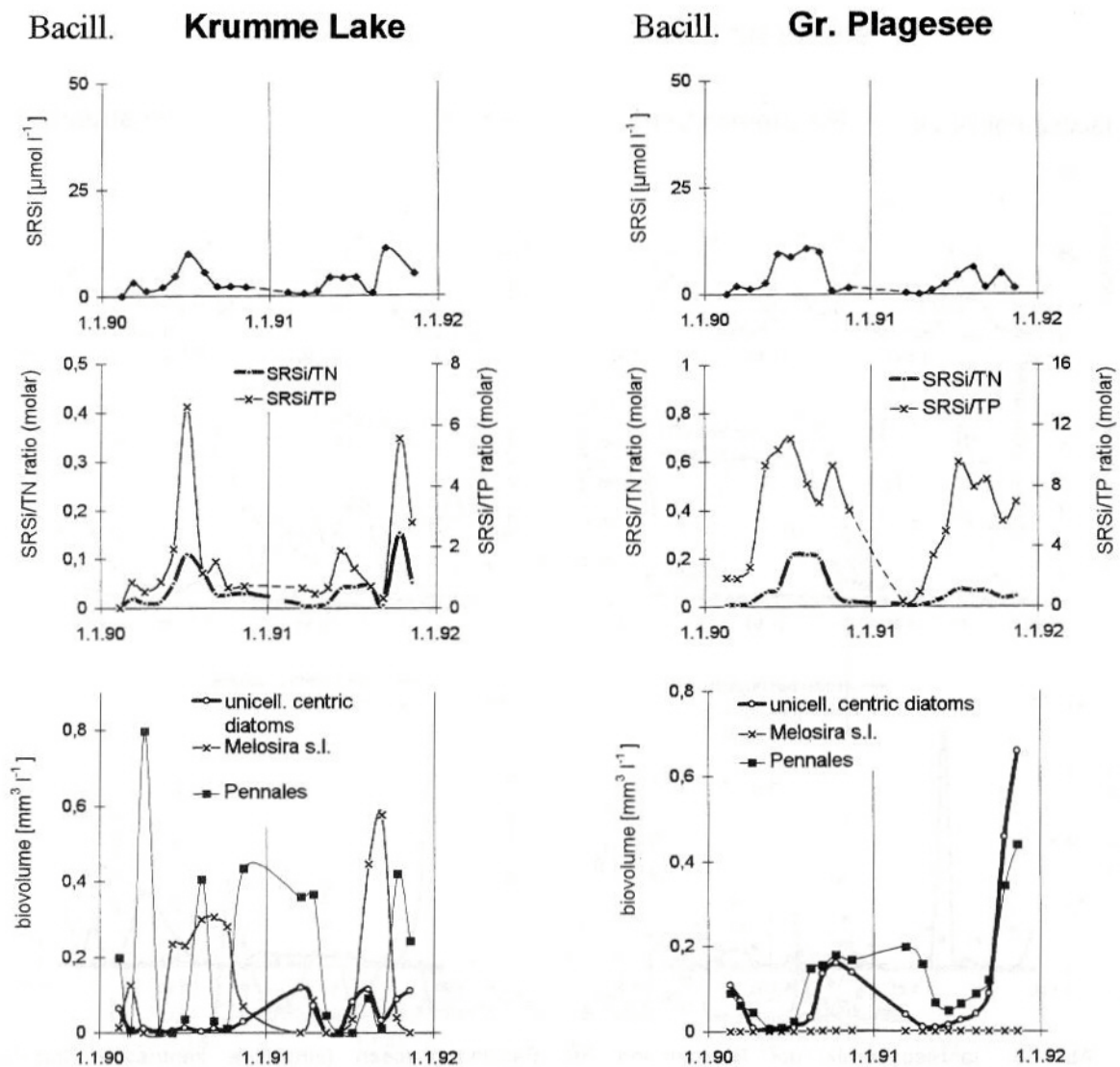


Abb. 67: Jahresdynamik der Biovolumina der Bacillariophyceen (einzellige zentr. Diatomeen, *Melosira* s. l. und Pennales) im Vergleich zur Jahresdynamik der SRSi-Konzentrationen sowie dem SRSi/TN- und dem SRSi/TP-Verhältnis in der Krummen Lake und dem Großen Plagesee. Achsenskalierung siehe Abb. 60.

Melosira s. l.-Arten treten mit vergleichsweise hohen Biovolumina allein in der Krummen Lake auf (siehe Sommer- und Herbstplankton beider Untersuchungsjahre in Abb. 67). Lediglich die einzelligen zentrischen Diatomeen kommen mit höheren Biovolumina wiederum in allen 4 Gewässern vor.

***Jahresdynamik des Oberfläche/Volumen-Verhältnisses bei dominanten
Bacillariophyceen-Arten (einzellige zentrische Diatomeen)***

In den Abbn. 69-74 wird parallel zum Jahresverlauf der Biovolumina und der Abundanz (Zellzahl) die Jahresdynamik der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse*¹ für einzelne zentrische Bacillariophyceen-Arten*² dargestellt.

*¹ Bei den zentrischen Bacillariophyceen wird zur Vereinfachung der Berechnung der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse ein der Frustel geometrisch ähnlicher Körper, ein Zylinder zugrunde gelegt (siehe Kapitel 2. 5). Die Oberfläche/Volumen-Verhältnisse eines Zylinders müssen sich nicht zwangsläufig bei einer Werte-Änderung von Durchmesser und Höhe ändern, da ein geometrischer Körper, der zwei unabhängige Dimensionen besitzt, einen **Freiheitsgrad** (Zahl der Variablen minus 1) für die Variation des Oberfläche/Volumen-Verhältnisses aufweist. Gleiches gilt theoretisch auch beispielsweise für die Algen mit Doppelkegelform (z.B. *Monoraphidium*) oder der Form eines Rotationsellipsoiden (z. B. *Cryptomonas*). Bei der Zellform des doppelten Pyramidenstumpfes einer Reihe von pennaten Kieselalgenarten erhöht sich die Zahl der Freiheitsgrade auf 4 (z. B. *Fragilaria ulna*). Im Gegensatz zu diesen genannten geometrischen Körpern ändert sich das Oberfläche/Volumen-Verhältnis von kugelförmigen Zellen zwangsläufig mit der Werte-Änderung der einen Variable (Zahl der Freiheitsgrade=0).

Abb. 68 A veranschaulicht für die zentrischen Diatomeen die mathematische Abhängigkeit der Volumen/Oberfläche-Verhältnisse vom Valvendurchmesser (d, Durchmesser) und der Zellhöhe (h, Höhe). Zugunsten einer anschaulicheren Präsentation werden in dieser Abbildung die reziproken Werte der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse dargestellt (mit gegen Null laufenden Variablen würde sonst das Oberfläche/Volumen-Verhältnis gegen unendlich streben). Die Kurve a kennzeichnet das Volumen/Oberfläche-Verhältnis von 1. An den Schnittpunkten 1 und 2 der Geraden b liegen somit die gleichen Volumen/Oberfläche-Verhältnisse, nämlich = 1, vor.

Während der Punkt 1 das Volumen/Oberfläche-Verhältnis eines Zylinders mit großer Höhe und kleinem Durchmesser repräsentiert, liegt für den Punkt 2 eine kleine Höhe und ein großer Durchmesser vor.

Das Größenverhältnis der Variablen am Punkt 1 trifft somit stärker auf Einzelzellen der *Melosira* s. l. (z. B. *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*) bzw. auf einzellige zentrische Diatomeen in Kulturen zu (z. B. *Cyclotella meneghiniana*: aufgrund der in der Pervalvarachse stark gestreckten Zellen liegen die Frusteln in Kultur in Gürtelbandansicht; Stammkultursammlung der HUB, Fachgruppe Ökologie).

Dagegen werden mit dem Größenverhältnis der Variablen des Punktes 2 eher die einzelligen zentrischen Diatomeen der pelagialen Freilandproben repräsentiert. Bei diesen „großschaligen“ Frusteln liegt i. a. ein verhältnismäßig großer Valvendurchmesser gegenüber einer kleinen Zellhöhe vor (z. B. *Cyclotella meneghiniana*: siehe schräge Gürtelband/Valven-Ansicht in Mikrofotografie der Tafel V: Abb. 13).

Anhand des hyperbolischen Kurvenverlaufes der Kurve a der Abb. 68 A wird deutlich, daß bei den Frusteln der „großschaligen“ Arten ein konstantes Volumen/Oberfläche-Verhältnis trotz erheblicher Reduktion des Valvendurchmessers durch eine nur geringe Zunahme der Zellhöhe realisiert werden kann. **So ergibt sich beispielsweise ein konstant bleibendes Volumen/Oberfläche-Verhältnis von 1 bei einer Verkleinerung des Valvendurchmessers von 20 auf 14 bei gleichzeitiger Vergrößerung der Zellhöhe von 2,22 auf 2,33.** Damit liegt auf der Hand, daß theoretisch bei „großschaligen“ einzelligen zentrischen Diatomeen, insbesondere bei Zellteilungsfolgen unmittelbar nach einer Auxosporenbildung, die drastische Reduktion des Valvendurchmessers durch eine sehr geringe Zellstreckung in der Pervalvarachse zugunsten konstanter Volumen/Oberfläche-Verhältnisse kompensiert werden kann.

Die gepunktete Linie c zeigt die Änderung des Volumen/Oberfläche-Verhältnisses in Abhängigkeit vom Valvendurchmesser bei konstanter Zellhöhe (h=2,22). Nennenswerte Abweichungen zwischen dem konstanten Volumen/Oberfläche-Verhältnis (a) und dem sich ändernden Volumen/Oberfläche-Verhältnis bei konstanter Zellhöhe (c) ergeben sich erst bei verhältnismäßig kleinen Valvendurchmessern. Damit ergibt sich auch bei einer konstant bleibenden Zellhöhe, d. h. bei ausbleibender Streckung der Frustel in der Pervalvarachse, mit der rasanten Durchmesserabnahme im Bereich großer Valvendurchmesser (z. B. Abnahme von 20 auf 14) ein nahezu konstant bleibendes Volumen/Oberfläche-Verhältnis.

In **Abb. 68 B** werden die empirischen Volumen/Oberfläche-Verhältnisse einzelner Frusteln von *Cyclotella radiosa* und *Actinocyclus normanii* dargestellt. Die Volumen/Oberfläche-Verhältnisse der Frusteln beider Arten sind fast ausnahmslos größer 1. Für die Frusteln von *Actinocyclus normanii* zeigen sich höhere Mittelwerte der Volumen/Oberfläche-Verhältnisse (2,76:1) im Vergleich zu *Cyclotella radiosa* (1,258:1). Bei beiden Arten zeigt sich die Tendenz, daß Frusteln mit einem größeren Volumen und einer größeren Oberfläche höhere Volumen/Oberfläche-Verhältnisse gegenüber dem Mittelwert-Verhältnis (siehe Linie) aufweisen. Umgekehrt liegen

bei Frusteln mit kleinem Volumen und kleiner Oberfläche geringere Volumen/Oberfläche-Verhältnisse im Vergleich zum Mittelwert vor.

Für die Frusteln von *Actinocyclus normanii* sind mit der Datenpunktbeschriftung die Valvendurchmesser [μm] angegeben. Dabei zeigt sich die Tendenz, daß bei Frusteln mit einem großen Valvendurchmesser höhere Volumen/Oberfläche-Verhältnisse (d. h. **kleine Oberfläche/Volumen-Verhältnisse**) im Vergleich zum Mittelwert vorliegen. Dagegen weisen Frusteln mit einem kleinen Valvendurchmesser durchschnittlich niedrigere Volumen/Oberfläche-Verhältnisse (d. h. **große Oberfläche/Volumen-Verhältnisse**) auf. Gleiches gilt auch für die Frusteln von *Cyclotella radios*a (Datenpunktbeschriftung zugunsten einer übersichtlichen Grafikdarstellung nicht gezeigt). Damit ergibt sich für das Freilandmaterial, daß Änderungen der Volumen/Oberfläche-Verhältnisse maßgeblich durch die Änderung der Valvendurchmesser bedingt werden. Im Zusammenhang mit den theoretischen Überlegungen der Abb. 68 A zeigt sich somit an den empirischen Datensätzen der Abb. 68 B keine gleichmäßige Streuung um konstante Volumen/Oberfläche-Verhältnisse.

In Übereinstimmung mit der Literatur (siehe Kapitel 4.) werden nachfolgend ausschließlich Oberfläche/Volumen-Verhältnisse dargestellt (Abbn. 69-74).

*² Voraussetzung für die Darstellung der Jahresdynamik der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse ist ein nahezu stetiges Vorkommen einer Art über den Untersuchungszeitraum im jeweiligen Gewässer. Unabhängig von den Populationsdichten der Diatomeenarten in der Planktonprobe wurden auf dem Dauerpräparat je Probe 100 Frusteln der einzelligen zentrischen Diatomeen ausgewertet (siehe Material und Methoden in Kapitel 2. 5.). Für die dominanten Arten findet somit selbst bei geringer Biovolumenentwicklung (absoluter Bezug) ein größerer Stichprobenumfang (relativer Bezug) Berücksichtigung, der folglich auch Basis der Berechnung der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse ist.

Abb. 68 A: Schematische Abhängigkeit des Volumen/Oberfläche-Verhältnisses von Durchmesser und Höhe bei zylinderförmigen Körpern.

Die **Kurve a** kennzeichnet das Volumen/Oberfläche-Verhältnis von 1. An den Schnittpunkten 1 und 2 einer gedachten **Geraden b**, die eine gegenläufige lineare Variation von Durchmesser und Höhe andeuten soll, liegen somit die gleichen Volumen/Oberfläche-Verhältnisse vor. Der Schnittpunkt 1 repräsentiert Frusteln mit einer verhältnismäßig großen Zellhöhe (h) gegenüber einem kleinen Valvendurchmesser. Umgekehrt steht der Schnittpunkt 2 für Frusteln mit einer geringen Zellhöhe und einem großen Valvendurchmesser.

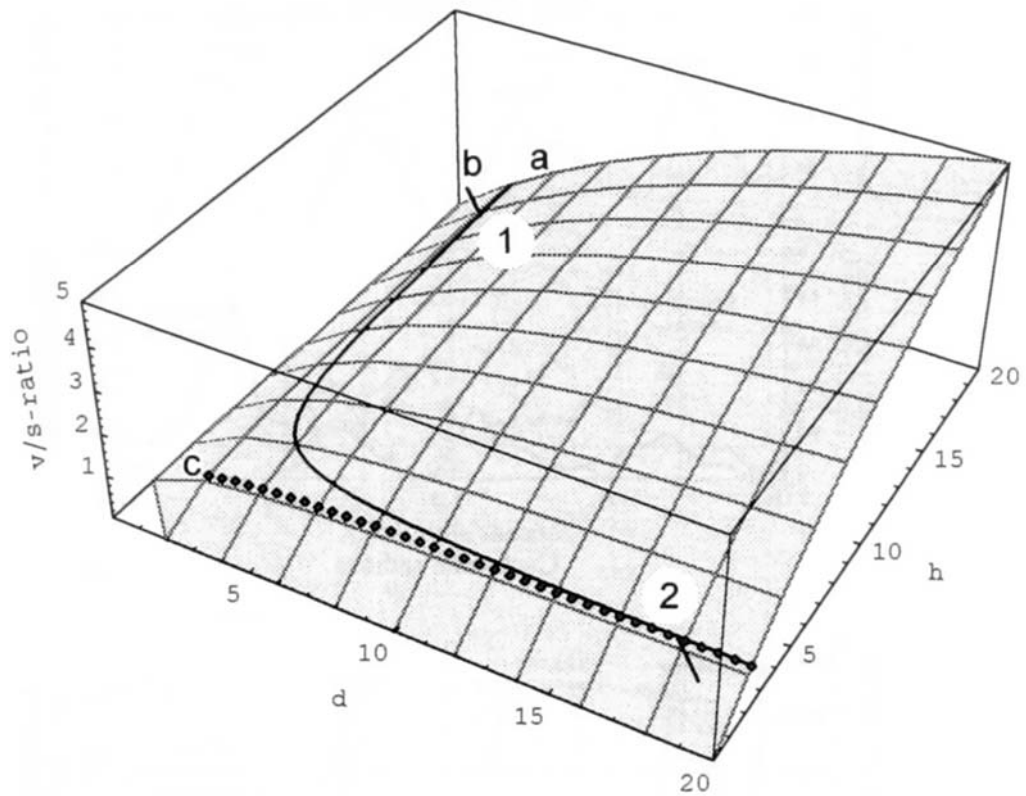
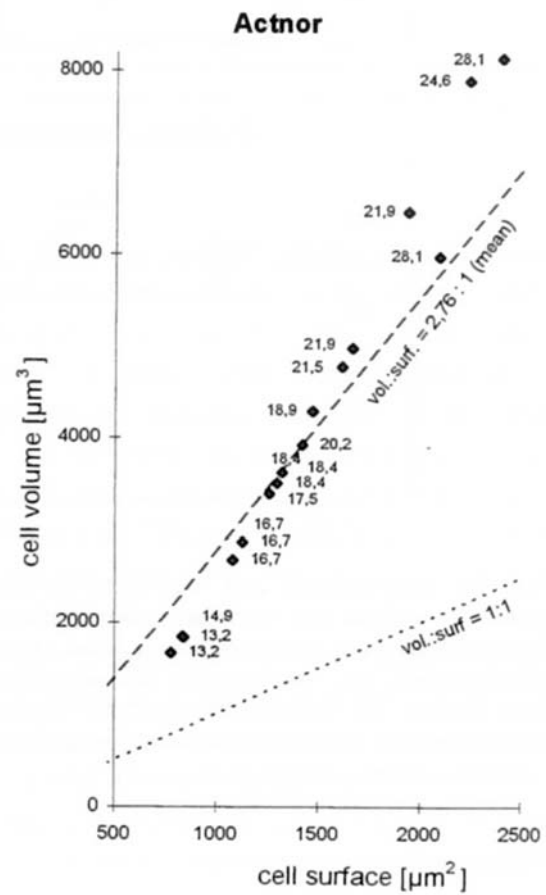
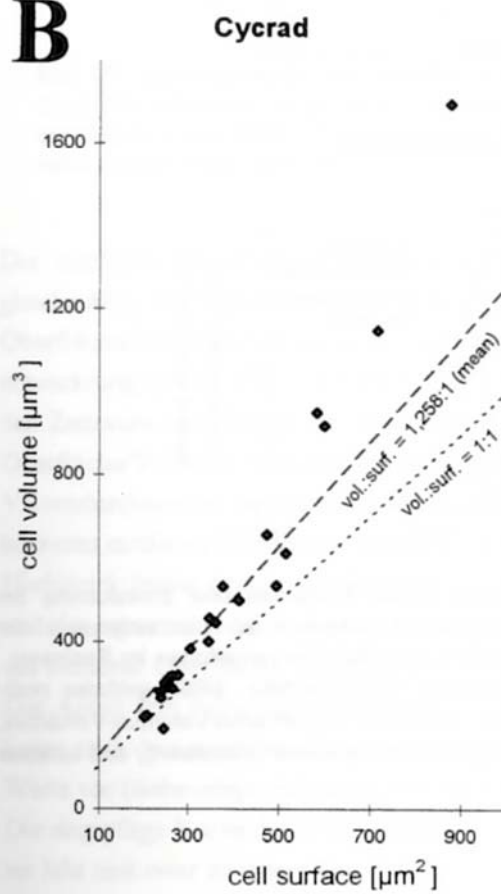
Die gepunktete **Linie c** zeigt die Änderung des Volumen/Oberfläche-Verhältnisses in Abhängigkeit vom Valvendurchmesser bei konstanter Zellhöhe ($h=2,22$). Nennenswerte Abweichungen zwischen dem konstanten Volumen/Oberfläche-Verhältnis (a) und dem sich ändernden Volumen/Oberfläche-Verhältnis bei konstanter Zellhöhe (c) ergeben sich erst bei verhältnismäßig kleinen Valvendurchmessern.

[Abkürzungen: v/s-ratio - Volumen/Oberfläche-Verhältnis, d - Durchmesser, h - Höhe.]

Abb. 68 B: Beziehung zwischen dem Biovolumen und der Oberfläche bei einzelnen Frusteln von *Cyclotella radios*a (Cycrad) und *Actinocyclus normanii* (Actnor).

Die Linien veranschaulichen das konstante Volumen/Oberfläche-Verhältnis von 1 bzw. des Mittelwertes für die entsprechende Art. Die Datenpunktbeschriftung bei *Actinocyclus normanii* zeigt die Valvendurchmesser [μm] der zum jeweiligen Punkt gehörenden Frustel an.

[Datenbasis: lichtmikroskopisch gemessene Dimensionen einzelner Frusteln (Valvendurchmesser, Zellhöhen).]

A**B**

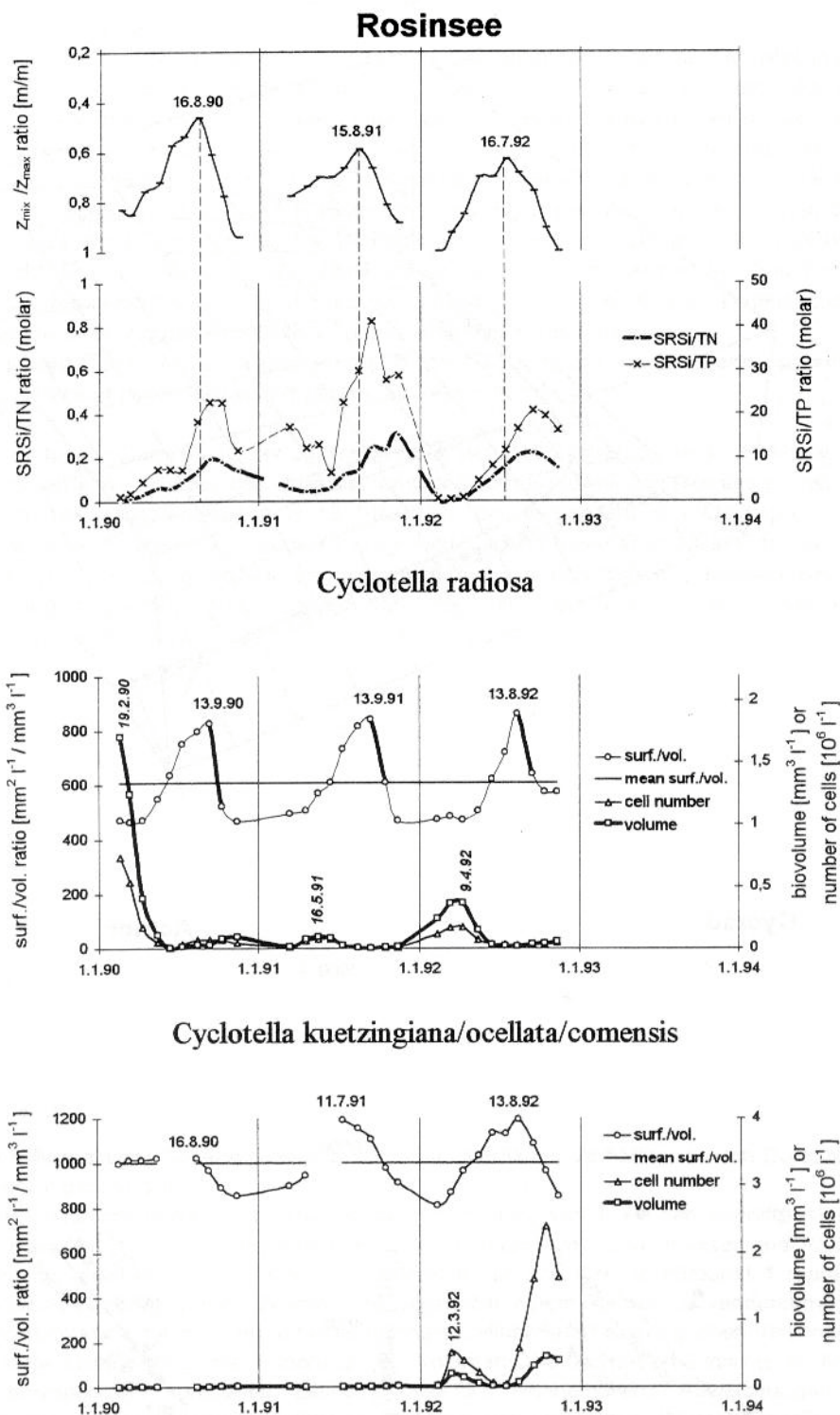


Abb. 69: Jahresdynamik der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse sowie Zellzahlen und Biovolumina bei *Cyclotella radiososa* und *Cyclotella kuetzingiana/ocellata/comensis* im Vergleich zur Jahresdynamik der Durchmischung des Wasserkörpers ($z_{\text{mix}}/z_{\text{max}}$) sowie der SRSi/TN- und SRSi/TP-Verhältnisse im Rosinsee. [Abkürzungen: z_{mix} - durchmischte Wasserschicht, z_{max} - maximale Gewässertiefe, **SRSi** - gelöstes reaktives Silizium, **TN** - Gesamt-Stickstoff, **TP** - Gesamt-Phosphor, **surf./vol.** - Oberfläche/Volumen-Verhältnis, **mean surf./vol.** - durchschnittliches Oberfläche/Volumen-Verhältnis im Gewässer (Mittelwert), **cell number** - Zellzahl, **volume** - Biovolumen.]

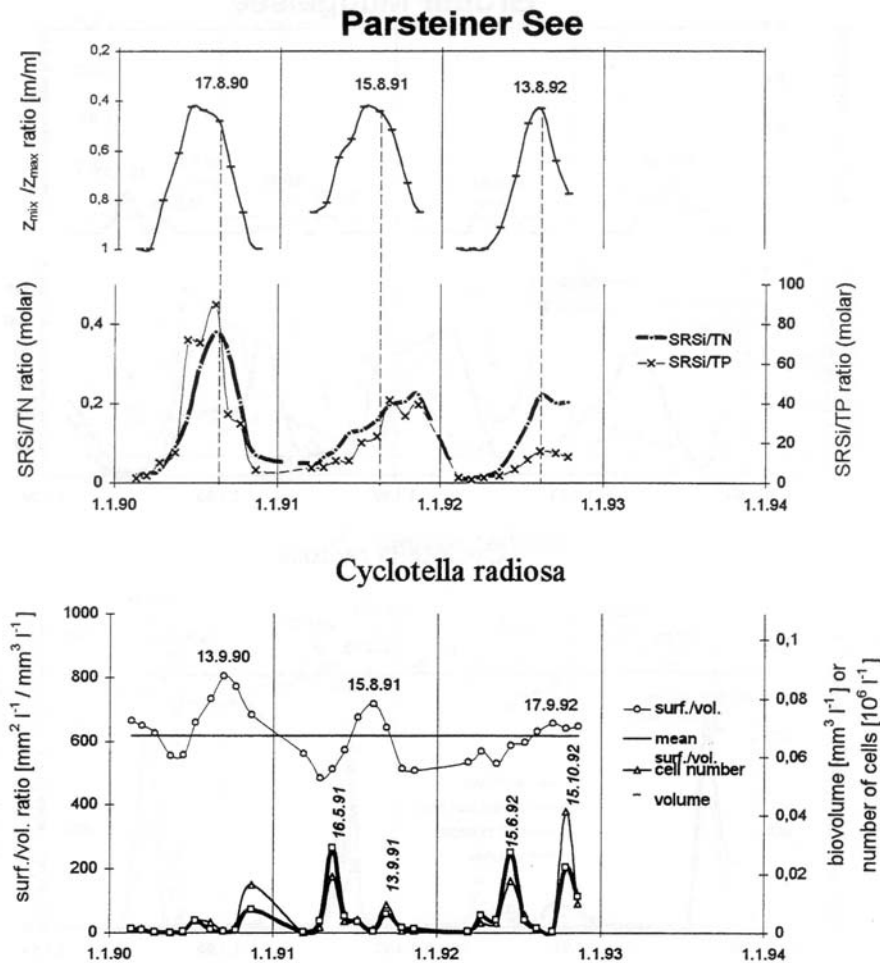


Abb. 70: Jahresdynamik der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse sowie Zellzahlen und Biovolumina bei *Cyclotella radiosa* im Vergleich zur Jahresdynamik der Durchmischung des Wasserkörpers (z_{mix}/z_{max}) sowie der SRSi/TN- und SRSi/TP-Verhältnisse im Parsteiner See.

Abkürzungen siehe Abb. 69.

Die mittleren Oberfläche/Volumen-Verhältnisse von *Cyclotella radiosa* ändern sich im Rosinsee gleichmäßig im Jahresverlauf (Abb. 69). Im Frühjahrsplankton liegen jeweils niedrige mittlere Oberfläche/Volumen-Verhältnisse vor. Somit dominieren zum Zeitpunkt der Frühjahrs-Massenentwicklung (19.2.1990, 16.5.1991, 9.4.1992) Frusteln mit einem großem Valvendurchmesser. Über den Zeitraum vom Winter bis zum August bzw. September des folgenden Jahres nehmen die mittleren Oberfläche/Volumen-Verhältnisse kontinuierlich zu, d. h. der Anteil der Frusteln mit einem geringen Valvendurchmesser wird kontinuierlich größer. Am 13.9.1990, 13.9.1991 bzw. 13.8.1992 liegen die höchsten mittleren Oberfläche/Volumen-Verhältnisse im Jahr vor. Zu diesem Zeitpunkt der einsetzenden Herbstzirkulation (minimale Schichtdicke der durchmischten Zone: 16.8.1990, 15.8.1991, 16.7.1992) und der maximalen SRSi-Konzentrationen in den Oberflächen-Proben setzt eine sprunghafte Zunahme des mittleren Oberfläche/Volumen-Verhältnisses ein (siehe fett markierte Kurvenabschnitte in Abb. 69). Der Anteil von extrem großschaligen Frusteln nimmt abrupt zu. Ungefähr innerhalb von 4 Wochen liegen nach dem extremen Maximum der mittleren Oberfläche/Volumen-Verhältnisse wieder mittelgroße Werte vor (siehe eingezeichnete Linie des Mittelwertes der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse).

Die eingipflige Kurve dieser Oberfläche/Volumen-Verhältnisse verdeutlicht, daß im Rosinsee nur einmal im Jahr und zwar zu einem klar definierten Zeitpunkt massiv die Abnahme der mittleren Oberfläche/Vo-

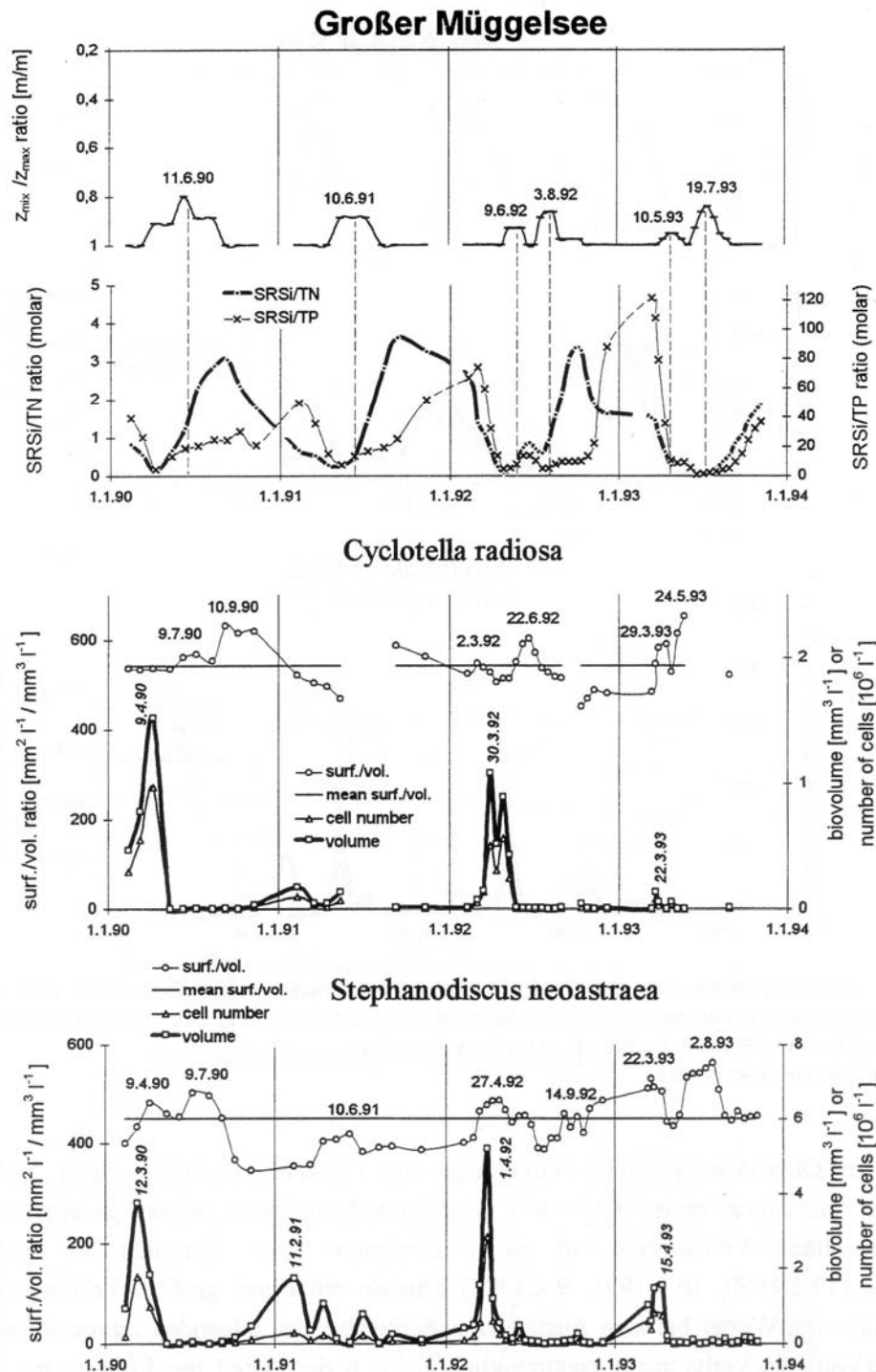


Abb. 71: Jahresdynamik der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse sowie Zellzahlen und Biovolumina bei *Cyclotella radiosa* und *Stephanodiscus neoastraea* im Vergleich zur Jahresdynamik der Durchmischung des Wasserkörpers (Z_{mix}/Z_{max}) sowie der SRSi/TN- und SRSi/TP-Verhältnisse im Großen Müggelsee. Abkürzungen siehe Abb. 69.

lumen-Verhältnisse von *Cyclotella radiosa* einsetzt (Phase generativer Fortpflanzung, siehe Kapitel 4. 10.), dagegen über weite Zeiträume die Zunahme der mittleren Oberfläche/Volumen-Verhältnisse allmählich „ohne Störung“ abläuft (Größenreduktion der Valvendurchmesser in der Phase vegetativer Zellteilungen, siehe Kapitel 4. 10.).

Bei *Cyclotella kuetzingiana/ocellata/comensis* deutet sich ein zeitlich ähnlicher Wechsel der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse an (eingipflige Kurve, siehe insbesondere 1992 in Abb. 69).

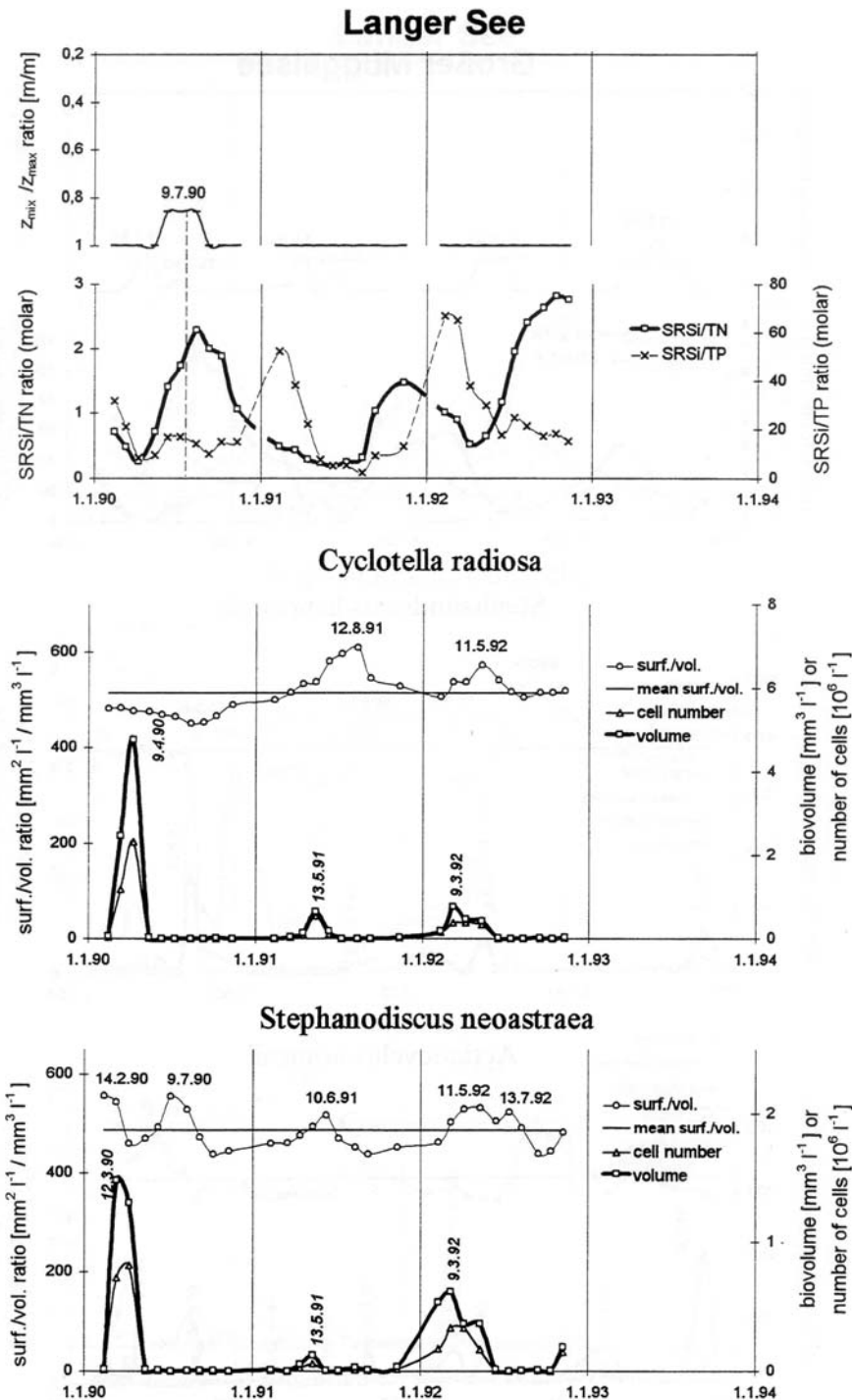


Abb. 72: Jahresdynamik der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse sowie Zellzahlen und Biovolumina bei *Cyclotella radiosa* und *Stephanodiscus neoastraea* im Vergleich zur Jahresdynamik der Durchmischung des Wasserkörpers (z_{mix}/z_{max}) sowie der SRSi/TN- und SRSi/TP-Verhältnisse im Langer See.

Abkürzungen siehe Abb. 69.

Auch im Parsteiner See zeigt sich für *Cyclotella radiosa* eine eingipflige Kurve über den gesamten Untersuchungszeitraum, obgleich sich, im Gegensatz zum Rosinsee, die Minima der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse nicht mit dem Jahreswechsel zeitlich überlagern (Abb. 70). Die Initialisierung zur Abnahme der mittleren Oberfläche/Volumen-Verhältnisse erfolgt jedoch wiederum zeitgleich zu den Jahresmaxima der SRSi-Konzentrationen.

Die beiden „dimiktischen, mesotrophen Seen“, der Rosinsee und der Parsteiner See, sind tiefe Seen mit stabiler Schichtung während der Sommerstagnation. Sie sind durch einen synchronen Wechsel der

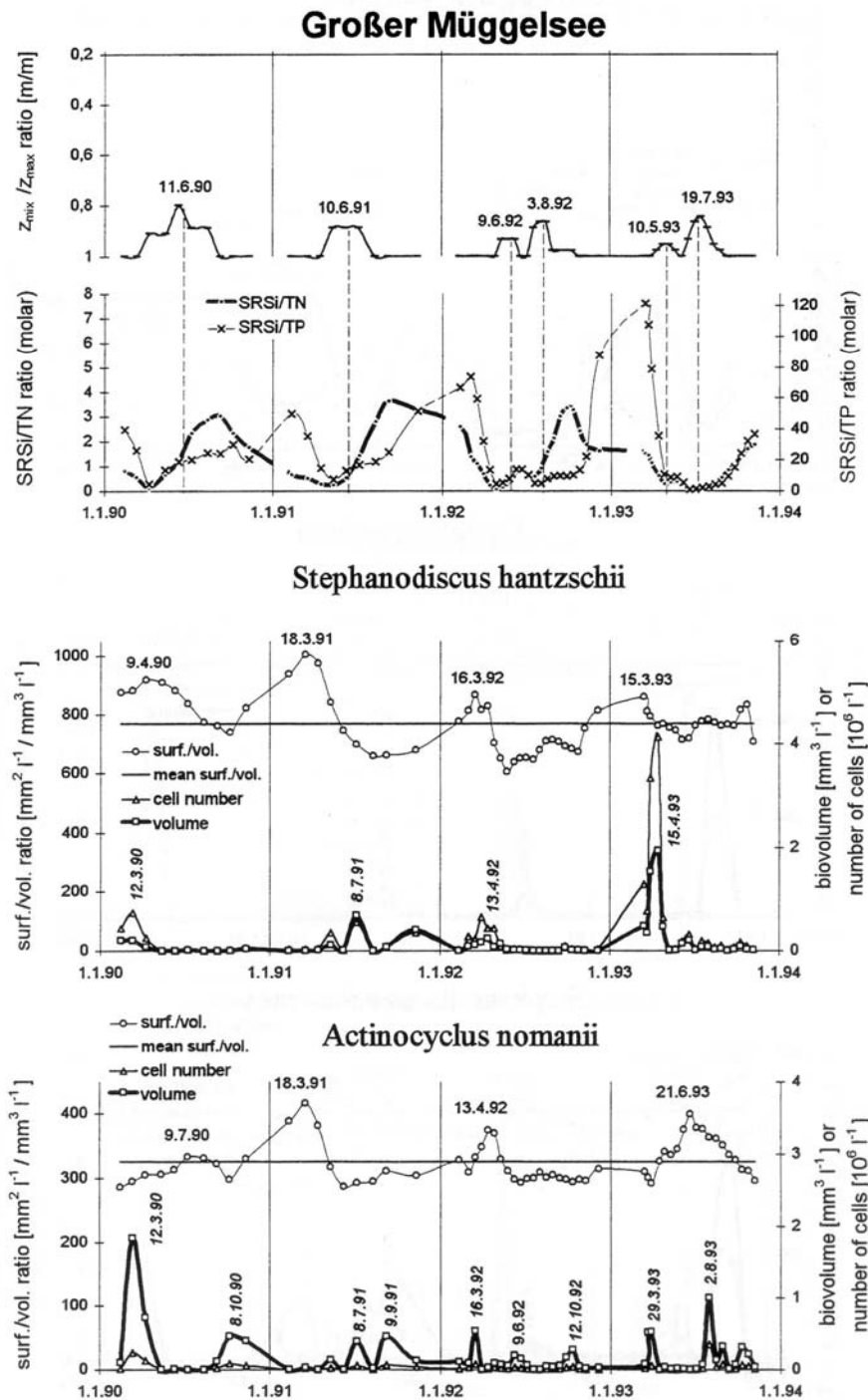


Abb. 73: Jahresdynamik der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse sowie Zellzahlen und Biovolumina bei *Stephanodiscus hantzschii* und *Actinocyclus nomanii* im Vergleich zur Jahresdynamik der Durchmischung des Wasserkörpers (Z_{mix}/Z_{max}) sowie der SRSi/TN- und SRSi/TP-Verhältnisse im Großen Müggelsee. Abkürzungen siehe Abb. 69.

SRSi/TN- und SRSi/TP-Verhältnisse, eine klare Präferenz des P-Limitationszustandes über das gesamte Jahr und ein einziges Jahresmaximum der SRSi-Konzentration gekennzeichnet. Nur in diesen beiden Gewässern konnten solch ausgeprägt monoton verlaufende Jahreswechsel der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse, wie sie hier am Beispiel von *Cyclotella radiosa* aufgezeigt wurden, beobachtet werden.

Mit den Abbn. 71-74 werden aus dem Großen Müggelsee und dem Langen See die Jahresverläufe der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse von 4 Bacillariophyceen-Arten - *Cyclotella radiosa*, *Stephanodiscus*

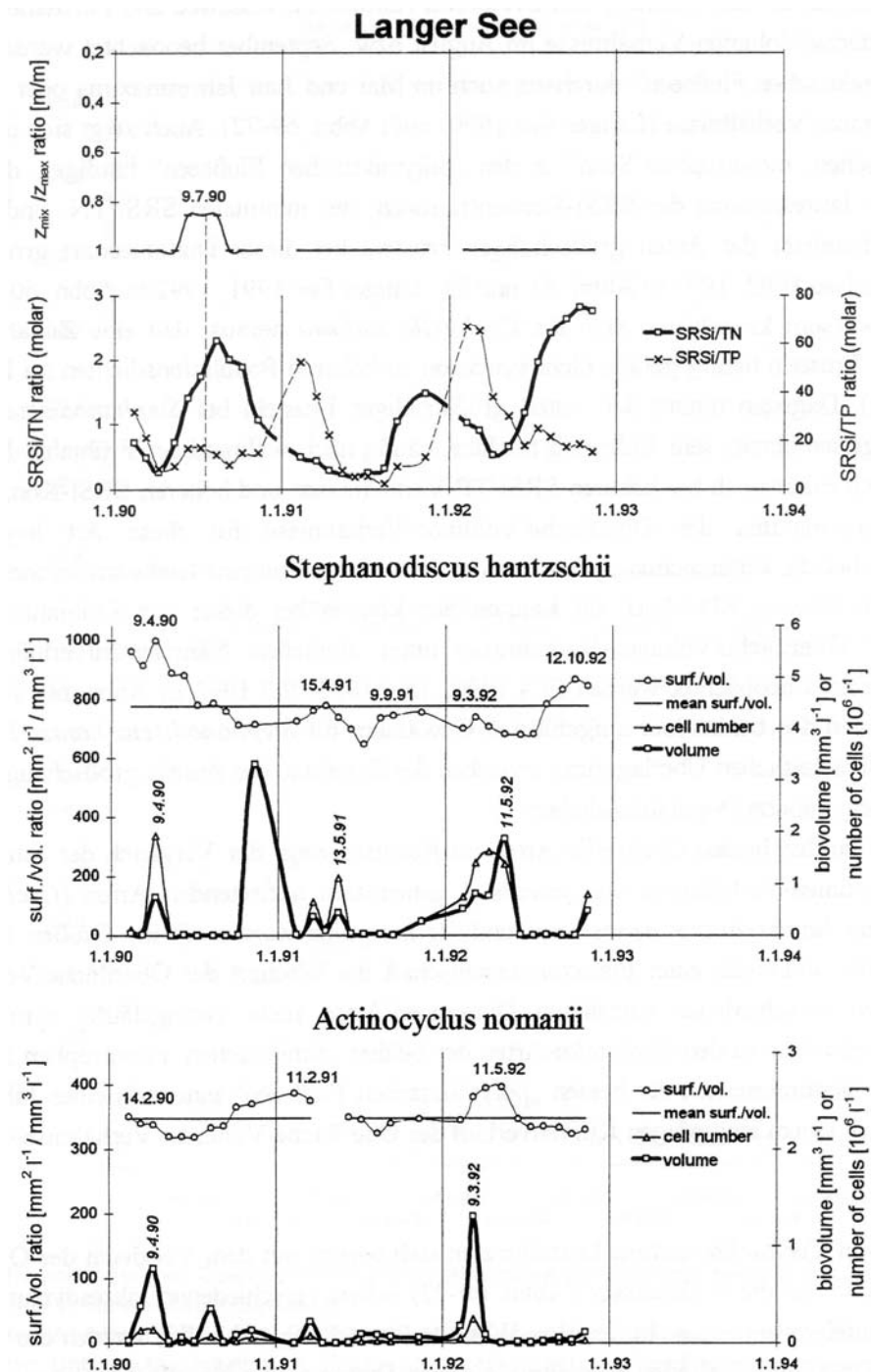


Abb. 74: Jahresdynamik der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse sowie Zellzahlen und Biovolumina bei *Stephanodiscus hantzschii* und *Actinocyclus nomanii* im Vergleich zur Jahresdynamik der Durchmischung des Wasserkörpers (Z_{mix}/Z_{max}) sowie der SRSi/TN- und SRSi/TP-Verhältnisse im Langer See. Abkürzungen siehe Abb. 69.

neoastraea, *Stephanodiscus hantzschii* und *Actinocyclus nomanii* - dargestellt. Im Gegensatz zu den beiden „dimiktischen, mesotrophen Seen“ sind für die beiden flachen „polymiktischen Flußseen“ instabile Schichtungen im Sommer, saisonale Wechsel der Nährelementverfügbarkeit (TN/TP, SRSi/TN, SRSi/TP) sowie zwei lokale Maxima der SRSi-Konzentration (Frühjahr und Herbst, siehe Abbn. 60 und 61) charakteristisch.

Für *Cyclotella radiosa* wird anhand des hier ausgewählten Gewässerspektrums offensichtlich, daß die Jahresdynamik der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse in den einzelnen Seen durchaus verschieden sein

kann. Während bei der Entwicklung von *Cyclotella radiosa* im Rosinsee und Parsteiner See die Maxima der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse im August bzw. September beobachtet werden, treten in den beiden „polymiktischen Flußseen“ durchaus auch im Mai und Juni Jahresmaxima oder auch mehr oder weniger konstante Verhältnisse (Langer See 1990) auf (Abbn. 69-72). Auch zeigt sich im Gegensatz zu den „dimiktischen, mesotrophen Seen“ in den „polymiktischen Flußseen“ häufiger, daß gerade zum Zeitpunkt der Jahresminima der SRSi-Konzentrationen, der minimalen SRSi/TN- und der minimalen SRSi/TP-Verhältnisse der Anteil großschaliger Frusteln bei dieser Diatomeenart größer wird (siehe Großer Müggelsee 1992, 1993 in Abbn. 61 und 71; Langer See 1991, 1992 in Abbn. 60 und 72).

In den 4 Gewässern kristallisiert sich für *Cyclotella radiosa* heraus, daß eine Zunahme des Anteils großschaliger Frusteln häufig gerade nicht synchron zu höheren Populationsdichten im Frühjahr abläuft (Abbn. 69-72). Dagegen nimmt der Anteil großschaliger Frusteln bei *Stephanodiscus hantzschii* im Großen Müggelsee bereits sehr frühzeitig im Jahr, häufig noch während der Frühjahrs-Massenentwicklung, und damit meist noch bei höheren SRSi/TP-Verhältnissen und höheren SRSi-Konzentrationen zu. Die Jahreshauptmaxima der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse für diese Art liegen hier recht gleichförmig über die Untersuchungsjahre hinweg deutlich im Frühjahr (siehe insbesondere Jahre 1991-1993 in Abbn. 61 und 73). Auch im Langen See können bei dieser Art Frühjahrsmaxima (lokale Maxima) der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse unter ähnlichen Nährelementverhältnissen wie im Großen Müggelsee beobachtet werden (9.4.1990, 15.4.1991, 9.3.1992 in Abbn. 60, 74). Damit zeigt sich zumindest in den beiden hier aufgeführten Gewässern für *Stephanodiscus hantzschii* eine stärkere Neigung zu einer zeitlichen Überlagerung zwischen der Zunahme des Anteils großschaliger Frusteln und der Entwicklung höherer Populationsdichten.

Im Gegensatz zu den beiden *Cyclotella*-Arten im Rosinsee zeigt der Vergleich der Jahresdynamik der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse von jeweils 4 gemeinsam auftretenden Arten (*Cyclotella radiosa*, *Stephanodiscus hantzschii*, *S. neoastrea* und *Actinocyclus normanii*) im Großen Müggelsee und Langen See, daß innerhalb einer Planktongemeinschaft die Wechsel der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse zwischen verschiedenen einzelligen Diatomeen-Arten nicht zwangsläufig synchron verlaufen müssen. Im Gegensatz zu den *Cyclotella*-Arten der beiden „dimiktischen, mesotrophen Seen“ treten bei den gezeigten Diatomeenarten der beiden „polymiktischen Flußseen“ innerhalb eines Jahres häufig Abweichungen von einem eingipfligen Kurvenverlauf der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse auf (Abbn. 71-74).

Am Beispiel von *Cyclotella radiosa* kristallisieren sich bereits mit dem Vergleich der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse für die 4 Gewässer (Abbn. 69-72) neben verschiedener Jahresdynamik auch unterschiedliche Mittelwerte heraus. In der Box-Whisker-Darstellung (Abb. 75) werden die Schwankungen der mittleren Oberfläche/Volumen-Verhältnisse dieser Diatomeenart für alle 11 untersuchten Gewässer zusammengestellt. Die Anordnung der Gewässer folgt dabei dem sinkenden Mittelwert der SRSi-Konzentrationen.

In den beiden „polymiktischen Flußseen“ mit starken Schwankungen der SRSi-Konzentrationen und hohen SRSi-Konzentrationen im Gewässer-Mittel, d. h. im Langen See und im Großen Müggelsee, werden für *Cyclotella radiosa* verhältnismäßig geringfügige Schwankungen der mittleren Oberfläche/Volumen-Verhältnisse sichtbar. Dagegen zeigen sich in den Gewässern mit wenig schwankender SRSi-Konzentration bei durchweg niedrigem Konzentrationsniveau große Änderungen der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse für diese Diatomeenart (siehe Rosinsee, Parsteiner See und Großer Plagesee).

Darüber hinaus veranschaulicht die Gekerbte Box-Whisker-Darstellung, daß in den Gewässern mit sehr niedrigen Mittelwerten der SRSi-Konzentrationen (Mittelwerte $< 7 \mu\text{mol l}^{-1}$), d. h. in der Krumme Lake, dem Großen Plagesee und dem Parsteiner See, signifikant höhere Medianwerte der Oberfläche/Volu-

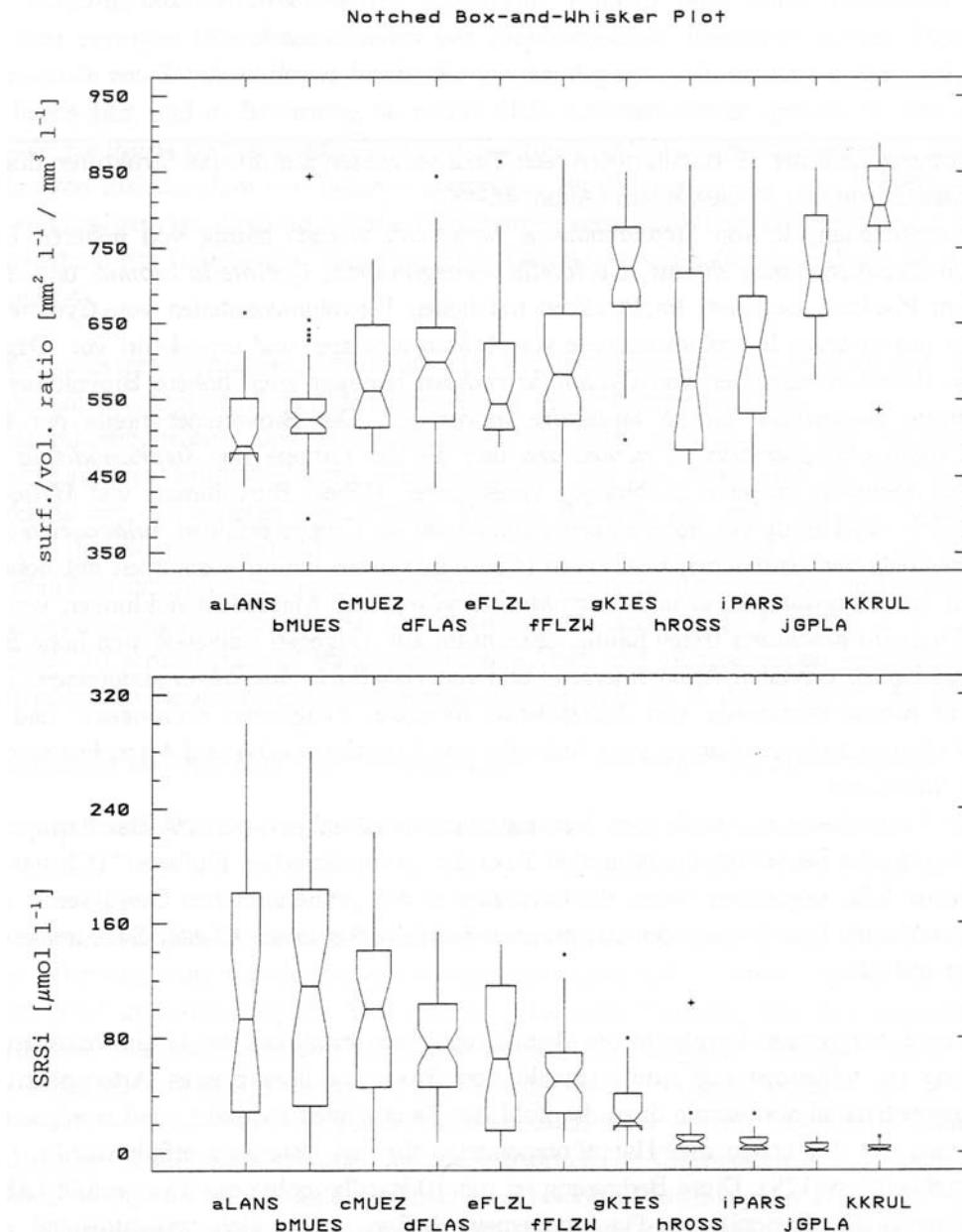


Abb. 75: Schwankungen der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse bei *Cyclotella radiosa* und der SRSi-Konzentrationen in den 11 untersuchten Gewässern.

[Gekerbte Box-Whisker-Darstellung, Datenbasis: Mittelwerte der Einzelproben mit *Cyclotella radiosa* über den gesamten Untersuchungszeitraum, Stichprobenumfang (n) für Oberfläche/Volumen-Verhältnisse und SRSi-Konzentrationen jeweils n=377, Gewässeranordnung von links nach rechts mit sinkendem Mittelwert der SRSi-Konzentrationen.]

men-Verhältnisse vorliegen als in den Seen mit sehr hohen mittleren SRSi-Konzentrationen, dem Langen See und dem Großen Müggelsee (Mittelwerte $> 110 \mu\text{mol l}^{-1}$).

Neben diesen gewässerspezifischen Schwankungen innerhalb einer Art zeigen sich aber gerade auch Unterschiede der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse zwischen den Arten. So liegen bei *Actinocyclus normanii* deutlich niedrigere Mittelwerte der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse als bei *Cyclotella radiosa* und *Stephanodiscus neoastraea* vor. Für *Stephanodiscus hantzschii* und *Cyclotella kuetzingiana/ocellata/comensis* dagegen sind relativ hohe Mittelwerte im Vergleich zu den vorigen 3 Diatomeenarten charakteristisch (Abbn. 69-74, siehe auch Vergleich der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse zwischen weiteren zentrischen, aber auch pennaten Bacillariophyceen-Taxa in Abb. 25).

Überblick

Die Biovolumenanteile der 29 Bacillariophyceen-Taxa verweisen auf diverse Strukturen des Bacillariophyceen-Planktons in den 11 Gewässern (Abbn. 46-48).

Höhere Biovolumenanteile von *Stephanodiscus hantzschii* werden häufig von höheren Biovolumenanteilen von *Cyclostephanos dubius*, *Cyclotella meneghiniana*, *Cyclotella atomus* und *Actinocyclus normanii* im Plankton begleitet. Im Plankton mit hohen Biovolumenanteilen von *Cyclotella radiosa* liegen meist nur niedrige Biovolumenanteile von *Aulacoseira* spp. und umgekehrt vor. Dagegen treten bei höheren Biovolumenanteilen von *Cyclotella radiosa* häufiger auch höhere Biovolumenanteile von *Stephanodiscus neoastrea* und *S. minutulus/parvus* auf. Die Biovolumenanteile der Gruppe um *Cyclotella radiosa/Stephanodiscus neoastrea* und die der Gruppe um *Stephanodiscus hantzschii/ Actinocyclus normanii* variieren unabhängig voneinander. Höhere Biovolumina von *Melosira varians* entwickeln sich unabhängig von höheren Biovolumina der als Gruppe erfaßten *Aulacoseira*-Arten. Hohe Biovolumenanteile der zentrischen Diatomeen (Centrales) treten häufig zusammen mit hohen Biovolumenanteilen von *Fragilaria ulna* und *Nitzschia acicularis* auf. Massenentwicklungen von *Fragilaria ulna* und *Nitzschia acicularis* treten häufig gemeinsam auf. Dagegen schließen sich hohe Biovolumenanteile dieser beiden pennaten Arten einerseits und von *Tabellaria flocculosa* andererseits im Plankton aus. Höhere Biovolumenanteile von *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis* und *Fragilaria construens* ergeben sich unabhängig vom Auftreten von *Fragilaria ulna* und *Nitzschia acicularis* bzw. *Tabellaria flocculosa*.

Eine grobe Untergliederung nach den Verbreitungsschwerpunkten der 29 Bacillariophyceen-Taxa (Abb. 48) ergibt eine Separation der typischen Taxa der „polymiktischen Flußseen“ (Cluster S1a, insbesondere Cluster S2a) gegenüber denen, die bevorzugt in den „mineralreichen Gewässern“, den „dimiktischen, mesotrophen Seen“ sowie den „dystrophen Seen“ vorkommen (Cluster S1b, insbesondere aber Cluster S2d und S2e).

Zugunsten eines prägnanten Vergleichs des Bacillariophyceen-Planktons der 11 Gewässer stützt sich die Untersuchung im folgenden auf eine Auswahl von Taxa aus dem breiten Artenspektrum. Mittels Hauptkomponentenanalysen wurde dazu die Zahl der Taxa soweit reduziert, daß wenigstens 60% der Gesamtvarianz mit den ersten drei Hauptkomponenten für den Datensatz erfaßt werden (Datenbasis: Saison-Mittelwerte, n=129). Diese Bedingung ist mit 10 Bacillariophyceen-Taxa erfüllt (Abb. 49). Die unterschiedlichen Bacillariophyceen-Planktongemeinschaften lassen sich weitestgehend anhand der Biovolumenanteile dieser 10 Taxa, der sogenannten repräsentativen Arten und Artengruppen, beschreiben (Abbn. 50, 51):

Actinocyclus normanii, *Aulacoseira* spp., *Cyclostephanos dubius*, *Cyclotella radiosa*,
Cyclotella kuetzingiana/ocellata/comensis, *Fragilaria ulna*, *Nitzschia acicularis*,
Stephanodiscus hantzschii, *Stephanodiscus neoastrea*, *Tabellaria flocculosa*.

Eine klare Ausnahme bei der Gewässerzuordnung bildet der Kiessee, der sowohl hinsichtlich des Diatomeenplanktons als auch einer Reihe limnologischer Parameter nicht uneingeschränkt in die Gruppe der mineralreichen Gewässer eingegliedert werden kann.

Nach dem Jointplot einer Kanonischen Korrespondenzanalyse (CCA, Abb. 52 A, B) ergeben sich die größten Unterschiede in der Zusammensetzung des Bacillariophyceen-Planktons durch höhere Biovolumenanteile von *Tabellaria flocculosa*, *Cyclotella kuetzingiana/ocellata/comensis* in den einen und *Stephanodiscus hantzschii* in den anderen Gewässern. Diese Unterschiede der Diatomeenplankton-Zusammensetzung werden hauptsächlich im Zusammenhang mit den sehr unterschiedlichen SRSi-Konzentrationen, aber auch mit den stark differierenden SRSi/TN-Verhältnissen und Chlorophyll-a-Konzentrationen in den untersuchten Gewässern gesehen.

In den „dimiktischen, mesotrophen Seen“, d. h. in den Gewässern mit stabiler Schichtung im Sommer und Winter und niedrigen SRSi-Konzentrationen, treten insbesondere höhere Biovolumenanteile von

Cyclotella kuetzingiana/ocellata/comensis, *Cyclotella radiosa* oder auch *Tabellaria flocculosa* gegenüber sehr geringen Biovolumenanteilen von *Stephanodiscus hantzschii* hervor. Hohe saisonale Biovolumenanteile von *Stephanodiscus hantzschii* werden dagegen insbesondere in den „polymiktischen Flußseen“ beobachtet und in Beziehung zu hohen SRSi-Konzentrationen gestellt. In den „dystrophen Seen“ mit sehr niedrigen Leitfähigkeiten und sehr niedrigen SRSi-Konzentrationen wird das Bacillariophyceen-Plankton insbesondere von höheren saisonalen Biovolumenanteilen von *Fragilaria ulna* und *Cyclotella radiosa* geprägt. Eine heterogene Bacillariophyceen-Planktonzusammensetzung spiegelt sich auch hier innerhalb der Gruppe der „mineralreichen Gewässer“ wider (ergänzend zur CCA siehe auch Abbn. 53 und 54).

Neben einer gewässerspezifischen Verbreitung der Bacillariophyceen-Taxa ergeben sich auch Unterschiede in der jahreszeitspezifischen Zusammensetzung des Diatomeenplanktons.

Aus der Hauptkomponenten- und Diskriminanzanalyse leitet sich ab, daß die Bacillariophyceen-Zusammensetzung des Frühjahrs- und Winterplanktons auf der einen und die des Sommer- und Herbstplanktons auf der anderen Seite relativ ähnlich, dagegen die des Frühjahrs/Winter-Planktons gegenüber der des Sommer/Herbst-Planktons recht unähnlich sind (Abbn. 55, 56 und 58). Insofern verläuft in dem hier untersuchten Gewässerspektrum der saisonale Artenwechsel im Bacillariophyceen-Plankton prinzipiell zeitgleich mit dem des Cyanophyceen-Planktons (siehe Kapitel 3. 2. 2. 2.).

Bei 4 Taxa der 10 repräsentativen Bacillariophyceen-Arten und -Artengruppen kristallisiert sich eine ausgeprägte jahreszeitspezifische Biovolumenentwicklung heraus (z. B. Abb. 56, 57, 59, 60-62):

Nitzschia acicularis und *Stephanodiscus neoastraea* = „Frühjahrs/Winter“-Arten

Aulacoseira spp. (vornehmlich *A. granulata*) und *Actinocyclus normanii*
= „Sommer/Herbst“-Arten.

Unterschiede zwischen dem Bacillariophyceen-Plankton und dem Cyanophyceen-Plankton ergeben sich somit in der Wichtung zwischen der saison- und gewässerspezifischen Verteilung der jeweiligen 10 repräsentativen Arten und Artengruppen. Während bei 7 Taxa der Cyanophyceen eine ausgeprägte jahreszeitspezifische Biovolumenentwicklung beobachtet werden kann, zeigen nur wenige Taxa der Bacillariophyceen eine deutlich jahreszeitbedingte Populationsentwicklung. Folglich kommen die gewässerspezifischen Unterschiede des Bacillariophyceen-Planktons auch nicht erst bei bestimmten Konstellationen der jahreszeitlichen Planktonentwicklung klar zum Ausdruck. Im Gegensatz zum Cyanophyceen-Plankton zeigen sich damit stärkere gewässerspezifische Unterschiede unabhängig von der saisonal verschiedenen Zusammensetzung des Bacillariophyceen-Planktons (vergleiche Abb. 35 mit Abb. 55).

Im Gegensatz zu der Gruppe der *Melosira* s. l. und den Pennales ergibt sich für die einzelligen zentrischen Diatomeen in allen untersuchten Gewässern eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Jahresdynamik der Biovolumenentwicklung.

Eine hohe Jahresdynamik aller drei Diatomeengruppen zeigt sich insbesondere in zwei „polymiktischen Flußseen“, dem Großen Müggelsee und dem Langen See, bei der im Jahresverlauf die saisonalen TN-, TP- und SRSi-Konzentrationen gleichermaßen in Relation zueinander variieren (Abb. 16). Obwohl der Große Müggelsee und der Lange See limnologisch sehr ähnlich sind, zeigt sich analog zu wechselnden Dominanzverhältnissen im Cyanophyceen-Plankton auch ein Wechsel in der Dominanzstruktur des Bacillariophyceen-Planktons.

Für den Langen See, gekennzeichnet durch „typische“ „*Oscillatoria*“-Jahre (Dominanz von *Planktothrix agardhii*), sind Massenentwicklungen von *Stephanodiscus hantzschii* gegenüber schwach ausgeprägter Biovolumenentwicklung von *S. neoastraea* charakteristisch (Abbn. 72, 74, 53). Dagegen treten im Großen Müggelsee in den „typischen“ „*Aphanizomenon flos-aquae*/Microcystis spp.“-Jahren höhere Biovolumina von *S. neoastraea* gegenüber relativ niedrigen Biovolumina von *S. hantzschii* im Frühjahr und Massenentwicklungen von *Aulacoseira* spp. (vornehmlich *A. granulata*) im Sommer auf (Abbn. 61, 71, 73).

Im Langen See 1991 und Großen Müggelsee 1993 entwickeln sich für das jeweilige Gewässer untypische Phytoplanktonstrukturen. Im Langen See wird der Dominanzwechsel zu *Aphanizomenon flos-aquae* von einer Massenentwicklung von *Melosira* s. l. (dominant: *Aulacoseira granulata*) begleitet (Abb. 60). Im Großen Müggelsee ergeben sich bei ausbleibender Frühjahrs-Massenentwicklung von *Limnithrix redekei* außergewöhnlich hohe Abundanzen von *Stephanodiscus hantzschii*, die zur Dominanz dieser Art gegenüber anderen Arten der einzelligen zentrischen Diatomeen führt (Abb. 73). Allein in diesen beiden Jahren mit der „untypischen“ Phytoplanktonentwicklung dominieren im Sommerplankton mit ca. 60 % Biovolumenanteil die Bacillariophyceen gegenüber den anderen Algengruppen (Abb. 63). Im Einklang dazu zeigt sich in der trigonalen Darstellung der normierten Konzentrationsverhältnisse gerade in diesen Jahren vom Frühjahr zum Sommer eine überproportionale Abnahme der SRSi-Konzentration gegenüber den anderen beiden Nährelementen TN und TP (Abb. 16: MUES 1993, LANS 1991).

Die mittleren Oberfläche/Volumen-Verhältnisse der Arten einzelliger zentrischer Diatomeen zeigen z. T. eine starke Dynamik im Jahresverlauf (Abbn. 69-74). An dem Beispiel von *Cyclotella radiosa* wird deutlich, daß der Wechsel der mittleren Oberfläche/Volumen-Verhältnisse sowohl in den einzelnen Gewässern als auch von Jahr zu Jahr recht unterschiedlich verlaufen kann. Auch ist eine Synchronisation der Wechsel der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse zwischen verschiedenen Arten einer Phytoplanktongemeinschaft eher die Ausnahme als die Regel (weitestgehend synchroner Verlauf zwischen *Cyclotella radiosa* und *C. kuetzingiana/ocellata/comensis* im Rosinsee; wenig Übereinstimmung im Jahreswechsel der mittleren Oberfläche/Volumen-Verhältnisse zwischen *Cyclotella radiosa*, *Stephanodiscus hantzschii*, *S. neoastrea* und *Actinocyclus normanii* im Großen Müggelsee bzw. Langen See). Währenddessen bei *Cyclotella radiosa* der Anteil großschaliger Frusteln (d. h. Frusteln mit großem Valvendurchmesser) häufig im Sommer bzw. Herbst und damit entkoppelt von der Frühjahrs-Massenentwicklung zunimmt, erhöht sich der Anteil großschaliger Frusteln bei *S. hantzschii* im Großen Müggelsee und Langen See recht frühzeitig im Jahr und damit häufig noch unter höheren Populationsdichten.

Am Beispiel von *Cyclotella radiosa* zeigt sich, daß die mittleren Oberfläche/Volumen-Verhältnisse einer Art zwischen den 11 Gewässern erheblich variieren können (Box-Whisker-Darstellung Abb. 75). In den Gewässern mit sehr niedrigen Mittelwerten der SRSi-Konzentrationen (Mittelwerte $< 7 \mu\text{mol l}^{-1}$), d. h. in der Krummen Lake, dem Großen Plagesee und dem Parsteiner See, liegen signifikant höhere Medianwerte der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse als in den Seen mit sehr hohen mittleren SRSi-Konzentrationen (Mittelwerte $> 110 \mu\text{mol l}^{-1}$), dem Langen See und dem Großen Müggelsee, vor. In den beiden „polymiktischen Flußseen“ mit starken Schwankungen der SRSi-Konzentrationen und hohen SRSi-Konzentrationen im Gewässer-Mittel (LANS, MUES) werden für *Cyclotella radiosa* verhältnismäßig geringfügige Schwankungen der mittleren Oberfläche/Volumen-Verhältnisse sichtbar. Dagegen zeigen sich in den Gewässern mit wenig schwankenden SRSi-Konzentrationen bei durchweg niedrigem Konzentrationsniveau große Änderungen der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse dieser Diatomeenart (siehe Rosinsee, Parsteiner See und Großer Plagesee).

Neben den gewässerspezifischen Schwankungen innerhalb einer Art zeigen sich aber gerade auch Unterschiede der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse zwischen den Arten (Abb. 25, siehe auch „mean surf./vol.“ in Abbn. 69-74).

Publikationen zu den hier vorliegenden Untersuchungen: TEUBNER et al. 1996.

3. 2. 2. 4. Dominanz von Arten verschiedener Algenklassen

Ungeachtet der z. T. beachtlichen Biovolumenanteile der Cyanophyceen und Bacillariophyceen, entwickeln auch Arten weiterer Algenklassen höhere Populationsdichten in den Phytoplanktongemeinschaften im untersuchten Gewässerspektrum (Abb. 19 B). So nehmen die Chlorophyta s. l. im Rosinsee (ca. 42 %) und Kiessee (ca. 25 %) größere Anteile am Gesamtbiovolumen ein. In dem Großen Plagesee, dem Flakensee einschließlich seiner beiden Zuflüsse und dem Parsteiner See ergeben sich mit 19 bis 29 % auch für die Cryptophyceen beachtenswerte Biovolumenanteile. Im Kiessee, Großen Plagesee, Flakensee-Zufluß Woltersdorfer Schleuse, Parsteiner See und Rosinsee bestimmen zugleich die Dinophyceen mit 18 bis 22% Biovolumenanteil erheblich die Zusammensetzung der Phytoplanktongemeinschaften. Dagegen ist der Biovolumenanteil der Chrysophyceen in allen Gewässern vernachlässigbar gering.

Abb. 76 A (HCA) und Abb. 77 (PCA) zeigen die Ähnlichkeit der untersuchten Gewässerjahre hinsichtlich ihrer Phytoplankton-Zusammensetzung. Sie stützen sich dabei auf die Jahresmittelwerte der Biovolumina von 32 dominanten Arten und Artengruppen.

Ausgehend von den Biovolumina von insgesamt 140 Algentaxa wurden für den Vergleich der Phytoplanktonzusammensetzung der 11 Gewässern 58 dominante Arten und Artengruppen (mit relativem Biovolumen >10% im Saisonmittel) primär ausgewählt. Eine weitere Reduktion auf 32 Taxa wurde über PCAs schrittweise vorgenommen (Variablenreduktion siehe ausführlich in Kapitel 3. 2. 2. 1.). Das Biovolumen dieser 32 extrahierten Taxa ging in die HCA (Abb. 76) und PCA (Abb. 77) ein.

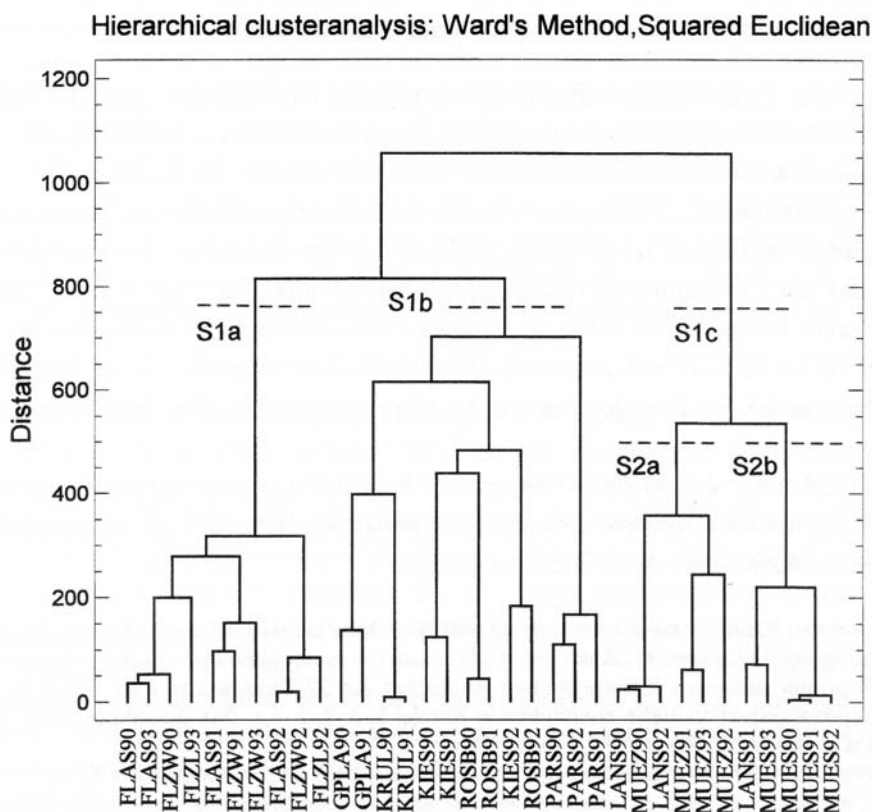
Die repräsentativen Cyanophyceen- und Bacillariophyceen-Arten und -Artengruppen finden sich nicht in voller Anzahl unter den 32 Taxa wieder. Dies liegt zum einen darin begründet, daß bei der Variablenreduktion jener repräsentativen Arten und Artengruppen auch Taxa mit einem geringeren Biovolumen-Mindestanteil (5 % am Saison-Mittelwert) Berücksichtigung fanden. Aufgrund der Flut von 140 Taxa wurde jedoch hier der Schwellenbetrag willkürlich auf 10 % erhöht. Zum anderen deuten die z. T. erheblichen Biovolumenanteile der Chlorophyta s. l., Cryptophyceen und Dinophyceen - insbesondere in solchen Phytoplanktongemeinschaften, in denen nicht die Cyanophyceen- und/oder Bacillariophyceen dominieren - an, daß unter Einbeziehung eines weiten Algenklassenspektrums die Taxa der Blau- und Kieselalgen nicht allein im Vordergrund stehen und somit auch Arten weiterer Algenklassen eine höhere diskriminatorische Bedeutung gegenüber einzelnen Vertretern der 10 repräsentativen Blau- und Kieselalgentaxa gewinnen können.

Die Gruppierung der Seen stimmt weitestgehend (HCA, Abb. 76 A) bzw. klar (PCA, Abb. 77) mit der Gruppenbildung entsprechend der limnologischen Charakteristik überein. Dies verweist darauf, daß sich mit der reduzierten Anzahl von nur 32 Arten und Artengruppen die unterschiedlichen Phytoplanktongemeinschaften repräsentativ widerspiegeln lassen.

Allein die Einordnung des Kieselsees ist nicht stabil. Obwohl der Kiessee nach einer Reihe von limnologischen Parametern der Gruppe der „mineralreichen Gewässer“ zugeordnet wurde, ist sein Phytoplanktonstruktur nach der HCA eher mit der der „dimiktischen, mesotrophen Seen“ als mit der der „Flakenseeegruppe“ (FLAS, FLZW, FLZL) vergleichbar (Abb. 76 A, siehe auch Bacillariophyceen-Plankton in Kapitel 3. 2. 2. 3. 1.). Auch in der Darstellungsebene der 1. und 2. Hauptkomponente der PCA zeigt sich deutlich, daß die drei Objektpunkte des Kieselsees nur als Randgruppe den „mineralreichen Gewässern“ zugeordnet liegen (Abb. 77).

Darüber hinaus ergibt sich sowohl aus der HCA (Abb. 76 A) als auch der PCA (Abb. 77) eine Abstufung in der Ähnlichkeit zwischen den Gewässergruppen. So zeigt sich beispielsweise, daß sich die Phytoplanktonzusammensetzung der „polymiktischen Flußseen“ deutlich von denen der anderen untersuchten Gewässer unterscheidet (HCA: Cluster S1c; PCA: Beachte Dispersion der Objektpunkte entlang der 1. Hauptkomponente). Innerhalb der Gruppe der „polymiktischen Flußseen“ deuten sich jedoch mit den Clustern S2a und S2b wechselnde Phytoplanktonstrukturen für den Untersuchungszeitraum im Langen See und Großen Müggelsee an (siehe 1991 Langer See und 1993 Großer Müggelsee; siehe insbesondere in Kapitel 3. 2. 2. 2. und 3. 2. 2. 3. 2.).

A Grouping of waters by mean annual biovolume of species



B Grouping of species by mean annual biovolume

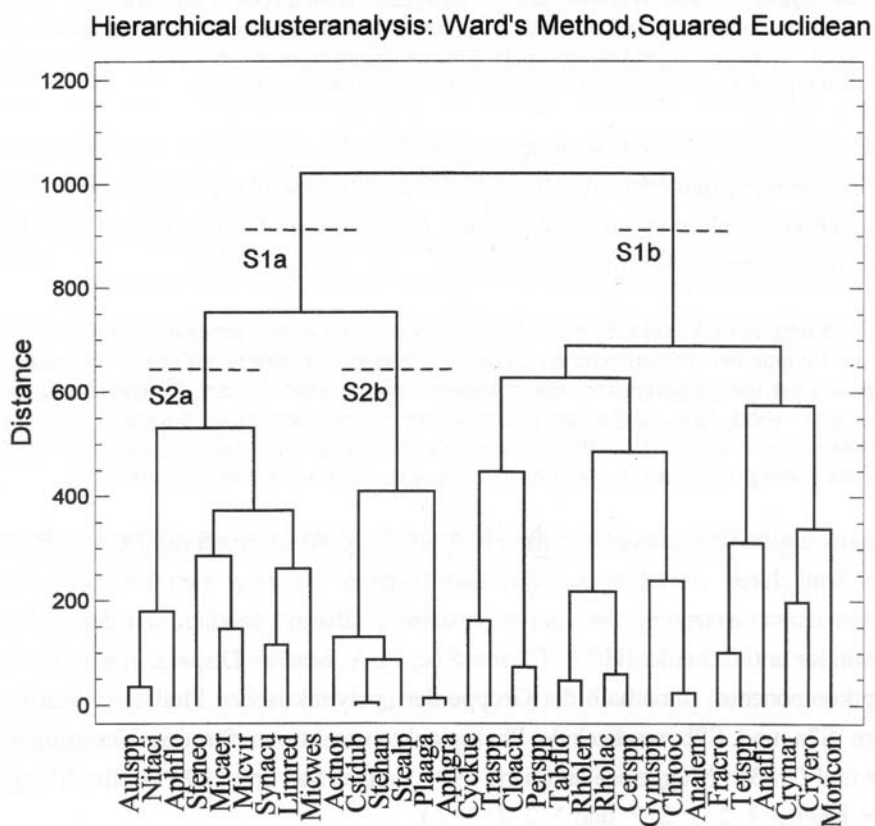


Abb. 76 A-B: HCA - Gruppierung der 34 Gewässerjahre (A) bzw. der Algenarten und -artengruppen (B) entsprechend der mittleren Biovolumen-Anteile ausgewählter 32 Taxa.

[Dendrogramm-Darstellung der HCA, Datenbasis: Gewässer-Jahresmittelwerte, Extraktion der 32 Algentaxa nach schrittweiser Variablenreduktion durch Hauptkomponentenanalysen, Abkürzung der Gewässernamen siehe Abb. 18; Algennamen in Abb. 76 B von links nach rechts (→ siehe Mikrofotografien der Tafeln I-X): *Aulacoseira* spp. →^{IV}, *Nitzschia acicularis* →^{VI}, *Aphanizomenon flos-aquae* →^{III}, *Stephanodiscus neoastraea* →^V, *Microcystis aeruginosa* s. l. →^I, *Microcystis viridis* →^I, *Fragilaria ulna*, *Limnithrix redekei*, *Microcystis wessenbergii* →^I, *Actinocyclus normanii* →^{IV}, *Cyclostephanos dubius* →^{VI}, *Stephanodiscus hantzschii* →^V, *Stephanodiscus alpinus/medius* →^V, *Planktothrix agardhii*, *Aphanizomenon gracile* →^{III}, *Cyclotella kuetzingiana/ocellata/comensis* →^{VII, VIII}, *Trachelomonas* spp., *Closterium acutum*, *Peridinium* spp., *Tabellaria flocculosa* →^{VI}, *Rhodomonas lens* →^{IX}, *Rhodomonas lacustris* →^{IX}, *Ceratium* spp., *Gymnodinium* spp., *Chroococcus* spp., *Anabaena lemmermannii*, *Fragilaria crotonensis*, *Tetraselmis* spp. →^{IX}, *Anabaena flos-aquae* →^{III}, *Cryptomonas marssonii*, *Cryptomonas erosa/ovata* →^{IX}, *Monoraphidium contortum*.]

Principal Components Analysis including 32 species

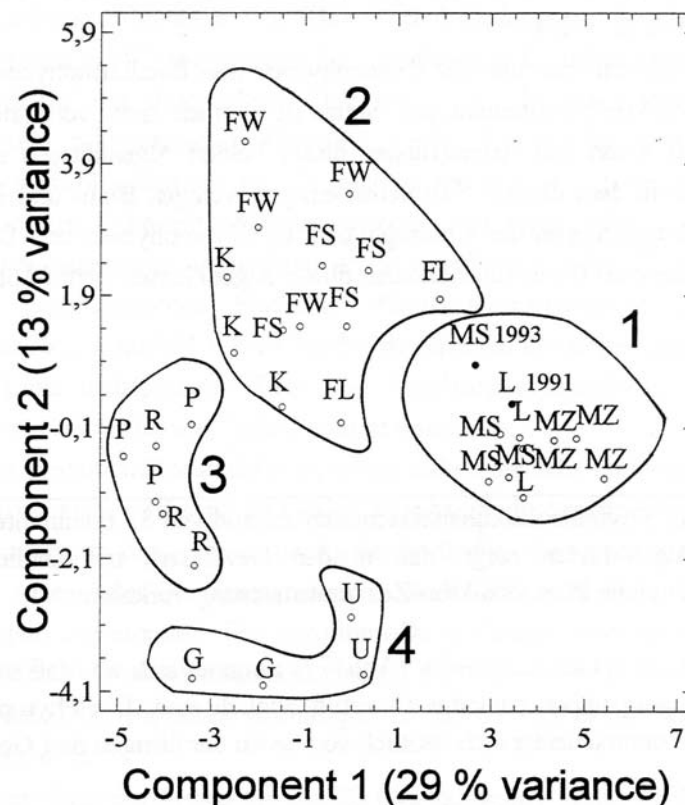


Abb. 77: PCA - Gruppierung der 34 Gewässerjahre entsprechend der mittleren Biovolumenanteile ausgewählter 32 Algentaxa.

Die Objektpunkte wurden entsprechend der limnologisch definierten Gruppen eingekreist: 1- „polymiktische Flußseen“, 2- „mineralreiche Gewässer“, 3- „dimiktische, mesotrophe Seen“, 4- „dystrophe Seen“.

[Datenbasis wie in Abb. 76; Objektdarstellung einer PCA, Abkürzungen: FS-Flakensee, FL-Flakensee-Zufluß Löcknitz, FW-Flakensee-Zufluß Wolt. Schleuse, G-Großer Plagesee, K-Kiessee, L-Langer See, MS-Großer Müggelsee, MZ-Müggelsee-Zufluß, P-Parsteiner See, R-Rosinsee, U-Krumme Lake].

Abb. 76 B basiert auf demselben Datensatz wie Abb. 77 A und zeigt die Gruppierung der 32 dominanten Arten und Artengruppen entsprechend der jährlichen Biovolumina je Gewässer (Algennamen siehe Abbildungstext). Mit der 1. Schnittebene zeigt sich dabei eine Aufgliederung der Taxa entsprechend dem Verbreitungsschwerpunkt in den hocheutrophen (S1a) bzw. eutroph-mesotrophen (S1b) Gewässern (S1a: insbesondere Algen der „polymiktischen Flußseen“, aber auch der „mineralreichen Gewässer“,

vergleiche dazu Artenliste Tabelle III; S1b: insbesondere Algen der „dimiktischen, mesotrophen Seen“ und dystrophen Seen“).

Die Schnittebene 2 spiegelt dagegen die unterschiedliche Dominanzstruktur zwischen den „*Oscillatoria*“- (S2b) und den „*Aphanizomenon flos-aquae*/*Microcystis* spp.“-Jahren (S2a) innerhalb der Gruppe der untersuchten Gewässerjahre der „polymiktischen Flußseen“ wider. Währenddessen das „*Oscillatoria*“-Plankton neben einer Massenentwicklung von *Planktothrix agardhii* insbesondere durch *Aphanizomenon gracile*, *Stephanodiscus hantzschii*, *Cyclostephanos dubius* und *Actinocyclus normanii* gekennzeichnet ist, sind für das „*Aphanizomenon flos-aquae*/*Microcystis* spp.“-Plankton neben *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa* s. l. und *M. viridis* auch höhere Biovolumina u. a. von *Stephanodiscus neoastraea* und *Aulacoseira*-Arten charakteristisch. Die Gegenüberstellung einzelner Gewässerjahre verweist darauf, daß innerhalb der „polymiktischen Flußseen“ ein Wechsel in der Phytoplanktonstruktur zwischen den „typischen“ „*Oscillatoria*“- (LANS 1990, 1992) und „*Aphanizomenon flos-aquae*/*Microcystis* spp.“-Jahren (MUES 1991-1992) abläuft (LANS 1991, MUES 1993; Abbn. 76 A, 77). Damit zeigt sich hier, daß nicht nur innerhalb einer Gewässergruppe, sondern sogar innerhalb eines einzelnen Gewässers (insbesondere im Langen See) im Verlauf mehrerer Jahre wechselnde Dominanzstrukturen im Plankton auftreten können (siehe detailliert in Kapitel 3. 2. 2. 2. und 3. 2. 2. 3. 2.).

In den „polymiktischen Flußseen“ nehmen die Cyanophyceen und Bacillariophyceen zwischen 88 und 94 % des Gesamt-Phytoplanktonbiovolumens ein. Somit ist es auch nicht verwunderlich, daß in dem Cluster S1a ausschließlich Arten und Artengruppen dieser beiden Algenklassen einander zugeordnet liegen. Dagegen finden sich in dem Cluster S1b neben einigen wenigen Blau- und Kieselalgentaxa eine Vielzahl von Arten und Artengruppen der Chlorophyta s. l., Cryptophyceen und Dinophyceen wieder, was im Einklang zu den höheren Biovolumenanteilen dieser Algenklassen steht (Abb. 19 B).

Überblick

Eine Differenzierung der 11 Phytoplanktongemeinschaften anhand von 32 dominanten Arten und Artengruppen verschiedener Algenklassen zeigt, daß in den Gewässern ähnlicher limnologischer Charakteristik auch eine ähnliche Phytoplankton-Zusammensetzung vorkommt.

Sowohl in der HCA (Abb. 76 A) als auch PCA (Abb. 77) zeichnet sich ab, daß die Phytoplanktongemeinschaften der 4 Gewässergruppen einander abgestuft ähnlich sind. Die Phytoplanktonstruktur der „polymiktischen Flußseen“ unterscheidet sich deutlich von der der übrigen drei Gewässergruppen.

Innerhalb der „polymiktischen Flußseen“ treten verschiedene Phytoplanktonstrukturen in den „typischen“ „*Oscillatoria*“- (LANS 1990, 1992) und „*Aphanizomenon flos-aquae*/*Microcystis* spp.“-Jahren (MUES 1991-1992) auf (Abbn. 76 A-B, 77). Darüber hinaus zeigt sich hier, daß nicht nur innerhalb einer Gewässergruppe, sondern sogar innerhalb eines einzelnen Gewässers (insbesondere im Langen See) im Verlauf mehrerer Jahre wechselnde Dominanzstrukturen im Plankton auftreten können.

Die limnologisch gefaßte Gruppe der „mineralreichen Gewässer“ umfaßt Gewässer recht unterschiedlicher Dominanzstrukturen der Phytoplanktons (Heterogenität innerhalb der Gewässergruppe siehe auch Kapitel 3. 2. 2. 3.).

Publikationen zu den hier vorliegenden Untersuchungen: TEUBNER et al. 1996.

4. Diskussion

4. 1. Übereinstimmung zwischen limnologischer und planktologischer Gruppenbildung

Die limnologisch ähnlichen Gewässer, die hier in „polymiktische Flußseen“, „mineralreiche Gewässer“, „dimiktische, mesotrophe Seen“ und „dystrophe Seen“ gruppiert werden, weisen auch ein mehr oder weniger ähnlich zusammengesetztes Phytoplankton auf. Umgekehrt kann allgemein gezeigt werden, daß sich in limnologisch verschiedenen Gewässergruppen zugleich differenzierte Algen-Dominanzstrukturen des Phytoplanktons entwickeln (Abbn. 32, 51, 76 A).

Die zwei unabhängig durchgeführten Gewässergruppierungen, d. h. die limnologisch definierte Gruppenbildung und die über die Phytoplanktonstrukturen bestimmte Gruppenbildung, decken sich damit weitestgehend.

Diese gute Übereinstimmung der planktologischen mit der limnologischen Gruppenbildung zeigt sich mehrfach auf der Basis von Biovolumenanteilen der Arten und Artengruppen, nicht aber anhand der Biovolumenanteile höherer Algentaxa wie Klassen und Ordnungen. So ähnelt aufgrund der extrem hohen Biovolumenanteile der Cyanophyceen die Algenklassen-Dominanzstruktur der Krummen Lake - ein eutrophes Gewässer mit dystrophem Charakter - der Dominanzstruktur der ebenfalls durch Blaualgen dominierten „polymiktischen Flußseen“ (Abb. 20 A und B). Erst ein Vergleich der Arten-Zusammensetzung, sowohl qualitativ (i) als auch quantitativ (ii), zeigt, daß die Phytoplanktongemeinschaft der Krummen Lake mit der eines weiteren hier untersuchten dystrophen Gewässers, des Großen Plagesees, weitestgehend vergleichbar ist (i: Artenliste Tabelle III, ii: Abbn. 32, 51, 76 A, 77). Während in den „polymiktischen Flußseen“ *Planktothrix agardhii*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa* s. l. und *M. viridis* zu den dominanten Cyanophyceen-Arten zählen, entwickeln in der Krummen Lake insbesondere Taxa wie *Planktolyngbya subtilis*, *Microcystis wesenbergii*, *Woronichinia* spp. und *Snowella* spp. hohe Populationsdichten.

Bei Vergleichen von Phytoplanktonstrukturen, insbesondere bei sehr umfangreichen Gewässerspektren, werden häufig multivariate statistische Methoden angewandt. Insbesondere Clusteranalysen, aber auch Hauptkomponentenanalysen, dienen dabei häufig der grafischen Präsentation der Abstufung in den Ähnlichkeiten zwischen Arten- oder Gewässergruppen (z. B. VARIS et al. 1989, HOLZMANN 1994).

Dennoch widerspiegeln insbesondere Dendrogramm-Darstellungen nicht zwangsläufig die Wesenszüge der Unterschiede in den Phytoplanktongemeinschaften. Häufig wird in einem Dendrogramm eine „Überfülle“ von Arten in die Gruppenbildung einbezogen, so daß die eigentliche Dominanzstruktur des Phytoplanktons verschleiert wird.

Bezogen auf das ursprüngliche Spektrum von 28 Cyanophyceen- bzw. 29 Bacillariophyceen-Taxa ergeben sich für mehrere Arten unterschiedliche Gruppenzuordnungen zwischen der HCA- und der PCA-Gruppenbildung (Abbn. 27-29 und 46-48). Diese Widersprüchlichkeit in der Gruppenbildung bringt zum Ausdruck, daß sich anhand dieses weiten Artenspektrums nicht sehr charakteristisch die Unterschiede in der Phytoplanktonstruktur widerspiegeln lassen. Erst nach Reduktion der Anzahl von Arten, d. h. nach der Selektion der charakteristischen Arten der Phytoplanktongemeinschaften, sind die Gruppierungen der HCA mit der der PCA weitestgehend identisch (stabile Arten-Gruppenbildung, Abbn. 30, 31 und 49, 50). Anhand dieser wenigen Taxa, der 10 sogenannten repräsentativen Cyanophyceen- bzw. Bacillariophyceen-Arten und -Artengruppen, läßt sich dann auch die differenzierte Phytoplankton-Zusammensetzung für die 4 Gewässergruppen hinreichend genau beschreiben. Somit zeigt die vorliegende Arbeit, daß eine Reduktion der Anzahl der Arten (Variablenreduktion durch PCAs) geeignet ist, wesentliche Unterschiede in der Phytoplanktonstruktur klar herauszustellen.

Tab. V: Zahl der Gewässer, in denen die repräsentativen Cyanophyceen- und Bacillariophyceen-Arten und -Artengruppen beobachtet wurden (siehe Artenliste Tabelle III, S. 68-71):

Taxon	Gewässerzahl
<i>Aulacoseira</i> spp., <i>Anabaena flos-aquae</i> , <i>Actinocyclus normanii</i> , <i>Cyclostephanos dubius</i> , <i>Cyclotella kuetzingiana/ocellata/comensis</i> , <i>Cyclotella radiosa</i> , <i>Fragilaria ulna</i> , <i>Stephanodiscus hantzschii</i> , <i>Stephanodiscus neoastraea</i> , <i>Microcystis aeruginosa</i>	11
<i>Aphanizomenon gracile</i> , <i>Limnithrix redekei</i>	10
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Planktolyngbya subtilis</i> , <i>Planktothrix agardhii</i>	9
<i>Anabaena lemmermannii</i> , <i>Microcystis wesenbergii</i>	8
<i>Nitzschia acicularis</i>	7
<i>Microcystis viridis</i>	6
<i>Tabellaria flocculosa</i>	4

Die Mehrzahl dieser repräsentativen Arten treten in allen oder fast allen 11 Gewässern auf (Tabelle V). Damit lassen sich - auf der Basis von Biovolumenanteilen - die Unterschiede der Phytoplanktongemeinschaften gerade durch die stetig vorkommenden und weniger durch die seltener beobachteten Arten im Gewässerspektrum beschreiben.

Die Qualität der hier durchgeführten Phytoplanktonanalyse ergibt sich aus dem Umstand, daß mit den Biovolumenanteilen ein metrischer Datensatz genutzt wird. Ein metrischer Datensatz besitzt den höchsten Informationsgehalt gegenüber nominal- und ordinal-skalierten Datensätzen (HENRION et al. 1988). Bei einer Phytoplanktonanalyse, die sich auf einen binär codierten Datensatz zum Vorkommen der Arten stützt, d. h. „Art nicht vorhanden, Art vorhanden“, gewinnen **zwangsläufig** die unsteten Arten diskriminatorische Bedeutung. Dagegen ergibt sich auf der Basis der Biovolumenanteile a priori keine gerichtete Selektion zwischen seltenen und häufig vorkommenden Arten im Datensatz. Hierin liegt der Vorteil der hier durchgeführten Phytoplanktonanalyse.

Die diskriminatorische Bedeutung der repräsentativen Arten liegt insbesondere in den gewässer- und/oder seasonspezifisch extrem variierenden Biovolumenanteilen begründet. Unabhängig davon, ob diese repräsentativen Arten häufig oder selten über das gesamte Gewässerspektrum vertreten sind, erreichen sie nur in wenigen Gewässern und/oder nur zu bestimmten Jahreszeiten dominante Biovolumenanteile am Gesamt-Phytoplankton.

So wird beispielsweise *Tabellaria flocculosa* nur in 4 der 11 Gewässer beobachtet und zählt daher zu den eher selten im Gewässerspektrum auftretenden Arten (Tabelle V). Jedoch erreicht diese Art zumindest in einem Gewässer, nämlich im Parsteiner See, dominante Anteile am Bacillariophyceen-Plankton und kennzeichnet damit die Phytoplanktonstruktur in diesem See (Abb. 54). Im Jointplot der CCA der Abb. 52 A-B erfolgt eine Kennzeichnung dieser Art als seltene Art durch die „dezentrale“ Anordnung des Variablenpunktes gegenüber den anderen 9 Taxa (siehe JONGMAN et al. 1987).

Andere im Gewässerspektrum ebenfalls seltener auftretende Taxa wie *Centronella reicheltii*, *Pleurosigma* spp. und *Nitzschia sigmaidea* erreichen im Vergleich zu *Tabellaria flocculosa* in keinem der Gewässer bemerkenswerte Biovolumenanteile (Abb. 49, PCA: Datenbasis = 22 Diatomeentaxa; Artenliste: Tabelle III). Diese drei Taxa tragen somit wenig Information zur Differenzierung der gewässer- und seasonspezifischen Phytoplanktonstrukturen bei und werden im ersten Schritt der Variablenreduktion eliminiert. Analog ergibt sich auch für *Fragilaria crotonensis* und *Asterionella formosa* keine hohe diskriminatorische Bedeutung. Im Gegensatz zu den 3 zuvor genannten Taxa sind diese beiden Diatomeen-Arten in 9 von 11 Gewässern beobachtet worden und zählen damit eher zu den stetigen

Arten. Damit wird deutlich, daß eine Artenreduktion a priori auf einer großen Anzahl von Taxa, d. h. sowohl auf stetig als auch auf selten vorkommenden Taxa, basieren sollte. Folglich ist es unerlässlich, bei der quantitativen Analyse einer Phytoplanktonprobe das Biovolumen eines breiten Spektrums von Taxa primär zu erfassen, auch wenn sekundär die Zahl der Taxa stark reduziert wird.

Zusammenfassend wird klar, daß in der hier vorliegenden Phytoplanktonanalyse die multivariaten statistischen Methoden nicht allein der Darstellung der Arten-Gruppenbildung dienen. Sie zielen mit der Extraktion der 10 repräsentativen Cyanophyceen- bzw. Bacillariophyceen-Arten und -Artengruppen insbesondere auf eine prägnante Darstellung von gewässertypischen Dominanzstrukturen des Phytoplanktons. Sowohl die Biovolumenanteile der repräsentativen Cyanophyceen- als auch die der Bacillariophyceen-Arten kennzeichnen maßgeblich die Phytoplankton-Dominanzstruktur in einzelnen Gewässern und/oder zu bestimmten jahreszeitlichen Abschnitten (siehe Kapitel 4. 4. und 4. 5.). Damit ist erwiesen, daß sich die 4 limnologisch verschiedenen Gewässergruppen sowohl anhand der Dominanzstrukturen des Cyanophyceen- als auch der des Bacillariophyceen-Planktons unterscheiden lassen.

4. 2. Limnologische Charakteristik

Für die limnologische Beschreibung werden 7 Parameter herangezogen. Zur Differenzierung der Gewässergruppen sind 6 davon von Bedeutung: der TN- und TP-Gehalt sowie deren Verhältnis zueinander, die Chlorophyll-a-Konzentration, die Leitfähigkeit und das Verhältnis der Durchmischungstiefe zur euphotischen Zone (Abb. 10).

Die Korrelationen zwischen diesen limnologischen Variablen sind nicht Schwerpunkt dieser Gewässeruntersuchung und sollen damit im folgenden auch nur kurz in zwei Punkten (i, ii) diskutiert werden:

- i: In Übereinstimmung mit DOWNING & McCAULEY (1992) ergibt sich für den Datensatz von 11 Gewässern mit unterschiedlichen Trophiestufen (Abb. 11 A und B) eine negative Korrelation zwischen dem TN/TP-Verhältnis und der TP-Konzentration (Abb. 10). Diese strenge negative Korrelation resultiert aus dem verhältnismäßig großen Variabilitätskoeffizienten der Gewässer-Mittelwerte von TP gegenüber TN (TP: 71 %, TN: 33%). Anhand der hohen Variabilitätskoeffizienten wird deutlich, daß insbesondere die TP-Gewässer-Mittelwerte stark streuen. Die Dispersion der Gewässerpunkte entlang der Trophie-Skala bietet eine günstige Voraussetzung für die Beschreibung differenzierter Phytoplanktongemeinschaften.
- ii: Neben dem Nährelementangebot wird dem Lichtangebot für die Phytoplanktonentwicklung im Gewässer eine entscheidende Bedeutung beigemessen (KOHL & NICKLISCH 1988). In dem untersuchten Gewässerspektrum treten hohe Chlorophyll-a-Konzentrationen insbesondere bei hohen Werten des Verhältnisses von Durchmischungstiefe (z_{mix}) zu euphotischer Zone (z_{eu}) auf (Abb. 10). Nach DOKULIL (1994) spielt die Durchmischungstiefe in trüben durchmischten Gewässern eine Schlüsselrolle für deren Produktivität, da jene meist größer als die euphotische Zone ist. So wird über das $z_{\text{mix}}/z_{\text{eu}}$ -Verhältnis die zeitweilige Verfrachtung der Algen außerhalb der euphotischen Zone reguliert. Da in den hier untersuchten, stark durchflossenen, turbulenten Seen die Trübe im wesentlichen jedoch nicht durch anorganische Schwebstoffpartikel, sondern durch die hohen Populationsdichten in den Planktongemeinschaften bedingt wird (Selbstbeschattungseffekt der Algen, TALLING 1971), ist es auch nicht verwunderlich, daß hier gerade in den trüben Gewässern sehr hohe Chlorophyll-a-Konzentrationen auftreten (vergleiche dazu Gewässer-Mittelwerte der Sichttiefen und Gesamtphytoplankton-Biovolumina in Tabelle II). So ergibt sich im hypertrophen Langen See, dessen Wasserkörper eine mittlere Verweilzeit von nur 4 Tagen aufweist (KOHL et al. 1994), trotz der vergleichsweise hohen und damit ungünstigen

$z_{\text{mix}}/z_{\text{eu}}$ -Verhältnisse (Mittelwert: $z_{\text{mix}}/z_{\text{eu}} = 3,2$) der höchste Mittelwert der Chlorophyll-a-Konzentrationen ($60 \mu\text{g l}^{-1}$) unter den 11 Gewässern. Die unterschiedlichen Lichtansprüche der dominanten Algen in den Planktongemeinschaften dieser hypertrophen „polymiktischen Flußseen“ werden in Kapitel 4. 6. ausführlich diskutiert.

In der Biplot-Darstellung der PCA zur Differenzierung der limnologischen Gewässergruppen wird eine nahezu gleichrangig hohe Bedeutung für noch 6 Parameter herausgestellt (Abb. 10). Dagegen zeigt die Jointplot-Darstellung der CCA, daß für die Beschreibung der differenzierten Planktonzusammensetzung nur wenige limnologische Parameter stärker relevant sind (Abbn. 34 und 52). So ergeben sich gewässerspezifische Unterschiede des Cyanophyceen-Planktons insbesondere entlang eines Gradienten der Leitfähigkeit und der TN/TP-Verhältnisse. Unterschiede in der Bacillariophyceen-Zusammensetzung stehen hauptsächlich in Beziehung zu den stark variierenden SRSi-, Chlorophyll-a-Konzentrationen und SRSi/TN-Verhältnissen im Gewässerspektrum. Diese Korrelationen zwischen der Verteilung der Biovolumina der Arten und den limnologischen Parametern beschreiben in den 11 Gewässern das Vorkommen der Arten in Beziehung zum limnologischen Bedingungsgefüge. Sie sind eng an den konkret zugrundeliegenden Datensatz geknüpft und müssen nicht zwangsläufig kausale oder allgemeingültige Zusammenhänge aufdecken (siehe auch folgende Kapitel der Diskussion).

Für die 4 limnologisch definierten Gewässergruppen ergeben sich unterschiedlich streng abgrenzbare Phytoplanktonstrukturen. So lassen sich zwischen den „polymiktischen Flußseen“, den „dystrophen Seen“, aber auch den „dimiktischen, mesotrophen Seen“ Unterschiede in den Phytoplanktonstrukturen gut ableiten. Dagegen ergibt sich für die 4 Gewässer der „mineralreichen Gewässer“ eine wechselhaft strenge Zuordnung in Abhängigkeit von den Algengruppen. Währenddessen sich anhand des Cyanophyceen-Planktons noch alle 4 Gewässer dieser einen Gewässergruppe zuordnen lassen (Abbn. 32 und 34), zeigen sich mit der Zusammensetzung des Bacillariophyceen-Planktons und den dominanten Arten verschiedener Algenklassen Unterschiede in den Phytoplanktonstrukturen zwischen den drei Gewässern der „Flakenseegruppe“ und dem Kiessee (Abbn. 51 und 76 A). Damit wird deutlich, daß in dem hier untersuchten Gewässerspektrum ähnlich hohe Leitfähigkeiten als Kriterium weniger geeignet sind, die Charakteristik der Phytoplanktonstruktur zu beschreiben. Im Einklang mit der differenzierten Bacillariophyceen-Zusammensetzung innerhalb der „mineralreichen Gewässer“ wird im Jointplot der CCA (Abb. 76 A) der Leitfähigkeit eine untergeordnete Bedeutung gegenüber den trophischen Parametern beigemessen. Die unterschiedlichen Phytoplanktonstrukturen innerhalb der „mineralreichen Gewässer“ stehen im Einklang mit der trophische Heterogenität innerhalb dieser Gewässergruppe. Die trophischen Unterschiede zwischen der „Flakenseegruppe“ und dem Kiessee kommen insbesondere in dem analytisch-empirischen Schema von FORSBERG & RYDING (1980) und den trigonalen TN-TP-SRSi-Grafiken zum Ausdruck (Abbn. 11 A-B und 15). Mit den kanonischen Korrelationen zwischen Umweltparametern und Algenzusammensetzung ergibt sich auch bei anderen Gewässerspektren eine stärkere Relevanz der trophischen Parameter gegenüber der Leitfähigkeit (HOLZMANN 1994, WUNSAM & SCHMIDT 1995).

Dennoch muß zusammenfassend gesagt werden, daß eine limnologische Charakteristik, die eine Vielzahl von hydrochemischen, hydrologischen und morphometrischen Parametern a priori berücksichtigt, von Vorteil ist. Mit den Methoden der multivariaten Statistik ist es möglich, wesentliche limnologische Unterschiede im Gewässerspektrum hervorzuheben. Durch die limnologische Gruppenbildung ergibt sich weitestgehend ein sinnvoller Überblick, der über die 11 individuellen Gewässerstrukturen hinausreicht.

4. 3. Einzelwerte und gepoolte Datensätze

Die Methoden der multivariaten Statistik und die Darstellung der Phytoplanktonentwicklung in Jahresverläufen ergänzen sich sinnvoll im Rahmen der hier vorliegenden Phytoplanktonanalyse.

Mittels multivariater Statistik ergibt sich auf der Basis von gepoolten Datensätzen eine sinnvolle Übereinstimmung zwischen den limnologisch und planktologisch definierten Gewässergruppen. Auch ergeben sich Hinweise auf wechselnde Dominanzstrukturen während der Untersuchungsjahre innerhalb einer Gewässergruppe (z. B. „polymiktische Flußseen“) bzw. innerhalb eines Gewässers (z. B. Langer See Abb. 76 A). Eine besondere Güte der Datenbasis von Saison-Mittelwerten spiegelt sich in der Differenzierung in ein gewässer- und ein seasonspezifisches Vorkommen der Arten wider (z. B. Abbn. 35 und 58).

Mit der „gestaffelten“ Mittelwertbildung von Einzelwerten zu Saison-Mittelwerten, zu Gewässer-Jahres-Mittelwerten und zu Gewässer-Mittelwerten (Abbn. 31, 32, 33, 50 und 51) nimmt häufig zwangsläufig das Bestimmtheitsmaß bei der Beschreibung korrelativer Zusammenhänge zu (HÅKANSON & WALLIN 1991). Das heißt aber auch, daß aufgrund der sehr starken Streuung der Einzelmeßwerte korrelative Zusammenhänge am ehesten im Datensatz der Einzelwerte überdeckt werden können. Insofern eignen sich Einzelmeßwerte weniger als Datenbasis für eine multivariate Phytoplanktonanalyse.

Unabhängig von der Mittelwertbildung ergeben sich auch mit der Variablenreduktion zwangsläufig höhere Informationsgehalte für korrelative Beziehungen (Abbn. 30 und 49).

Somit ist es möglich, mit der multivariaten Statistik insbesondere hauptsächliche Unterschiede im limnologischen Bedingungsgefüge und der Phytoplanktonstruktur zwischen den 11 Gewässern klar zu erkennen. Dies impliziert aber auch, daß umgekehrt Details der Planktonentwicklung bei diesen Methoden nicht zum Tragen kommen.

Daher werden Nuancen in der Phytoplanktonentwicklung in kurzen Zeitintervallen, d. h. auf der Basis von Einzelwerten, im Jahresverlauf analysiert. Hinweise aus der multivariaten Statistik zu wechselnden Dominanzstrukturen werden so im Zusammenhang mit der Nährelementverfügbarkeit in detaillierter Zeitfolge diskutiert. Dabei zeigt sich im Jahresverlauf häufig, daß die Änderung der Planktonentwicklung mit den starken Änderungen des Ressourcendangebotes, z. B. bei eintretenden SRSi-Limitationszuständen bzw. sich ändernden TN/TP-Verhältnissen, näherungsweise synchron läuft bzw. zeitlich leicht verzögert einhergeht (siehe Kapitel 4. 6.).

In diesem Zusammenhang ergibt sich jedoch auch eine weitere plausible Erklärung dafür, daß Einzelwerte weniger geeignet für multivariate statistische Methoden zur Phytoplanktonanalyse sind. So werden beispielsweise häufig noch während der Massenentwicklung der Diatomeen bereits SRSi-Konzentrationen unter der Nachweisgrenze gemessen (SOMMER 1988 a, KOHL et al. 1994). Damit würden gerade im Einzelwert-Datensatz die extrem hohen Biomassen der Kieselalgen den extrem niedrigen SRSi-Konzentrationen gegenüber stehen. Dies würde in einer multivariaten Analyse, bei der die Zeitfolge der Prozesse unberücksichtigt bleibt, zwangsläufig zu der falschen Aussage führen, daß kein Zusammenhang zwischen der Diatomeen-Massenentwicklung und dem SRSi-Dargebot besteht. Daher müßte bei einer multivariaten Statistik anhand von Einzelwert-Datensätzen die zeitliche Verzögerung abhängiger Prozesse Berücksichtigung finden, um bestehende Korrelationen aufdecken zu können. Bei Bezugnahme auf gepoolte Datensätze in der multivariaten Statistik jedoch können derartige Überlegungen vernachlässigt werden.

Damit sind gepoolte Datensätze hier eine geeignete Datenbasis für die multivariate Statistik. Grundzüge der limnologischen Verschiedenheit der Gewässer sowie der gewässer- und seasonspezifischen Biovolumenentwicklung sind somit für die 11 Gewässer erkennbar (siehe Kapitel 4. 4. und 4. 5.). Einzelwerte

dagegen sind eine sinnvolle Datenbasis für eine detaillierte Untersuchung von Zeitfolgen in der Planktonentwicklung (siehe Kapitel 4. 6.).

4. 4. Gewässerspezifische Biovolumenentwicklung der repräsentativen Arten und Artengruppen des Cyanophyceen- und Bacillariophyceen-Planktons

In den hier untersuchten Gewässern mit niedrigen TN/TP-Verhältnissen treten *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis viridis* und *Planktothrix agardhii* auf (Abb. 34 A-B). Für diese Arten sind extreme Massenentwicklungen charakteristisch (Abbn. 39, 40, *Microcystis* spp. im Langen See und Großen Müggelsee mit hohen Anteilen von *M. viridis* neben *M. aeruginosa* s. l.). Damit trifft für diese Gewässer die allgemeine Aussage zu, daß Blaualgen-Wasserblüten bevorzugt in Gewässern mit niedrigen TN/TP-Verhältnissen auftreten (SOMMER et al. 1986, siehe insbesondere Kapitel 4. 6.).

Der Vergleich der Cyanophyceen-Dominanzstrukturen von SCHREURS (1992) baut auf den umfangreichen Datenpool von 80 holländischen Seen über 400 Untersuchungsjahre auf. Mit der Gegenüberstellung von „*Oscillatoria*“- , „*Aphanizomenon*“- bzw. „*Microcystis*“-dominierten Gewässern wird dabei gezeigt, daß die höchsten sommerlichen Chlorophyll-a-Konzentrationen in den „*Oscillatoria*-lakes“, d. h. bei langanhaltender Dominanz insbesondere von *Planktothrix agardhii*, auftreten. In Übereinstimmung damit ergeben sich auch im hier untersuchten Gewässerspektrum für Planktongemeinschaften mit Dominanz von *P. agardhii* die höchsten Chlorophyll-a-Konzentrationen (Abb. 34 A). Am höchsten sind die Gewässer-Mittelwerte der Chlorophyll-a-Konzentrationen im Langen See, dessen Planktongemeinschaft durch die „typischen“ „*Oscillatoria*“-Jahre geprägt ist (Abbn. 10, 38). Ein „*Oscillatoria*“-dominiertes Plankton tritt nach dem Gewässervergleich von SCHREURS insbesondere in flachen, stark durchmischten Gewässern auf. Bei den *P. agardhii*-dominierten Planktongemeinschaften der 11 Gewässer in Berlin-Brandenburg kommen im Einklang damit auch im Sommer maximale $z_{\text{mix}}/z_{\text{max}}$ -Werte, was nahezu vollständig bzw. vollständig durchmischte Wasserkörper bedeutet, vor (Abb. 34 A).

In den hypertrophen Gewässern treten neben dem *P. agardhii*-dominierten Sommer-Plankton auch *Aphanizomenon flos-aquae*-Massenentwicklungen auf. Unterschiede bzw. Übergänge zwischen beiden Massenentwicklungen werden detailliert in Kapitel 4. 6. diskutiert.

Eine Bezugnahme auf die von SCHREURS definierten „*Anabaena*“-dominierten Gewässer ist für das Berlin-Brandenburger Gewässerspektrum wenig sinnvoll, da die Cyanophyceen in den Gewässern mit höheren *Anabaena*-Biovolumenanteilen nicht die dominante Algenklasse darstellen.

Angaben zur ökologischen Verbreitung der *Anabaena*- und *Microcystis*-Arten sind in der Literatur wenig bekannt bzw. es werden keine unterschiedlichen Vorkommen für diese Arten angegeben (*Microcystis*: KOMÁREK & ETTL 1958, KOMÁREK 1991, *Anabaena*: KOMÁRKOVÁ-LEGNEROVÁ & ELORANTA 1992). Bei dem hier untersuchten Gewässerspektrum kristallisiert sich jedoch heraus, daß die *Anabaena*- und *Microcystis*-Arten verschiedene Verbreitungsschwerpunkte haben. So ergeben sich höhere Biovolumenanteile von *Microcystis wesenbergii* in Begleitung von *Planktolyngbya subtilis* und *Anabaena lemmermannii* in Gewässern mit niedrigen TP-Konzentrationen (Abbn. 30-32, 34, 35, 38). Dagegen treten Massenentwicklungen von *Microcystis aeruginosa* s. l. und *M. viridis* insbesondere in Begleitung von hohen Populationsdichten von *Aphanizomenon flos-aquae* in den hypertrophen Gewässern auf (siehe insbesondere Kapitel 4. 6.). *Anabaena flos-aquae* entwickelt gleichfalls höhere Biovolumenanteile in den hypertrophen Gewässern, auch wenn die absoluten Biovolumina dieser Art niemals solche extrem hohen Werte wie bei *Planktothrix agardhii* und *Aphanizomenon flos-aquae* erreichen.

Im Gegensatz zu den Cyanophyceen-Arten ergeben sich aus der stärkeren Relevanz der Diatomeen für Gewässerqualitäts-Untersuchungen in der Literatur detailliertere Verbreitungsangaben zu den Arten der

Bacillariophyceen. In der Tabelle VI sind die Trophie-Indikatorwerte nach Van DAM et al. (1994) für die 10 repräsentativen Bacillariophyceen-Taxa zusammengestellt.

Tab. VI: Indikatorwert für den Trophiegrad nach Van DAM et. al. (1994) für die 10 repräsentativen Taxa des Bacillariophyceen-Planktons der 11 Gewässer.

Trophiegrad	Diatomeen-Taxa
hypereutraphent	: <i>Stephanodiscus hantzschii</i>
eutraphent	: <i>Actinocyclus normanii</i> <i>Aulacoseira granulata</i> (= dominante Art in <i>Aulacoseira</i> spp. der 11 Gewässer) <i>Cyclostephanos dubius</i> <i>Cyclotella radiosia</i> <i>Fragilaria ulna</i> var. <i>acus</i> <i>Stephanodiscus neoastraea</i> <i>Nitzschia acicularis</i>
meso- bis eutraphent	: <i>Cyclotella ocellata</i> (hier in <i>Cyclotella kuetzingiana/ocellata/comensis</i>)
mesotraphent	: <i>Tabellaria flocculosa</i>

Die Aussage zu Abb. 53 ist konform zu der von Tabelle VI und beinhaltet, daß insbesondere *Stephanodiscus hantzschii* und *Cyclotella kuetzingiana/ocellata/comensis* sehr verschiedene Verbreitungsschwerpunkte haben und folglich eine Dominanz der einen Art hohe Biovolumenanteile der anderen Art ausschließt.

Des weiteren zeigt die Jointplot-Darstellung in Abb. 52 A-B folgende drei Aussagen: (i) Die Unterschiede in der Zusammensetzung des Bacillariophyceen-Planktons werden hauptsächlich durch die verschiedenen hohen Biovolumenanteile von *Tabellaria flocculosa* und *Cyclotella kuetzingiana/ocellata/comensis* in den einen und von *Stephanodiscus hantzschii* in den anderen Gewässern bestimmt. Während (ii) *S. hantzschii* hohe Biovolumenanteile insbesondere in den hypertrophen Gewässern mit hohen Chlorophyll-a- und SRSi-Konzentrationen erreicht, ergeben sich (iii) für *T. flocculosa* und *C. kuetzingiana/ocellata/comensis* höhere Biovolumenanteile nur in den Gewässern mit niedrigem Chlorophyll-a- und SRSi-Gehalt (eutrophe bis mesotrophe Gewässer). Diese Aussagen stehen wiederum im Einklang mit den unterschiedlichen Trophie-Indikatorwerten nach Van DAM et al. (1994) (Tabelle VI).

Für 7 der 10 repräsentativen Diatomeen-Taxa wird in der Tabelle VI ein Verbreitungsschwerpunkt in den eutrophen Gewässern angegeben. Dadurch lassen sich für diese 7 Taxa keine Abstufungen in der Verbreitung nach Van DAM ablesen. In Übereinstimmung damit zeigt sich im Jointplot der Abb. 52 A-B, daß die Biovolumenanteile dieser Taxa lediglich die Dispersion der Gewässerpunkte entlang der 2. Achse wesentlich bestimmen. Somit kommen auch in Abb. 52 A-B nur Nuancen in der unterschiedlichen Biovolumenentwicklung zwischen diesen Taxa zum Ausdruck. Darüber hinaus sind bei 4 der 7 Taxa, nämlich *Actinocyclus normanii*, *Aulacoseira* spp., *Stephanodiscus neoastraea* und *Nitzschia acicularis*, mehr seasonspezifische als gewässerspezifische Gründe für die Differenzierung maßgebend (Abbn. 55-57, siehe Kapitel 4. 5.). Bei einer Reduktion allein auf die gewässerspezifischen Unterschiede ist dann eine Übereinstimmung mit dem Indikatorsystem nach Van DAM wieder gegeben.

Somit steht die Verbreitung aller repräsentativen Bacillariophyceen-Taxa der 11 Berlin-Brandenburgischen Gewässer im Einklang mit dem Indikator-System nach Van DAM et al. (1994).

4. 5. Saisonspezifische Biovolumenverteilung der repräsentativen Arten und Artengruppen des Cyanophyceen- und Bacillariophyceen-Planktons

Auf der Basis von Saison-Mittelwerten kristallisiert sich neben der gewässerspezifischen Verteilung auch eine seasonspezifische Biomasseentwicklung der repräsentativen Arten heraus. Die Besonderheiten der saisonalen Phytoplanktonentwicklung werden in der Literatur vielfach diskutiert (z. B. REYNOLDS 1984, SOMMER 1986, SEIP & REYNOLDS 1995, POULÍCKOVÁ 1993), auch unter Anwendung multivariater statistischer Methoden (PCA: BARTELL et al. 1978, CCA: STEVENSON & WHITE 1995).

Nach der DA ist *Limnithrix redekei* in den 11 Berlin-Brandenburger Gewässern eine ausgesprochene Frühjahrs/Winter-Art (siehe auch MEFFERT 1975). Dagegen ergeben sich insbesondere für *Microcystis aeruginosa* s. l., *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena flos-aquae*, *A. lemmermannii*, *Planktolytnbya subtilis* und *Planktothrix agardhii* hohe Biovolumenanteile im Sommer-Herbst-Plankton (Abbn. 36-38). Sommer- und Herbst-Massenentwicklungen dieser Arten werden in der Literatur mehrfach beschrieben (u. a. REYNOLDS 1984, TRIMBEE & HARRIS 1984, HECKY et al. 1986).

Auch für die Bacillariophyceen-Arten sind seasonspezifische Biomasseentwicklungen charakteristisch. Während *Nitzschia acicularis* und *Stephanodiscus neoastraea* ausgesprochene Frühjahrs/Herbst-Arten sind, ergeben sich für *Aulacoseira* spp. und *Actinocyclus normanii* höhere Biovolumenanteile im Sommer- und Herbstplankton (Abbn. 55-57). Die ausgeprägte Sommer/Herbst-Massenentwicklung für *Aulacoseira granulata* (REYNOLDS 1984, HECKY et al. 1986, DAVEY 1987, POULÍCKOVÁ 1993) und *Actinocyclus normanii* (KISS et al. 1990) wird in der Literatur mehrfach beschrieben. In den hier untersuchten Gewässern nimmt die Art *Aulacoseira granulata* den entscheidenden Biovolumenanteil am Gesamt-Volumen *Aulacoseira* spp. ein.

4. 6. „*Oscillatoria*“- und „*Aphanizomenon flos-aquae*/*Microcystis* spp.“-Jahre

Bei einem Vergleich der Phytoplanktongemeinschaften wird erkennbar, daß sich die Phytoplanktonstrukturen des Langen Sees und des Großen Müggelsees - zweier „polymiktischer Flußseen“ - immer klar gegenüber den Phytoplanktongemeinschaften der übrigen „mineralreichen Gewässer“, der „dimiktischen mesotrophen Seen“ und der „dystrophen Seen“ abgrenzen lassen (Abbn. 32, 51, 76 A, 77). In diesen beiden limnologisch recht ähnlichen Gewässern ist auch ein vergleichbares Artenspektrum vorhanden.

Trotz dieser Gemeinsamkeiten entwickeln sich in beiden Gewässern völlig verschiedene Phytoplankton-Dominanzstrukturen (Abb. 78). So lassen sich die Planktonentwicklungen im Langen See 1990 und 1992 als „typische“ „*Oscillatoria*“-Jahre beschreiben. Dagegen sind die Planktonentwicklungen im Großen Müggelsee 1990-1992 als typische „*Aphanizomenon flos-aquae*/*Microcystis* spp.“-Jahre anzusehen (u. a. KOHL et al. 1985, KOHL et al. 1991).

In der Literatur werden mehrfach diese beiden Dominanzstrukturen beschrieben. Dabei wird sich jedoch im wesentlichen auf die Zusammensetzung des Cyanophyceen-Planktons beschränkt.

Dominanz von *Planktothrix agardhii*:

WUNDSCH 1940, BURSCHE 1955: „H₂S-Oscillatoria-Seen“;

BARTHELMES 1978: „Oscillatoria-Regime“;

TÄUSCHER 1981: „Oscillatorietum agardhii BÜDDE 1930

emend. TÄUSCHER 1981“

bzw.

Dominanz von *Aphanizomenon flos-aquae* und *Microcystis* spp.:

TÄUSCHER 1981: „Aphanizomeno floris-aquae-

Microcystietum aeruginosa TÄUSCHER 1981“.

Grouping of species of „*Oscillatoria*“- and „*Aphanizomenon fl.-aqu./Microcystis* spp.“ dominated years

Hierarchical clusteranalysis: Ward's Method, Squared Euclidean

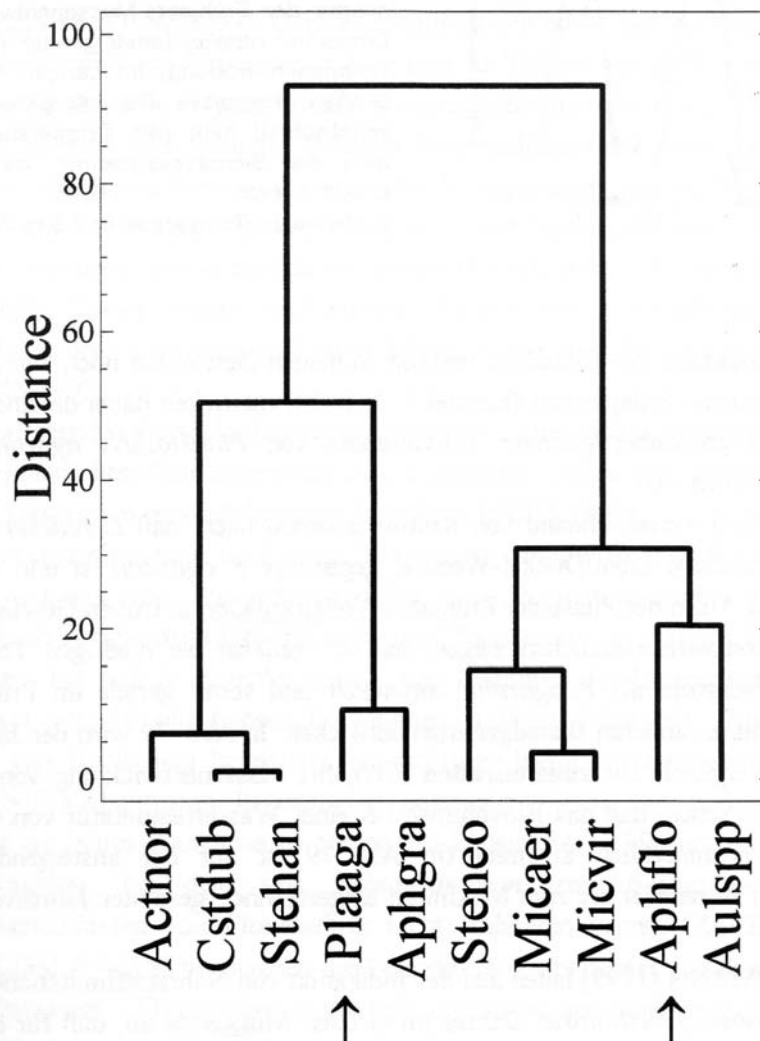


Abb. 78: Unterschiede in der Plankton-Zusammensetzung zwischen den „*Oscillatoria*“- und den „*Aphanizomenon flos-aquae/Microcystis* spp.“-Jahren.

[Dendrogramm einer HCA, Datenbasis: Gewässer-Jahresmittelwerte der „polymiktischen Flußseen“, n=11. Algennamen von links nach rechts: *Actinocyclus normanii*, *Cyclostephanos dubius*, *Stephanodiscus hantzschii*, *Planktothrix agardhii*, *Aphanizomenon gracile*, *Stephanodiscus neoastreae*, *Microcystis aeruginosa* s. l., *Microcystis viridis*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Aulacoseira* spp.]

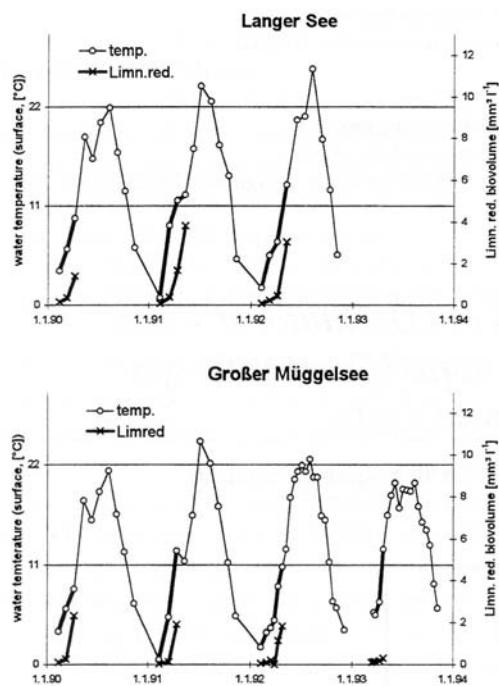


Abb. 79: Temperatur-Jahresverlauf und Zunahme der Frühjahrs-Massenentwicklung von *Limnothrix redekei* (ansteigender Ast der Biovolumenentwicklung) im Langer See und im Großen Müggelsee. Der fett gezeichnete Kurvenabschnitt hebt den Temperaturbereich, in dem die Biomassezunahme von *L. redekei* erfolgt, hervor.

[Datenbasis: Temperatur in 0,5 m Wassertiefe]

Die **Frühjahrs-Massenentwicklung** der Blaualgen verläuft in beiden Gewässern noch ähnlich. *Limnothrix redekei*, eine ausgesprochene Frühjahrsart (Kapitel 3. 2. 2. 2.), entwickelt dabei dominante Anteile am Cyanophyceen-Plankton gegenüber geringen Biovolumina von *Planktothrix agardhii* (LANS: Abb. 39, MUES 1990-1992: Abb. 40).

NICKLISCH & KOHL (1989) weisen anhand von Kulturversuchen nach, daß *L. redekei* ein überlegener Lichtkonkurrent bei raschem Licht/Dunkel-Wechsel gegenüber *P. agardhii* ist und sehen darin eine Konkurrenzstärke dieser Art in der Phase der Frühjahrs-Vollzirkulation in trüben Gewässern.

FOY (1983) konnte mit Konkurrenzversuchen zeigen, daß *L. redekei* bei niedrigen Temperaturen (<11°C) ein schnelleres Wachstum als *P. agardhii* entwickelt und somit gerade im Frühjahr hohe Biomasseanteile im Verhältnis zu anderen Blaualgenarten entwickelt. In Abb. 79 wird der Jahresverlauf der Wassertemperatur im Vergleich zur **zunehmenden** Frühjahrs-Massenentwicklung von *L. redekei* dargestellt. Es ist deutlich zu sehen, daß das Biovolumen bei einer Wassertemperatur von über 11 °C nicht mehr oder nur noch unmerklich zunimmt (in Abb. 79 ist nur der ansteigende Ast der Biovolumenentwicklung von *L. redekei* bis zum Maximum eingezeichnet, gesamter Jahresverlauf siehe Abbn. 39 und 40).

RÜCKER (1992) und TIPPMANN (1993) leiten aus der Indikation von Nährstofflimitationen für Freilandpopulationen während eines „*Oscillatoria*“-Jahres im Großen Müggelsee ab, daß für die ausbleibende Biovolumenzunahme von *Limnothrix redekei* im Anschluß an die Frühjahrs-Massenentwicklung eine starke Stickstoff-Limitation ausschlaggebend ist. Dagegen setzt für *P. agardhii* trotz kurzfristiger N-Limitation die sommerliche Massenenwicklung ein. Demnach vollzieht sich der Massenwechsel zwischen beiden Arten unter N-Limitation (TIPPMANN 1993). NICKLISCH (1994) kann anhand von semikontinuierlichen Kulturversuchen - bei starker Verdünnung in großen Zeitintervallen (7 Tage) -

zeigen, daß gerade unter N-Limitationsbedingungen bei *L. redekei* eine höhere Mortalität im Vergleich zu *P. agardhii* auftritt (vergleiche dazu Versuche mit veränderten semikontinuierlichen Kulturbedingungen in NICKLISCH et al. 1991). Neben dem Zooplankton-Grazing sieht NICKLISCH (1994) dann auch in diesen Verlustprozessen eine entscheidende Erklärung dafür, daß im Gegensatz zu *P. agardhii* bei *L. redekei* eine sommerliche Massenentwicklung, d. h. eine starke Biomasseentwicklung unter bevorzugten N-Limitationsbedingungen im Gewässer, ausbleibt. Dies steht wiederum im Einklang mit den Planktongemeinschaften der hier untersuchten Gewässer, in denen *L. redekei* eine ausgesprochene Frühjahrsart ist, wogegen extreme Massenentwicklungen von *P. agardhii* gerade im Sommer auftreten (siehe Tabelle IV S. 108, siehe auch Text nachfolgend).

Mit der **Entwicklung des Sommerplanktons** setzt in den beiden „polymiktischen Flußseen“ meist eine deutliche Differenzierung ein, und zwar in ein *Planktothrix*-dominiertes Plankton im Langen See (1990, 1992, Abb. 39) oder in ein *Aphanizomenon*/*Microcystis*-dominiertes Plankton im Großen Müggelsee (1990-1992, Abb. 40). Für den hier untersuchten Zeitraum liegt damit der Schwerpunkt der *Planktothrix*-Massenentwicklung in dem Flußsee mit der kürzesten Verweilzeit der hier untersuchten Seen (mittlere Verweilzeit im Langen See = 4,13 Tage, *Aph./Micr.*-Dominanzstruktur häufig im Großen Müggelsee mit einer mittleren Verweilzeit von 67,2 Tagen, Verweilzeiten aus KOHL et al. 1994 für die Untersuchungsjahre 1992/1993). Darüber hinaus jedoch bildet sich die sonst für den Großen Müggelsee typische *Aphanizomenon*-Dominanzstruktur auch im Langen See (1991) heraus. Damit entwickeln sich diese völlig verschiedenen Cyanophyceen-Dominanzstrukturen nicht nur in limnologisch sehr ähnlichen Gewässern, sondern auch während mehrerer Untersuchungsjahre in ein und demselben Gewässer. Für den Großen Müggelsee konnte bereits in der Vergangenheit mehrfach ein Wechsel zwischen einem „*Aphanizomenon flos-aquae*/*Microcystis* spp.“- und einem „*Oscillatoria* (*Planktothrix agardhii*)“-dominierten Sommerplankton beobachtet werden (KOHL et al. 1985, KOHL et al. 1991, NIXDORF & HOEG 1993). Dieser abrupt erscheinende Wechsel der Cyanophyceen-Dominanzen im Verlaufe mehrerer Jahre oder auch innerhalb eines Jahres wurde auch für andere Gewässer beschrieben (z. B. SCHREURS 1992).

Die hier vorliegenden Phytoplanktonuntersuchungen zeigen, daß sich bereits Ende Juni, d. h. mit Beginn der frühlommerlichen Planktonentwicklung, abzeichnet, welche der beiden Dominanzstrukturen sich in den beiden Gewässern entwickeln wird (Ausnahme MUES 1993).

Planktothrix agardhii weist im Langen See bereits unmittelbar nach Zusammenbruch der Frühjahrs-Massenentwicklung von *Limnithrix redekei* hohe Populationsdichten auf, wobei keine größeren Verluste durch Zooplankton-Grazing auftreten (Zooplankton im Langen See 1992 siehe KOHL et al. 1994). Damit hat sich *P. agardhii* bereits zum Zeitpunkt des Unterschreitens des kritischen TN/TP-Verhältnisses von 16 mit hohem Biovolumen etabliert (Abb. 39). Obwohl das kritische TN/TP-Verhältnis von 16 ab Juni langfristig unterschritten bleibt, erfolgt keine Massenentwicklung der bei niedrigen N/P-Verhältnissen begünstigten nostocalen Arten wie z. B. *Aphanizomenon flos-aquae*. Insofern ist die Jahres-Planktonentwicklung des Langen Sees 1990 und 1992 mit der vom Wolderwijd See vergleichbar, bei dem sich *Aphanizomenon* trotz 6-wöchiger N-Limitation unter den Dominanzverhältnissen von *Planktothrix* nicht etablieren konnte (ZEVENBOOM & MUR 1980). ZEVENBOOM & MUR vergleichen die Perioden langanhaltender *Planktothrix*-Dominanz mit „steady state“-Bedingungen: „Fluctuations in the light conditions and other ecological factors do occur, but in hypertrophic (low light regime) lakes the change are buffered („steady states“)“ (siehe auch SCHREURS 1992: charakteristische „long-term domination“ durch *Oscillatoria* in Seen). Insofern zeigt sich für den Langen See unter alleiniger Einbeziehung der repräsentativen Cyanophyceen-Arten, daß die Artenzusammensetzung über den gesamten Jahresverlauf gleich bleibt, selbst wenn sich die quantitative Zusammensetzung der Arten zueinander deutlich ändert (Tabelle IV S. 108).

Die ausbleibende Massenentwicklung der Nostocales unter niedrigen N/P-Verhältnissen läßt sich mit den unterschiedlichen Lichtansprüchen von *P. agardhii* und *A. flos-aquae* erklären. Unter den vorherrschenden Schwachlichtbedingungen im Langen See, die infolge des „Selbstbeschattungs“-Effektes maßgeblich durch die hohe Dichte der solitären *Planktothrix*-Trichome verursacht werden, kann *A. flos-aquae* als die Art mit höheren Lichtforderungen (Van LIERE & MUR 1980) keine hohen Populationsdichten entwickeln. Insbesondere bei der Heterocystenbildung zur N₂-Fixierung stellt diese Art höhere Lichtansprüche. Nach ZEVENBOOM & MUR (1980) benötigt *Aphanizomenon* bei N₂-Fixierung 72% mehr Lichtenergie als *Planktothrix*. Des weiteren zeigen KOHL et al. 1989, daß die Werte der minimalen Lichterfordernis für das Wachstum von *A. flos-aquae* nicht nur unter N-Limitationsbedingungen, sondern selbst unter N-Sättigung höher als die von anderen Blaualgenarten, wie *P. agardhii* und *L. redekei*, unter vergleichbaren Versuchsbedingungen sind. Der hohe Lichtanspruch dieser *Aphanizomenon*-Art wird dabei mit dem Selbstbeschattungseffekt der Trichome in der Kolonie begründet (Trichombündelbildung).

Im Müggelsee 1990-1993 und im Langen See 1991 liegen beim Unterschreiten der TN/TP-Verhältnisse von 16 im Vergleich zu der oben beschriebenen Planktonentwicklung niedrige Biovolumina von *P. agardhii* vor (Klarwasserstadien siehe KOHL et al. 1994). Die Massenentwicklung von *A. flos-aquae* wird dann in den genannten Jahren bei beiden Gewässern jeweils unmittelbar nach Unterschreiten des kritischen TN/TP-Verhältnisses initiiert (Abbn. 39, 40). Damit entwickeln nach den Klarwasserstadien hier gerade solche Algenarten hohe Biovolumina, die z. B. aufgrund der Anordnung der Trichome bzw. Zellen in Kolonien (*A. flos-aquae*, *Microcystis* spp.) dem Fraßdruck des filtrierenden Crustaceen-Zooplanktons standhalten können (u. a. HRBACEK 1964).

Im Großen Müggelsee 1993 ist der Start der Massenentwicklung insofern interessant, als daß in dem niederschlagsreichen und regnerisch-kühlen Jahr erst relativ spät im Jahr das kritische TN/TP-Verhältnis unterschritten wird. *Aulacoseira* spp. hat in dem Jahr bereits hohe Populationsdichten entwickelt (Abb. 61). Aber ungeachtet dessen, analog den anderen drei Jahren im Großen Müggelsee, setzt bei *A. flos-aquae* wiederum **erst** und **genau mit TN/TP<16** ein starkes Wachstum ein. Damit wird deutlich, daß in diesen Gewässern neben dem Unterschreiten des kritischen TN/TP-Verhältnisses nicht die Absolutwerte der Phytoplankton-Biomasse, sondern vielmehr das konkrete Massenverhältnis der beiden konkurrierenden Blaualgenarten, *P. agardhii* und *A. flos-aquae*, von entscheidender Bedeutung ist. Insofern ergeben sich hier auch Unterschiede zu Kultur-Konkurrenzversuchen, mit denen gezeigt wurde, daß sich trotz eines unterschiedlichen Inokulums bei den gleichen „steady state“-Bedingungen immer wieder dieselbe konkurrenzstarke Algenart am Ende durchsetzt (TILMAN 1982, SOMMER 1983). Im Gewässer jedoch stellen sich im allgemeinen gerade nicht die Konkurrenz-Endphasen eines bestimmten „steady state“-Bedingungsgefüges ein, da ein mehr oder weniger hochfrequenter Wechsel von Störgrößen einen gerichteten Selektionsdruck ausschließt (SOMMER 1993, siehe auch dazu weiter unten die Kieselalgenentwicklung in den „*A. flos-aquae*/*Microcystis* spp.“-Jahren).

Somit setzt sich mit der sommerlichen Planktonentwicklung in den „*A. flos-aquae*/*Microcystis* spp.“-Jahren - im Gegensatz zu den „*Oscillatoria*“-Jahren (siehe oben Langer See) - ein sowohl qualitativ als auch quantitativ deutlich anders strukturiertes Cyanophyceen-Plankton als im Frühjahr durch.

In Übereinstimmung mit BAKER (1981) wurde die **Heterocystenbildung** bei *A. flos-aquae* über ein weites Zeitintervall der Biovolumenentwicklung beobachtet (Großer Müggelsee, siehe insbesondere Heterocystenfrequenz 1992 in Abb. 41). Jedoch konnte zum Zeitpunkt niedriger TN/TP-Verhältnisse (<16), für den ein Mangel an mineralischem Stickstoff zu erwarten ist, i. a. kein deutlicher Anstieg der Heterocystenfrequenz beobachtet werden. In Kulturversuchen wird gerade unter N-freier Nährlösung eine maximale Heterocystenbildungen beschrieben (UEHLINGER 1980, LEONARDSON 1984, KOHL et al. 1985). Trotz der relativ niedrigen Heterocystenfrequenz (%) ergeben sich dennoch

zwangsläufig zum Zeitpunkt der Biovolumenmaxima der Trichome auch Maxima des absoluten Heterocysten-Biovolumens (siehe insbesondere 1992 und 1993). Damit ist zumindest für die Zeit der Massenentwicklung über die N_2 -Fixierung ein deutlicherer Eintrag in den N-Haushalt zu erwarten (LEONARDSON 1984, DUDEL 1989, DUDEL & KOHL 1991).

Im Gegensatz zu den Heterocysten ergeben sich für die **hyalinen Trichom-Endzellen** (ANAGNOSTIDIS et al. 1988 b) deutlich hohe Biovolumenanteile gerade zum Zeitpunkt der Massenentwicklung (siehe insbesondere 1990, 1992, 1993 in Abb. 41). Inwieweit das verstärkte Auftreten dieser schwach pigmentierten Zellen von physiologischer Bedeutung ist, ist ungeklärt (siehe Diskussion zu N_2 -Fixation außerhalb der Heterocysten in KOHL & NICKLISCH 1988).

Auch wenn im Langen See und im Großen Müggelsee für das Einsetzen der Massenentwicklung von *A. flos-aquae* der Zeitpunkt des Unterschreitens des TN/TP-Verhältnisses von 16 von wesentlicher Bedeutung ist, kann dies nicht verallgemeinert werden. Im Gegensatz zum Langen See und zum Großen Müggelsee setzt im Flakensee kein starkes Wachstum dieser *Aphanizomenon*-Art unmittelbar nach Unterschreiten des kritischen TN/TP-Verhältnisses ein. Dabei herrscht im hypertrophen Flakensee weder ein ungünstig niedriges Lichtdargebot vor, noch tritt eine die Nostocales überlagernde Massenentwicklung von *P. agardhii* auf (Lichtdargebot: siehe höhere mittlere Sichttiefe gegenüber LANS und MUES in Tabelle I, Biovolumina: Abb. 42). Während das kritische TN/TP-Verhältnis sehr frühzeitig im Jahr, d. h. meist im März/April, unterschritten wird, entwickelt sich *A. flos-aquae* erst während der Sommerstagnation stärker. Das maximale Biovolumen erreicht jedoch kaum $0,5 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$. Die allgemein zu geringe Biomasseentwicklung trotz vergleichbar hoher TP-Konzentrationen (Abb. 11 A) und das Ausbleiben einer mit den „polymiktischen Flußseen“ vergleichbaren Massenentwicklung der Nostocales trotz langanhaltend niedriger TN/TP-Verhältnisse (Abb. 45) bringen die andersartige Phytoplanktodynamik im Flakensee gegenüber dem Langen See und Großen Müggelsee zum Ausdruck. Ein wesentlicher Unterschied und damit auch ein Grund für eine ausbleibende Vergleichbarkeit des Flakensees mit dem Langen See und dem Großen Müggelsee wird in der unterschiedlichen stark ausgeprägten saisonalen Dynamik von TN gegenüber TP gesehen (siehe Näheres in Kapitel 4. 9.). Eine weitere Interpretation für die ausbleibende Massenentwicklung der Nostocales in dem stark durchflossenen Flakensee (mittlere Verweilzeit = 28,9 Tage, aus KOHL et al. 1994) wird von KOHL et al. 1994 im Zusammenhang mit leicht höheren Schwermetallgehalten im Wasserkörper, insbesondere von Kupfer, gegeben.

In Abb. 78 zeigt sich, daß neben den beiden oben diskutierten Arten, *P. agardhii* und *A. flos-aquae*, noch weitere Cyanophyceen-Taxa für die Unterschiedlichkeit der Plankton-Zusammensetzung der „*Oscillatoria*“- und der „*Aphanizomenon flos-aquae*/*Microcystis* spp.“-Jahre charakteristisch sind. So entstehen bei Massenentwicklungen von *A. flos-aquae* meist auch höhere Biovolumina von *Microcystis* spp. Dominante *Microcystis*-Arten sind dabei *M. aeruginosa* s. l. und *M. viridis*. Dagegen erreicht bei hohen Populationsdichten von *P. agardhii* auch *A. gracile* höhere Biovolumina als subdominante Art (Abbn. 78, 29-35, 38). In Übereinstimmung mit TÄUSCHER (1981), KOHL et al. (1985) und ANAGNOSTIDIS et al. (1988 b) treten somit die beiden *Aphanizomenon*-Arten in Kombination mit verschiedenen Cyanophyceen-Arten auf.

Auch wenn im Langen See und Großen Müggelsee die Cyanophyceen insbesondere im Sommerplankton häufig mit über 50 % Anteil am Gesamtbiovolumen die vorherrschende Algengruppe im Plankton sind, sind auch Arten weiterer Gruppen, wie die der **Bacillariophyceen**, für die „typische“ Zusammensetzung der beiden Plankton-Dominanzstrukturen charakteristisch (Abb. 63: MUES 1990-1992, LANS 1990, 1992).

Im Langen See, der durch typische „*Oscillatoria*“-Jahre geprägt ist, tritt insbesondere die Massenentwicklung von zentrischen Diatomeenarten wie *Stephanodiscus hantzschii*, *Cyclostephanos dubius* und *Actinocyclus normanii* auf. Dagegen zeigt sich in den typischen „*Aphanizomenon flos-aquae*/ *Microcystis* spp.“-Jahren im Großen Müggelsee (1990-1992) eine Dominanz von *Stephanodiscus neoastraea* innerhalb der Gruppe der einzelligen zentrischen Diatomeen. Mit der Sommer-Massenentwicklung von *Aphanizomenon flos-aquae* und *Microcystis* spp. entwickelt hier auch *Aulacoseira* spp. hohe Populationsdichten (Abb. 78, Jahresgänge in den Abbn. 60, 61, 71-74).

Für den untersuchten Zeitraum zeigt sich bei diesen beiden Gewässern jedoch auch, daß der nahezu abrupt erscheinende Wechsel zwischen unterschiedlichen Dominanzstrukturen des Cyanophyceen-Planktons zugleich von einer veränderten Bacillariophyceen-Zusammensetzung begleitet wird. So tritt - vergleichbar mit der Planktonzusammensetzung des Großen Müggelsees - auch im Langen See 1991 mit dem Cyanophyceen-Massenwechsel zum *A. flos-aquae*-dominierten Plankton eine **Massenentwicklung** von *Aulacoseira* spp. auf.

Im Großen Müggelsee ergeben sich 1993 die Abweichungen von der „typischen“ Phytoplankton-Zusammensetzung der „*Aphanizomenon flos-aquae*/ *Microcystis* spp.“-Jahre (1990-1992) nicht allein durch die zeitlich verspätete und damit auch weniger mächtige *Aphanizomenon*-Sommerblüte. Ein Dominanzwechsel zeichnet sich auch innerhalb der Gruppe der einzelligen zentrischen Diatomeen ab. Im Frühjahrs- und Herbstplankton erreicht hier *Stephanodiscus hantzschii* auffällig hohe Abundanzen im Vergleich zu *S. neoastraea*.

Aus Abb. 16 ergeben sich jedoch für die Phytoplanktongemeinschaft im Großen Müggelsee im Frühjahr 1993, bei ähnlichen TN/TP-Verhältnissen wie in den Vorjahren, relativ hohe SRSi/TN- und SRSi/TP-Verhältnisse. Bei den im Vergleich zu TN und TP außergewöhnlich hohen SRSi-Konzentrationen entwickeln sich hier insbesondere ungewöhnlich hohe Abundanzen von *Stephanodiscus hantzschii*, aber auch deutlich höhere Biovolumina von *Fragilaria ulna*. Dagegen bleibt eine für diesen See sonst typische Frühjahrs-Massenentwicklung von *Limnithrix redekei* nahezu aus (Abb. 79). Es scheint naheliegend zu sein, daß im Müggelsee im Frühjahr 1993 die Kieselalgen bei einem zum Vorjahr vergleichbaren TN/TP-Verhältnis (Abb. 40), aber bei deutlich höherem Silizium-Angebot, konkurrenzstärker gegenüber den Blaualgen sind. So geben KOHL & GIERSDORF (1991) für *Nitzschia acicularis* und *Stephanodiscus minutulus* - zwei ausgesprochene Frühjahrs-Diatomeenarten - eine deutlich effizientere Nutzung des Lichtdargebots gegenüber der Frühjahrs-Blaualgenart *Limnithrix redekei*, aber auch gegenüber *Planktothrix agardhii*, unter vergleichbaren Kultur-Bedingungen an.

In Konkurrenzexperimenten zwischen Diatomeen und anderen Algengruppen wird der ausreichenden Silikatversorgung eine Schlüsselrolle für die Diatomeen-Massenentwicklung im Plankton zugeschrieben (z. B. SOMMER 1983, 1988 b; GROVER 1989 a). Darüber hinaus zeigt sich in Kulturversuchen, daß eine Vielzahl von Kieselalgenarten, insbesondere Vertreter der Fragilariaceae, starke Konkurrenten bei hohen Si/P-Verhältnissen sind und sich folglich gerade bei einer P-Limitation durchsetzen (PETERSON HOLM & ARMSTRONG 1981, SMITH & KALFF 1983, SOMMER 1985, MAKULLA & SOMMER 1993). So ließen sich im Zusammenhang mit den hohen SRSi/TP-Verhältnissen im Frühjahr 1993 die auffällig hohen Biovolumina von *Fragilaria ulna* im Großen Müggelsee gegenüber den anderen 3 Jahren erklären (Abb. 62).

Im allgemeinen lassen sich jedoch die Ergebnisse der Konkurrenzversuche zwischen einzelnen Diatomeenarten unter „steady state“-Bedingungen nur schwer oder nicht auf die trophische Situation im Frühjahr 1993 im Großen Müggelsee übertragen. Obwohl *Stephanodiscus hantzschii* eine konkurrenzstarke Art gerade bei niedrigen Si/P-Verhältnissen sein soll, d. h. *S. hantzschii* ein guter Konkurrent unter Si-Limitation aber nicht bei P-Limitation sein soll (Van DONK & KILHAM 1990), ergeben sich über den Untersuchungszeitraum von 4 Jahren genau in dem Frühjahr mit hohem SRSi-Angebot, bei einem

hohen SRSi/TP-Verhältnis dominante Abundanzen dieser Art innerhalb der Gruppe der einzelligen zentrischen Diatomeen.

SOMMER (1983, 1993) sieht die Haupteinschränkung für die Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse von Chemostat-Experimenten darin, daß über einen relativ langen Zeitraum von ca. 3 bis 6 Wochen konstante Umweltbedingungen im Gewässer herrschen müßten, um eine inokulum-unabhängige, dem Endzustand des Fließgleichgewichts entsprechende Artenzusammensetzung im Plankton zu erreichen. Diese Bedingung ist jedoch für Seen der gemäßigten Temperaturzone kaum oder nicht erfüllt. Somit repräsentieren die natürlichen Phytoplanktongemeinschaften nur Übergangszustände der Start- und Gleichgewichtsphase eines Chemostatexperiments.

Gerade aber in solchen Übergangsstadien entwickeln kleinzellige Arten mit hohen Wachstumsraten, wie beispielsweise *S. hantzschii*, hohe Biovolumenanteile. Diese weniger in Abhängigkeit von der Ressourcen-Konkurrenz stehende Biomasseentwicklung ergibt sich dann jedoch nur kurzfristig und auch stark beeinflusst vom Inokulum (SOMMER 1983).

Eine detaillierte Quantifizierung der einzelligen zentrischen Diatomeenarten, ergänzend zur Bestimmung der Cyanophyceen-Biomasse, könnte künftig klären helfen, ob diese multistabilen Zustände der „*Oscillatoria*“- bzw. „*Aphanizomenon flos-aquae*/*Microcystis* spp.“-Dominanz eine mehr oder weniger enge Kopplung an den Dominanzwechsel im Diatomeenplankton aufweisen, und folglich der Wechsel in der Blaualgen-Kieselalgen-Dominanz weniger abrupt, sondern mehr graduell ablaufend zu sehen ist.

Die Besonderheit der beiden hypertrophen Flußseen Großer Müggelsee und Langer See zeigt sich damit nicht nur in einer starken Dynamik beim Wechsel der Nährelementverfügbarkeit, sondern auch in einer starken Dynamik beim Wechsel der Phytoplanktonstrukturen (siehe auch Kapitel 4.7. und 4.9.).

4.7. Trigonale Darstellung normierter TN:TP:SRSi-Konzentrationsverhältnisse

Für die Biomasseentwicklung der 11 Phytoplanktongemeinschaften, bestehend aus Kieselalgen und anderen Algenklassen, sind von den stofflichen Komponenten im wesentlichen die N-, P- und Si-Ressourcen relevant. Neben den absoluten Konzentrationen dieser Ressourcen zur Kennzeichnung der trophischen Situation in den Gewässern spielt auch das Verhältnis dieser Konzentrationen zueinander eine wesentliche Rolle. Die Relevanz der relativen Nährelementkonzentrationen wird insbesondere im Zusammenhang mit dem Redfield-Verhältnis und der „resource-ratio“-Hypothese von TILMAN (1982) herausgestellt.

Nach TILMAN sind die Arten, die überlegene Konkurrenten für eine Ressource sind, gleichzeitig unterlegene Konkurrenten für eine andere Ressource (siehe auch SUTTLE & HARRISON 1988, Van DONK & KILHAM 1990). In Konkurrenzexperimenten unter „steady state“-Bedingungen ergeben sich Konkurrenzstärken für die einzelnen Arten bei verschiedenen optimalen N/P-, Si/P- und Si/N-Verhältnissen. Einschränkungen hinsichtlich der Übertragbarkeit dieser Versuchsergebnisse auf Phytoplanktongemeinschaften im Gewässer ergeben sich im wesentlichen durch deren Bindung an „steady state“-Labor-Bedingungen, die im Gewässer meist nicht gegeben sind (siehe Kapitel 4.6.).

Das intrazellulär gemessene Redfield-Verhältnis N:P=16:1 wurde auch näherungsweise bei Süßwasser-algenarten wiedergefunden (RHEE & GOTHAM 1980) und wird oft als Bezugsgröße dafür genutzt, welches der beiden Nährelemente limitierend im Wasserkörper vorliegt. So widerspiegelt das integral gemessene TN/TP-Verhältnis einer Planktonprobe die trophische Situation für die Biomasseentwicklung in den Seen (FORSBERG & RYDING 1980, SMITH 1982). Eine Einschränkung für die Übertragbarkeit des Redfield-Verhältnisses vom marinen Bereich auf das Süßwasser ergibt sich jedoch aus der stärkeren Schwankungsbreite der TN/TP-Verhältnisse in den Seen (VOLLENWEIDER 1985, HECKY et al. 1993). Die TN/TP-Verhältnisse variieren dabei insbesondere in Abhängigkeit vom Ein-

zugsgebiet (DOWNING & McCAULEY 1992) und der jahreszeitlichen Zusammensetzung des Planktons (BEHRENDT 1990).

In der trigonalen Darstellungsweise werden die TN/TP-, SRSi/TN- und SRSi/TP-Verhältnisse gleichzeitig und in Beziehung zueinander abgebildet (Abbn. 14-16). Damit ist es möglich, die Ressourcen-Verfügbarkeit TN:TP, SRSi:TP und SRSi:TN für die Phytoplanktongemeinschaft komplexer, d. h. sowohl für die silikatnutzenden als auch die nicht-silikatnutzenden Algengruppen, darzustellen (siehe auch Kapitel 4. 6.). Die trigonale Darstellungsweise von Konzentrationsverhältnissen, wie sie beispielsweise in der physikalischen Chemie bei der Behandlung von Mehrstoffsystemen weit verbreitet ist (PAUFLER 1981), wird in der limnologischen Literatur nur selten angewendet (z. B. BAILEY-WATTS & KIRIKA 1987, SANDGREN 1988).

Mit der trigonalen Grafik der normierten TN:TP:SRSi-Verhältnisse werden ausschließlich Aspekte der Nährelement-Verfügbarkeit dargestellt. Bei dieser reduzierten Betrachtungsweise kommen beispielsweise die starken Unterschiede in der Leitfähigkeit und in der Gewässermorphometrie zwischen den 11 Gewässern, wie sie in der limnologische Charakteristik in Abb. 10 Berücksichtigung finden, nicht zum Tragen. Trotzdem ergibt sich durch die Dispersion der Gewässerpunkte entsprechend der normierten TN:TP:SRSi-Verhältnisse bereits eine Gewässerdifferenzierung, die im wesentlichen der der limnologischen Gruppenbildung anhand von 7 Parametern entspricht. Dies steht im Einklang mit der oben genannten Literatur, wo am Beispiel von TN und TP gezeigt wird, daß sich trophische Unterschiede zwischen den Gewässern - neben Unterschieden in den absoluten Nährelement-Konzentrationen - auch mittels der Nährelement-Verhältnisse ableiten lassen.

Das Redfield-Verhältnis von N:P=16:1 spielt insbesondere in den polymiktischen Flußseen - dem Großen Müggelsee und dem Langen See - eine Schlüsselrolle. Mit der jahreszeitabhängigen Schwankung der TN/TP-Verhältnisse von Werten über 16 im Frühjahr zu Werten kleiner als 16 im Sommer ergibt sich hier ein Wechsel der relativen Nährelementverfügbarkeit (Abb. 16). So liegen in diesen Gewässern im Frühjahr bevorzugt P- und im Sommer bevorzugt N-Limitationszustände in der Phytoplanktongemeinschaft vor. Die Relevanz des TN/TP-Verhältnisses von 16:1 ergibt sich hier aus der Steuerung der Cyanophyceen-Massenentwicklung vom Frühjahr zum Sommer. So setzt immer mit dem Unterschreiten des TN/TP-Verhältnisses von 16 bei einer niedrigen Populationsdichte von *Planktothrix agardhii* ein starkes Wachstum von *Aphanizomenon flos-aquae* im Großen Müggelsee und Langen See ein (siehe Kapitel 4. 6.).

Abweichungen von den „typischen“ „*Oscillatoria*“- und „*Aphanizomenon flos-aquae*/Micro-cystis spp.“-Jahren ergeben sich 1991 im Langen See und 1993 im Großen Müggelsee sowohl bei der Phytoplanktonentwicklung als auch hinsichtlich der TN/TP-, SRSi/TN- und SRSi/TP-Verhältnisse (Abb. 16). In beiden Gewässern nehmen in diesen Jahren vom Frühjahr zum Sommer die SRSi-Konzentrationen stärker ab, als es sonst in diesen Gewässern üblich ist. Mit der starken Massenentwicklung der Kieselalgen bei relativ niedrigen Biovolumina der Blaualgen ist die Abnahme des TN/TP-Verhältnisses während der Frühjahrs-Sommer-Periode an eine verhältnismäßig starke SRSi-Zehrung gebunden. Damit ergeben sich bereits mit der trigonalen Darstellung der normierten TN/TP-, SRSi/TN- und SRSi/TP-Verhältnisse Hinweise auf die stark abweichenden Phytoplankton-Dominanzstrukturen gegenüber den „typischen“ Gewässerjahren.

4. 8. Frühjahrs/Winter-Plankton und Sommer/Herbst-Plankton

Wegen der allgemein bekannten langen Dauer der Blaualgen-„Sommerblüten“ bis in den Herbst ist zu erwarten, daß sich das Cyanophyceen-Plankton des Frühjahrs deutlich von dem der Sommer/Herbst-Periode unterscheidet. Eine Plankton-Gruppenbildung entsprechend dem saisonalen Vorkommen der Cyanophyceen wäre daher mit den Paaren Frühjahr/Winter und Sommer/Herbst plausibel.

Im Gegensatz zu den Blaualgen werden für die Diatomeen allgemein Massenentwicklungen im Frühjahr und Herbst beschrieben. Insofern wäre zu erwarten, daß die Frühjahrs- und die Herbst-Zusammensetzung des Bacillariophyceen-Planktons einander ähnlich sind und sich stärker von der des Sommers und des Winters unterscheiden. Demnach wäre eine Bacillariophyceen-Gruppenbildung Frühjahr/Herbst und Sommer/Winter naheliegend.

In dem hier untersuchten Gewässerspektrum lassen sich jedoch diese Unterschiede in der Jahresdynamik zwischen dem Cyanophyceen- und dem Bacillariophyceen-Plankton nicht bestätigen. Vielmehr wird deutlich, daß in dem hier untersuchten Gewässerspektrum eine gute Vergleichbarkeit zwischen Cyanophyceen- und Bacillariophyceen-Plankton gegeben ist.

Sowohl beim Cyanophyceen- als auch beim Bacillariophyceen-Plankton zeigt sich die gleiche abgestufte Ähnlichkeit zwischen den 4 jahreszeitspezifischen Planktongruppen. So gilt für beide Algenklassen, daß die Zusammensetzung des Frühjahrs- und des Winterplanktons auf der einen und die des Sommer- und Herbstplanktons auf der anderen Seite relativ ähnlich, dagegen die des Frühjahrs/Winter-Planktons und die des Sommer/Herbst-Planktons recht unähnlich sind. Damit erfolgt ein stärkerer Artenwechsel bzw. ein Dominanzwechsel in den untersuchten Gewässern vom Frühjahr zum Sommer und vom Herbst zum Winter. Dagegen dauert die Planktonzusammensetzung des Winters bis in das Frühjahr und die des Sommers bis in den Herbst fort (Abbn. 35, 36, Abbn. 55, 56).

Damit lassen sich die saisonalen Wechsel der Cyanophyceen- und der Bacillariophyceen-Zusammensetzung in gleicher Weise in Beziehung zur Saisonalität der Nährelementverhältnisse betrachten.

Die Unterschiede in der Nährelementverfügbarkeit für die saisonalen Planktongruppen zeigen sich in der trigonalen Grafik der normierten TN/TP-, SRSi/TN-, SRSi/TP-Verhältnisse (Abbn. 15, 16). Auf der Basis von Saison-Mittelwerten ergibt sich dabei eine Synchronisation zwischen dem saisonalen Wechsel der Planktonzusammensetzung und dem Wechsel der TN/TP-Verhältnisse. In allen Seen, mit Ausnahme des Kieseesees, liegen im Frühjahr annähernd die gleichen TN/TP-Verhältnisse wie im Winter vor. Analog ergeben sich im Sommer ähnliche TN/TP-Verhältnisse wie im Herbst. Dagegen unterscheiden sich die TN/TP-Verhältnisse vom Frühjahr und Winter meist stärker von denen des Sommers und Herbstes. Die Werte der TN/TP-Verhältnisse im Frühjahr und Winter sind meist größer als die von Sommer und Herbst.

Damit wird der stärkere Wechsel in der Phytoplankton-Zusammensetzung vom Frühjahr zum Sommer von einer Erniedrigung der TN/TP-Verhältnisse in den Seen begleitet. Im Saisonmittel bleibt im Sommer und Herbst eine ähnliche Planktonzusammensetzung unter mehr oder weniger vergleichbaren, erniedrigten TN/TP-Verhältnissen erhalten. Zeitgleich mit der Erhöhung der TN/TP-Verhältnisse vom Herbst zum Winter vollzieht sich auch ein stärkerer Wechsel in der Planktonzusammensetzung. Die Saison-Mittelwerte der TN/TP-Verhältnisse und die Planktonzusammensetzung des Winters sind wiederum mit denen des Frühjahrs vergleichbar.

Im Gegensatz zum saisonalen TN/TP-Wechsel zeichnet sich kein synchroner Verlauf für die SRSi/TN-, SRSi/TP-Schwankungen und den saisonalen Wechsel in der Planktonzusammensetzung ab. Damit läßt sich für das hier untersuchte Gewässerspektrum die Schlußfolgerung ziehen, daß der saisonale Wechsel im Cyanophyceen- und Bacillariophyceen-Plankton in einer besonders engen Beziehung zu den saisonalen Schwankungen der TN/TP-Verhältnisse steht. Die Schwankungen der SRSi/TN- bzw. SRSi/TP-Verhältnisse sind damit von untergeordneter Bedeutung gegenüber den TN/TP-Schwankungen.

Die Synchronisation zwischen der saisonalen Dynamik des Cyanophyceen- bzw. Bacillariophyceen-Planktons und der Änderung der TN/TP-Verhältnisse tritt somit in mehreren Gewässern auf, obwohl diese limnologisch recht unterschiedlich sind.

Diese Unabhängigkeit vom konkreten limnologischen Bedingungsgefüge liegt in der Art der Abhängigkeit der Planktonsukzession von der TN/TP-Dynamik begründet. Die Synchronisation reicht über eine direkte Beziehung, d. h. die N- und P-Ressourcennutzung der Algen, hinaus. Gerade indirekte Wechselwirkungen sind von nicht zu unterschätzender Tragweite für diese Synchronität. Sie ergeben sich aus den jahreszeitbedingten Witterungsabläufen mit deren Haupteinflußgrößen Temperatur und Wind (SOMMER et al. 1986, KOHL & NICKLISCH 1988) und sind damit sowohl für die Dynamik der Phytoplanktonentwicklung als auch die Dynamik der TN/TP-Verhältnisse von Bedeutung. Eine detaillierte Kausalkette zu den im Jahresverlauf schwankenden TN/TP-Verhältnissen wird bei DUDEL (1989) gegeben (u. a. Auswirkungen der jahreszeitlich sich ändernden autochthonen und allochthonen Nährstofflast im stark durchflossenen Großen Müggelsee, Erniedrigung des TN/TP-Verhältnisses im Sommer durch starke N-Zehrung im Pelgial infolge Algenmassenentwicklung und P-Rücklösung aus dem Sediment „internal load“). Neben weiteren jahreszeitlich schwankenden Witterungsbedingungen wie dem Lichtdargebot (variierende Tageslängen, unterschiedliche Frequenz der Licht/Dunkel-Wechsel bei Vollzirkulationen bzw. in Stagnationsperioden) wird der Jahresverlauf der Phytoplanktonentwicklung auch durch das periodische Auftreten des Zooplanktons geprägt (KOHL et al. 1994).

Trotz der oben genannten Gemeinsamkeiten beim Cyanophyceen- und Bacillariophyceen-Plankton bezüglich der Saisonalität ergeben sich jedoch auch Unterschiede zwischen beiden Algenklassen und zwar hinsichtlich der Wichtung zwischen der seasonspezifischen und der gewässerspezifischen Verteilung der jeweils 10 repräsentativen Arten und Artengruppen.

Bei den Cyanophyceen zeigen sich gewässerspezifische Unterschiede erst mit Beginn der sommerlichen Planktonentwicklung. Von den 7 Cyanophyceen-Taxa mit einer ausgeprägten jahreszeitspezifischen Biovolumenentwicklung sind 6 ausgesprochene Sommer/Herbst-Taxa. Massenentwicklungen von Blaualgen im Sommer und Herbst werden auch in der Literatur, insbesondere für nährstoffreiche Gewässer, gerade für niedrige N/P-Verhältnisse beschrieben (z. B. SCHREURS 1992, SOMMER et al. 1986).

Im Gegensatz zum Cyanophyceen-Plankton kommen die gewässerspezifischen Unterschiede des Bacillariophyceen-Planktons nicht erst in der Konstellation einer bestimmten jahreszeitlichen Planktonentwicklung klar zum Ausdruck. Stärkere gewässerspezifische Unterschiede zeigen sich hier unabhängig von der saisonal verschiedenen Zusammensetzung des Bacillariophyceen-Planktons. Dies liegt zum einen darin begründet, daß nur 4 der 10 repräsentativen Bacillariophyceen-Taxa eine ausgeprägte seasonspezifische Verbreitung zeigen. Andererseits jedoch ergibt sich im Datensatz der 11 Gewässer auch keine einheitliche saisonale Dynamik des Bacillariophyceen-Planktons.

Mit dem PEG-Modell (SOMMER et al. 1986) wird auf eine Diatomeen-Massenentwicklungen insbesondere im Frühjahr und Herbst verwiesen (siehe auch POULÍCKOVÁ 1993). In dem hier untersuchten Gewässerspektrum zeichnet sich ein derartiger Jahresverlauf **nur** in vereinzelten Jahren ab, z. B. im Parsteiner See 1990, im Flakensee 1990 und im Großen Plagesee 1990/1991. In anderen Gewässerjahren jedoch, wie z. B. im Parsteiner See 1992 und Rosinsee 1990/1992, bleibt eine Massenentwicklung im Frühjahr bzw. Herbst aus. Die krassesten Abweichungen zu der häufig beschriebenen Frühjahrs/Herbst-Massenentwicklung der Diatomeen ergeben sich insbesondere in den flachen Gewässern. So werden in dem Großen Müggelsee, dem Langen See und der Krummen Lake auch im Sommer mehr oder weniger ausgeprägte Massenentwicklungen der Diatomeen beobachtet (Abbn. 18 A-B, 60, 61, 64, 65, 67).

Damit ergeben sich für den gesamten Datensatz der 11 Gewässer keine vorwiegenden Frühjahrs- und Herbstentwicklungen der Diatomeen, so wie sie im PEG-Modell beschrieben werden. Dieser Unterschied liegt maßgeblich darin begründet, daß im PEG-Modell hauptsächlich tiefe und geschichtete Seen berücksichtigt werden. Dagegen ist die Mehrheit der hier untersuchten Seen der Berlin-Brandenburger

Region flach und polymiktisch. Gerade in flachen Gewässern nehmen die Diatomeen auch im Sommer einen entscheidenden Biovolumenanteil ein. So sind gerade in flachen trüben Seen, wie z. B. dem Neusiedler See, wenig ausgeprägte Jahresgänge für die Diatomeen charakteristisch (DOKULIL 1984, DOKULIL & PADISÁK 1993).

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß in den 11 Gewässern die jahreszeitliche Cyanophyceen- und Bacillariophyceen-Planktonentwicklung insofern vergleichbar abläuft, als daß jeweils das Frühjahrs- und Winterplankton einerseits und das Sommer- und Herbstplankton andererseits ähnlich zusammengesetzt sind. Synchron zur saisonalen Änderung der Planktonzusammensetzung verläuft die saisonale Änderung der normierten TN/TP-Verhältnisse. Insofern zeigen sich Parallelen in den limnologisch verschiedenen Gewässern.

Die im PEG-Modell beschriebenen Planktonsukzessionen beziehen hauptsächlich tiefe, geschichtete Seen ein, wogegen die hier untersuchten Seen in der überwiegenden Mehrzahl flach und polymiktisch sind. So sind alleinige Massenentwicklungen der Diatomeen im Frühjahr und Herbst, wie sie im PEG-Modell hervorgehoben werden, in den 11 Gewässern eher untypisch als typisch.

4. 9. Vergleich der Dynamik der Ressourcen-Verhältnisse zwischen den Seen

Die trigonale Darstellung zu den normierten Konzentrationen der drei wesentlichen Nährelemente, nämlich TN, TP und SRSi, ermöglicht die Vergleichbarkeit der Dynamik der TN/TP-, SRSi/TP- und SRSi/TN-Verhältnisse in Beziehung zueinander (Abbn. 15, 16).

Die beiden „polymiktischen Flußseen“, der Große Müggelsee und der Lange See, sind die einzigen der hier untersuchten Seen, bei denen die Saison-Mittelwerte aller drei Makronährelemente, d. h. TN, TP und SRSi, gleichermaßen und erheblich zueinander schwanken (Abbn. 15, 16). Im Einklang mit den stark schwankenden Nährelementverhältnissen zeigen sich insbesondere in diesen Seen Massenentwicklungen der Cyanophyceen und Bacillariophyceen sowohl im Frühjahrs/Winter- als auch im Sommer/ Herbst-Plankton.

Im gleichfalls hypertrophen Flakensee wären aufgrund der ähnlich hohen TP-Konzentrationen und der niedrigen TN/TP-Verhältnisse stärkere Biomasseentwicklungen, insbesondere der Nostocales, zu erwarten gewesen (Abbn. 11, 16). Trotz der langanhaltend niedrigen TN/TP-Verhältnisse ($TN/TP < 16$) tritt hier keine *Aphanizomenon*-Massenentwicklung auf, wie sie vergleichsweise im Großen Müggelsee beobachtet werden konnte (Kapitel 4. 6.).

In der Literatur wird die bevorzugte Massenentwicklung heterocystenbildender Arten bei niedrigen TN/TP-Verhältnissen, d. h. unter Stickstoffmangel, insbesondere für die nährstoffreichen Gewässer beschrieben. So charakterisieren gerade niedrige N/P-Verhältnisse - ebenso wie hohe Wassertemperaturen und niedrige Nitratgehalte - ein Bedingungsgefüge, bei dem zumindest potentiell höhere Luftstickstoff-Bindungsraten durch die Nostocales erreicht werden können (DUDEL 1989). Dennoch bleiben in manchen eutrophen Gewässern diese erwarteten Massenentwicklungen bei niedrigen N/P-Verhältnissen aus. Plausible Erklärungen für eine derart ausbleibende Massenentwicklung können in der Literatur nicht umfassend gegeben werden (SOMMER et al. 1986).

Eine mögliche, phänomenologische Interpretation für die ausbleibende Massenentwicklung der N_2 -fixierenden Algen wird im hier untersuchten Gewässerspektrum in der saisonalen Dynamik von TN gegenüber TP gesehen. Die jahreszeitspezifischen TN/TP-Schwankungen im Gewässer werden im wesentlichen durch gegenläufige Veränderungen beider oder durch Schwankungen nur einer der beiden Nährelementkomponenten, d. h. durch TP **oder** TN, beeinflusst. Um dieses zu erläutern, wird die Dynamik der TN/TP-Verhältnisse und der Cyanophyceen-Entwicklung im folgenden anhand von drei

Seen mit einer „stabilen saisonalen Folge der sich ändernden TN/TP-Verhältnisse“, und zwar anhand vom Großen Müggelsee, Flakensee und Parsteiner See, verglichen.

Im Müggelsee steht die Entwicklung des Cyanophyceen-Planktons in enger Beziehung zu den sich ändernden TN/TP-Verhältnissen (siehe Kapitel 4. 6.). Die jahreszeitabhängigen Schwankungen des TN/TP-Verhältnisses werden hier durch die Dynamik sowohl der TN- als auch der TP-Konzentrationen bedingt. So entwickeln sich im Frühjahr bei verhältnismäßig niedrigen TP-Konzentrationen meist höhere Populationsdichten der Oscillatoriales. Im Sommer und Herbst dagegen treten bei verhältnismäßig niedrigen TN-Konzentrationen Massenentwicklungen der Nostocales auf.

Im Unterschied zum Großen Müggelsee wird die saisonale Dynamik der TN/TP-Verhältnisse im Flakensee und Parsteiner See nur von einer der beiden Nährelementkomponenten bestimmt.

Im Flakensee wird die saisonale Dynamik von TN/TP fast ausschließlich durch die sich ändernden TP-Konzentrationen bedingt, wogegen sich die TN-Konzentrationen über den gesamten Untersuchungszeitraum auf einem mehr oder weniger stabilen niedrigen Niveau bewegen. Insofern kann die Dynamik der Phytoplanktonentwicklung im Flakensee in engerer Beziehung zur Dynamik der TP-Konzentrationen und weniger zu der der TN-Konzentrationen gesehen werden. Dementsprechend zeigt sich in dem Gewässer eine mit den anderen hypertrophen Seen vergleichbare Frühjahrsentwicklung der Oscillatoriales, hingegen bleibt eine entsprechende Sommer-Herbst-Massenentwicklung der Nostocales jedoch aus.

Im Unterschied zum Flakensee variieren im Parsteiner See die TN-Konzentrationen stärker als die relativ konstanten TP-Konzentrationen. Insofern müßte hier die Dynamik des Phytoplanktons stärker an die Dynamik der TN-Konzentrationen gekoppelt sein. Im Gegensatz zum Flakensee tritt unter der stärkeren Dynamik der TN-Konzentrationen keine deutliche Frühjahrsentwicklung der Oscillatoriales auf. Dafür entwickeln sich aber im Sommer für den Parsteiner See vergleichsweise hohe Biomassen der Nostocales.

Insofern könnte die unterschiedliche Dynamik von TN und TP bei den schwankenden TN/TP-Verhältnissen stärker für die jahreszeitspezifische Cyanophyceen-Entwicklung von Bedeutung sein. Es deutet sich an, daß im Flakensee zwar langfristig niedrige TN/TP-Verhältnisse vorliegen, jedoch aufgrund der ausbleibenden TN-Dynamik sich keine „Initialisierung“ für die Massenentwicklung der Nostocales ergibt. Diese Vermutung müßte anhand eines größeren Gewässerspektrums geprüft werden. Es wird somit hier nicht der Anspruch auf Allgemeingültigkeit der Aussagen erhoben.

4. 10. Das Oberfläche/Volumen-Verhältnis

Biovolumen und Oberfläche sind quantitative Parameter für die Phytoplanktonanalyse. Das Gesamt-Biovolumen ist ein genähertes Äquivalent für die Gesamtphytoplankton-Biomasse. Vorausgesetzt, die Licht- und Nahrungsaufnahme ist näherungsweise proportional der Zell-Membran-Oberfläche, ergeben sich mit dem Oberfläche/Volumen-Verhältnis des Gesamtphytoplanktons Aussagen zum physiologischen Zustand der Phytoplanktongemeinschaft. Kulturversuche haben mehrfach gezeigt, daß Algen mit einer relativ großen Zell-Oberfläche und einem kleinen Volumen höhere Wachstumsraten aufweisen als Algen mit einem großen Zellvolumen und relativ kleiner Oberfläche (SMITH & KALFF 1983, MIZUNO 1991).

Als Auswahlkriterium zur Differenzierung zwischen großen und kleinen Zellformen in Planktongemeinschaften wird in der Literatur häufiger das Maß der maximalen Zell-Länge verwendet („GALD“ = „Greatest axial linear dimension“ LEWIS 1976, siehe auch „mean maximal linear dimension“ in REYNOLDS 1988).

BAILEY-WATTS (1986) beschreibt auf der Basis der GALD die Größenspektren in einer Phytoplanktongemeinschaft zu verschiedenen Jahreszeiten. Der Nachteil dieses Kriteriums wird jedoch anhand des

stark streuenden Größenspektrums im Frühlajrsplankton deutlich. So werden die Abweichungen von den einheitlich kleinen Formen im Größenspektrum beispielsweise auf die großen Zell-Längen von *Synedra* und *Asterionella* zurückgeführt. Aus der Abb. 25 geht jedoch hervor, daß sich auf der Basis von Oberfläche/Volumen-Verhältnissen auch für *Synedra* (*Fragilaria ulna*) und *Asterionella* ähnlich hohe Werte wie beispielsweise für die einzelligen zentrischen Diatomeen *Stephanodiscus minutulus/parvus* und *Cyclostephanos dubius* ergeben. Nach GROVER (1989 b) sind sowohl kleine kugelförmige Algenzellen als auch langgestreckte und nadelförmige Zellformen, wie bei *Fragilaria ulna* und *Nitzschia acicularis*, vorteilhaft für den P-Wettbewerb. Damit ist neben der Zellgröße gerade die Zellform von entscheidender Bedeutung für die Ressourcen-Konkurrenz.

Da die Zellmorphologie im Oberfläche/Volumen-Verhältnis umfassender als in den GALD-Angaben Berücksichtigung findet, wird das Oberfläche/Volumen-Verhältnis als geeignetere Datenbasis für die Beschreibung eines physiologisch relevanten Größenspektrums im Phytoplankton der 11 Gewässer angesehen. Das Verhältnis von Zell-Oberfläche zu Zell-Volumen ergibt sich aus der **Geometrie der Algen-Zellformen**.

Die Jahresdynamik der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse im Gesamt-Phytoplankton resultiert aus den variierenden Anteilen von Zellformen mit einer relativ großen Oberfläche und kleinem Volumen gegenüber Zellformen mit einer relativ kleinen Oberfläche und großem Volumen. Schwankungen der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse werden maßgeblich durch den Dominanzwechsel zwischen Algenarten mit einem großen Oberfläche/Volumen-Verhältnis und solchen mit einem kleinen Oberfläche/Volumen-Verhältnis im Phytoplankton bedingt.

Der Trend zum Wechsel von hohen Oberfläche/Volumen-Verhältnissen des Gesamtphytoplanktons im Frühjahr zu niedrigeren Oberfläche/Volumen-Verhältnissen im Früh- bzw. Spätsommer zeigt sich in allen 11 untersuchten Gewässern gleichermaßen mehr oder weniger deutlich (Abb. 22 A-C). Die hohen Oberfläche/Volumen-Verhältnisse des Gesamtphytoplanktons im Frühjahr werden maßgeblich durch die Frühjahrs-Massenentwicklung von Arten mit relativ großen Oberflächen und geringen Volumina - z. B. von Arten der Oscillatoriales, Pennales und einzelligen zentrischen Diatomeen - bedingt (Abbn. 23-25).

In der Literatur wird die Dominanz von Arten mit einem großen Oberfläche/Volumen-Verhältnis im Frühjahrs-Plankton auf eine Selektion von r-Strategen zurückgeführt. So entwickeln sich unter den Bedingungen der unlimitierten Nährelementverfügbarkeit im zeitigen Frühjahr insbesondere schnell wachsende Arten mit meist kleinen Zellkörpern (SOMMER 1981; REYNOLDS 1986, 1988). Es sind Arten mit einem kleinen Verhältnis zwischen Respiration und maximaler Photosynthese (HARRIS 1978). Sie sind durch eine vergleichsweise hohe Teilungsrate und einen hohen prozentualen Chlorophyll-a-Gehalt je Trockengewicht gekennzeichnet (Gruppen nach MARGALEF in CUSHING 1989).

Dominante Populationsdichten von Algen mit hohen Oberfläche/Volumen-Verhältnissen werden jedoch nicht nur während der Frühjahrs-Vollzirkulation, sondern auch bei starken Turbulenzen des Wassers in der Sommerstagnations-Periode beobachtet (REYNOLDS 1986, PADISÁK et al. 1988, ROJO & ALVAREZ COBELAS 1993). Wegen der einerseits kurzen Tageslängen im Frühjahr und dem andererseits hochfrequenten Licht/Dunkel-Wechsel in trüben turbulenten Gewässern sind für diese Algenarten Schwachlicht-Bedingungen relevant.

Für zwei Diatomeenarten mit sehr hohen Oberfläche/Volumen-Verhältnissen, nämlich *Nitzschia acicularis* und *Stephanodiscus minutulus*, konnten KOHL & GIERSDORF (1991) auch unter Licht-Limitation hohe Wachstumsraten belegen. Für *Limnithrix redekei* mit charakteristisch hohen Oberfläche/Volumen-Verhältnissen im Vergleich zu einer Vielzahl anderer Cyanophyceen-Arten wurde eine effiziente Nutzung des Lichtdargebotes bei schnellem Licht/Dunkel-Wechsel nachgewiesen (NICKLISCH & KOHL 1989, hohe Oberfläche/Volumen-Verhältnisse der drei zuletzt genannten Arten siehe Abbn. 24

und 25). Während der Frühjahrs-Massenentwicklung erreichen diese drei genannten Arten hohe Bio-volumenanteile in den 11 Gewässern.

Mit der Abnahme der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse vom Frühjahr zum Sommer nimmt der Anteil der Algenzellen mit großer Oberfläche und kleinem Volumen ab. Dies wird hauptsächlich auf den zunehmenden Fraßdruck durch das Zooplankton zurückgeführt, da in diesem Prozeß insbesondere die kleinzelligen Algen selektiert werden (u. a. HRBACEK 1964, SOMMER et al. 1986).

Nach SOMMER (1981) wird im Sommerplankton das „*Ceratium*-Stadium“ als eindeutigste Vorherrschaft der K-Selektion beschrieben. Aus den detaillierten Algen-Größenspektren im Sommerplankton von BAILEY-WATTS (1986) läßt sich jedoch erkennen, daß zwar Algen mit großen Zell-Dimensionen vermehrt vorkommen, dennoch im Sommer wiederum eine Vielzahl von Algen mit kleinen Dimensionen im Plankton vertreten sind (siehe auch Phasen starker Turbulenzen während der Sommer-Stagnationsphase, Text vorher). So ergeben sich auch im Anschluß an die Frühjahrsperiode für die 11 Gewässer eher differenzierte Oberfläche/Volumen-Verhältnisse, die in Abhängigkeit vom Untersuchungsjahr und vom Gewässer variieren. Damit beschränkt sich der Trend zu einer vergleichbaren Oberfläche/Volumen-Dynamik in den 11 Gewässern ausschließlich auf die Periode des Frühjahrs.

Trotz dieser Unterschiede in der Jahresdynamik der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse, der verschiedenen Zusammensetzung der Phytoplanktongemeinschaften und auch der unterschiedlich hohen Biomasseentwicklung in den 11 Gewässern ergeben sich mit Ausnahme der beiden „dystrophen Seen“ weitestgehend vergleichbare mittlere Oberfläche/Volumen-Verhältnisse (Abb. 26). In den „dystrophen Seen“, d. h. in der Krummen Lake und dem Großen Plagesee, sind dagegen sowohl stärker schwankende als auch zeitweise sehr hohe Oberfläche/Volumen-Verhältnisse auffallend.

Schwankungen der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse ergeben sich auch innerhalb von Arten im Jahresverlauf. Im Verlauf der Populationsentwicklung einzelliger zentrischer Diatomeenarten ändert sich der Anteil von Frusteln mit großem Oberfläche/Volumen-Verhältnis gegenüber denen mit einem kleinen Oberfläche/Volumen-Verhältnis (Abbn. 69-74).

Die jahreszeitlichen Schwankungen der Zellgrößen bei einzelligen zentrischen Diatomeen werden in der Literatur mehrfach beschrieben (BELLINGER 1977, ROUND 1982, JEWSON 1992, PÉREZ-MARTÍNEZ et al. 1992, SCHEFFLER 1994). Dabei wird oft eine starke Abnahme der mittleren Zelldurchmesser im Zusammenhang mit den vegetativen Zellteilungen während der Massenentwicklung im Frühjahr beobachtet. In Übereinstimmung damit zeigt sich auch in den hier untersuchten Gewässern häufig eine Zunahme des Anteils von Zellen mit einer relativ großen Oberfläche, aber kleinem Volumen während der Massenentwicklung der Art.

Eine sprunghafte Zunahme des Anteils großer Valven bei *Stephanodiscus neoastraea* beschreibt JEWSON (1992) für die Phasen der generativen Fortpflanzung. Die generative Vermehrung wurde dabei jährlich während einer 3-4 wöchigen Periode im Spätsommer beobachtet. Die maximale Auxosporenbildung von *Cyclotella ocellata* wurde von PÉREZ-MARTÍNEZ et al. (1992) im Juli festgestellt, wobei Prae- und Primär-Auxosporen über einen längeren Zeitraum (Juni-September) gesehen wurden. Auch BELLINGER (1977) zeigt anhand der jahreszeitlichen Schwankungen der Zellgrößen bei *Stephanodiscus neoastraea*, daß nur einmal im Jahr während einer kurzen Periode im Sommer die Wiederherstellung der Ausgangs-Zellgröße erreicht wird.

Auch in den hier untersuchten Gewässern ist offensichtlich, daß eine starke Zunahme des Anteils von Frusteln mit kleinem Oberfläche/Volumen-Verhältnis häufig im Sommer und damit gerade nicht während der Massenentwicklung der Art verläuft.

Trotz dieser allgemein übereinstimmenden Trends kann keine zwangsläufige Synchronisation der Schwankungen der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse bei verschiedenen Arten in einem Gewässer oder bei einer Art in verschiedenen Gewässern und verschiedenen Untersuchungsjahren beobachtet werden.

Währenddessen PÉREZ-MARTÍNEZ et al. (1992) eingipflige Häufigkeitsverteilungen der Valvendurchmesser beschreiben, ergeben sich in den Planktonproben bei ROUND (1982) klar bimodale Häufigkeitsverteilungen der Valvendurchmesser. Auch JEWSON (1992) beobachtet zeitweise bimodale Häufigkeitsverteilungen und führt dies darauf zurück, daß ein Lebenszyklus länger als 1 Jahr dauern kann. Mit der grafischen Darstellung der Häufigkeitsverteilung wird das Überlappen der Valven-Größenspektren mehrerer Populationen offensichtlich. Damit ist jedoch auch nicht zu erwarten, daß die Gesamtheit der in einer Planktonprobe gemessenen Valvendurchmesser einer Art normalverteilt sein müßte. Gerade die Eigendynamik der einzelnen Populationen wird dann auch keine zwangsläufig gleichmäßige Schwankung der mittleren Oberfläche/Volumen-Verhältnisse hervorrufen. So ergeben sich auch in den beiden hier untersuchten, stark durchflossenen „polymiktischen Flußseen“ keine gleichmäßigen Schwankungen der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse (Abbn. 71-74). Dagegen stellt sich ein gleichmäßig verlaufender Wechsel der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse mit einer Schwingungsdauer von einem Jahr eher in den beiden „mesotrophen, dimiktischen Seen“ ein (Abbn. 69 und 70).

Für die hier dargestellten 4 Gewässer zeigt sich die Tendenz, daß *Stephanodiscus hantzschii* noch im späten Frühjahr (März bis April), *Cyclotella radiosa* dagegen meist erst im Spätsommer (Sommer-Herbst) den Umkehrpunkt von zunehmenden zu abnehmenden Oberfläche/Volumen-Verhältnissen erreicht. Aufgrund der allgemein recht unterschiedlich verlaufenden Schwankungen, insbesondere bei den anderen hier dargestellten Arten, wird jedoch auch für *S. hantzschii* und *C. radiosa* kein Anspruch auf Allgemeingültigkeit erhoben.

Die Abnahme der Valvendurchmesser in der Phase der Massenentwicklung wird sowohl in Analogie zum oben beschriebenen Wettbewerbsvorteil bei der Nährelementaufnahme als auch hinsichtlich der Erniedrigung der Sinkgeschwindigkeit diskutiert (z. B. PÉREZ-MARTÍNEZ et al. 1992). Insofern wird in der Reduktion der Valvendurchmesser ein Wettbewerbsvorteil gesehen.

Eine theoretische Betrachtung der Abhängigkeit des Volumen/Oberfläche-Verhältnisses von Durchmesser und Höhe bei zylinderförmigen Körpern veranschaulicht jedoch, daß eine Verringerung des Valvendurchmessers nicht zwangsläufig zu einer wesentlichen Änderung des Volumen/Oberfläche-Verhältnisses führen muß (Abb. 68 A). Konstante Volumen/Oberfläche-Verhältnisse der Frusteln ergeben sich trotz Zellteilungsfolgen theoretisch gerade bei Frusteln mit einem großen Valvendurchmesser und einer geringen Zellhöhe, da hier eine drastische Abnahme der Valvendurchmesser bereits durch eine nur minimale Vergrößerung der Zellhöhe kompensiert werden kann. Selbst wenn bei einer angenommenen starken Abnahme des Valvendurchmessers die Zellhöhe konstant bleibt, wird sich das Volumen/Oberfläche-Verhältnis zentrischer Diatomeen mit großem Valvendurchmesser/Zellhöhe-Verhältnis nur geringfügig ändern (Erklärung für wechselnde Bezugnahme auf das Oberfläche/Volumen- bzw. das Volumen/ Oberfläche-Verhältnis siehe S. 152).

Während bei einer Vielzahl von Freilanduntersuchungen und Kulturversuchen detaillierte Messungen zur Häufigkeitsverteilung von Valvendurchmessern vorgenommen wurden, werden Schwankungen der Zellhöhen seltener beschrieben. Jedoch zeigen bereits die wenigen Untersuchungen an Algenkulturen und natürlichen Populationen, daß in der Folge vegetativer Zellteilungen die Dimension der Pervalvarachse bei verschiedenen Diatomeenarten unterschiedlich variiert (BURSCHE 1961, GEISSLER 1970 b, KLING 1992). So sind konstante, zunehmende bzw. abnehmende Zellhöhen beobachtet worden. Damit deutet sich an, daß eine Änderung des Valvendurchmessers nicht zwangsläufig eine gerichtete Änderung der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse bewirkt. Stärkere Änderungen der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse können sich demnach ergeben, müssen aber nicht auftreten. Daher muß eine Abnahme des

Valvendurchmessers bei einzelligen zentrischen Diatomeen, insbesondere bei Frusteln mit einem großen Valvendurchmesser/Zellhöhe-Verhältnis, auch nicht zwangsläufig zu einem Wettbewerbsvorteil führen. Insofern kann auch die eigentliche Bedeutung bezüglich der Verringerung der Valvendurchmesser in der Induktion der Phase der generativen Vermehrung gesehen werden. Das Erreichen einer kritischen Valvengröße, bei der eine Differenzierung in Geschlechtszellen einsetzt, wird von JEWSON (1992) als ein „cell clock mechanism“ zur Kontrolle der Frequenz der generativen Fortpflanzung bezeichnet. In diesem Sinn, vorausgesetzt die Auxosporenbildung verläuft nur einmal massiv im Jahr bei den hier gezeigten einzelligen zentrischen Diatomeenarten (Abbn. 69-74), kann mit einem klaren Wechsel von zunehmenden zu abnehmenden Oberfläche/Volumen-Verhältnissen die Phase der generativen Fortpflanzung markiert werden.

KLING (1993) diskutiert die rapide Zellgrößen-Reduktion als Adaptation an Umweltbedingungen. So wird eine starke Größenreduktion bei *Asterionella formosa* insbesondere bei SRSi-Limitation sowie bei Temperaturzunahme beobachtet. Eine starke Reduktion der Schalengröße infolge Siliziumlimitation zeigt sich desgleichen bei anderen Kulturversuchen, z. B. bei *Tabellaria flocculosa* (DOKULIL & KOFLER 1994).

Eine Variation der Zellgrößen in Abhängigkeit vom unterschiedlichen Siliziumangebot wird auch in dem hier untersuchten Gewässerspektrum deutlich. Ein Vergleich der mittleren Valvendurchmesser sowie der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse von *Cyclotella radiosa* zeigt, daß insbesondere in den Gewässern mit sehr niedrigen SRSi-Konzentrationen, d. h. in den beiden „dystrophen Gewässern“, Frusteln mit kleinen Valvendurchmessern (Abb. 5) und hohen Oberfläche/Volumen-Verhältnissen (Abb. 75) vorherrschen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Oberfläche/Volumen-Verhältnisse physiologisch relevante Aspekte differenziert zum Ausdruck bringen. Damit ist es sinnvoll, neben dem Biovolumen auch die Oberfläche/Volumen-Verhältnisse in Phytoplanktonanalysen einzubeziehen.

5. Zusammenfassung

Die Struktur und Dynamik des Phytoplanktons verschiedener Gewässertypen, die im Berlin-Brandenburger Raum und darüber hinaus im nordostdeutschen Flachland häufig anzutreffen sind, werden in Abhängigkeit von limnologischen Einflußgrößen untersucht. Insgesamt werden dabei 11 Gewässer über einen Zeitraum von bis zu 4 Jahren vergleichend analysiert.

Anhand von Hauptkomponentenanalysen und Hierarchischen Clusteranalysen zeigt sich, daß die limnologisch ähnlichen Gewässer, die hier in „polymiktische Flußseen“, „mineralreiche Gewässer“, „dimiktische, mesotrophe Seen“ und „dystrophe Seen“ gruppiert werden, auch eine mehr oder weniger ähnliche Arten-Zusammensetzung des Phytoplanktons aufweisen. Umgekehrt kann gezeigt werden, daß sich in limnologisch verschiedenen Gewässergruppen zugleich differenzierte Arten-Dominanzstrukturen des Phytoplanktons entwickeln. Die zwei unabhängig durchgeführten Gewässergruppierungen, d. h. die limnologisch definierte Gruppenbildung und die über die Phytoplanktonstrukturen bestimmte Gruppenbildung, decken sich damit weitestgehend.

Diese gute Übereinstimmung der planktologischen mit der limnologischen Gruppenbildung zeigt sich mehrfach auf der Basis von Biovolumenanteilen der Arten und Artengruppen, nicht aber anhand der Biovolumenanteile höherer Algentaxa wie Klassen und Ordnungen.

Für die limnologische Gruppierung der Gewässer in „polymiktische Flußseen“, „mesotrophe, dimiktische Seen“ und „dystrophe Seen“ sind hauptsächlich trophische und morphometrische Parameter von Bedeutung. Dagegen ist für die limnologische Gruppenbildung der „mineralreichen Gewässer“ die Leitfähigkeit ausschlaggebend. Bei den „mineralreichen Gewässern“ lassen sich zwar anhand des Cyanophyteen-Planktons noch alle vier Gewässer klar dieser einen Gewässergruppe zuordnen, jedoch zeigen sich angesichts des Bacillariophyteen-Planktons und der dominanten Arten verschiedener Algenklassen Unterschiede in den Planktonstrukturen zwischen den drei Gewässern der „Flakenseegruppe“ und dem Kieseel. Damit ist hier das Kriterium Leitfähigkeit für eine limnologische Gewässergruppenbildung, konform gehend mit der Phytoplanktongruppierung, weniger geeignet.

In den 11 Gewässern wurden mehr als 200 Algentaxa gefunden. Die differenzierten Phytoplanktonstrukturen in den limnologisch verschiedenen Gewässern lassen sich jedoch bereits mit einer reduzierten Anzahl von Arten und Artengruppen klar kennzeichnen. So leiten sich die wesentlichen Unterschiede in der Zusammensetzung des Cyanophyteen- bzw. Bacillariophyteen-Planktons aus den Biovolumenanteilen von nur jeweils 10 Taxa der beiden Algenklassen ab. Die Extraktionen dieser sogenannten repräsentativen Arten bzw. Artengruppen der Cyanophyteen- bzw. Bacillariophyteen-Planktongemeinschaften basieren auf Hauptkomponentenanalysen.

Nach der Kanonischen Korrespondenzanalyse ergeben sich Unterschiede in der Zusammensetzung des Cyanophyteen-Planktons insbesondere entlang eines Gradienten der TN/TP-Verhältnisse und der Leitfähigkeit. Unterschiede in der Bacillariophyteen-Zusammensetzung stehen hauptsächlich in Beziehung zu den stark variierenden SRSi- und Chlorophyll-a-Konzentrationen sowie den schwankenden SRSi/TN-Verhältnissen im Gewässerspektrum.

In den 11 Gewässern läuft die jahreszeitliche Abfolge der Cyanophyteen- und Bacillariophyteen-Planktonentwicklung vergleichbar ab. Aus Hauptkomponentenanalysen und Diskriminanzanalysen leitet sich für beide Algenklassen ab, daß einerseits das Frühjahrs- und Winterplankton und andererseits das Sommer- und Herbstplankton ähnlich zusammengesetzt sind. Damit verläuft der saisonale Wechsel in der Zusammensetzung des Cyanophyteen- und Bacillariophyteen-Planktons überwiegend synchron zu den jahreszeitlichen Änderungen der TN/TP-Verhältnisse. Schwankungen der SRSi/TN- bzw. SRSi/TP-Verhältnisse sind hierbei von untergeordneter Bedeutung.

Von den jeweils 10 repräsentativen Arten und Artengruppen der hier untersuchten Cyanophyceen- und Bacillariophyceen-Planktongemeinschaften liegen seasonspezifische Biovolumenentwicklungen bei 7 Taxa der Cyanophyceen, aber nur bei 4 Taxa der Bacillariophyceen vor. *Limnothrix redekei*, *Nitzschia acicularis*, *Stephanodiscus neoastraea* sind Arten mit ausgesprochen starker Biovolumenentwicklung im Frühjahr und im Winter. Dagegen entwickeln *Anabaena flos-aquae*, *A. lemmermannii*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa* s.l., *Planktolyngbya subtilis*, *Planktothrix agardhii*, *Aulacoseira* spp. und *Actinocyclus normanii* höhere Biovolumina insbesondere im Sommer und im Herbst. Deutliche gewässerspezifische Unterschiede in der Cyanophyceen-Zusammensetzung ergeben sich erst mit der Entwicklung des Sommer- und Herbstplanktons. Im Gegensatz dazu zeigen sich im Bacillariophyceen-Plankton die gewässerspezifischen Unterschiede eher unabhängig vom saisonalen Verlauf der Planktonentwicklung.

Für das Gesamt-Phytoplankton ergibt sich neben der jahreszeitspezifischen Biovolumenentwicklung auch eine saisonale Dynamik der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse. Dabei zeigt sich ein Wechsel von hohen Oberfläche/Volumen-Verhältnissen im Frühjahr zu niedrigeren Oberfläche/Volumen-Verhältnissen im Früh- bzw. Spätsommer in allen 11 untersuchten Gewässern gleichermaßen. Die hohen Oberfläche/Volumen-Verhältnisse des Gesamtphytoplanktons im Frühjahr werden maßgeblich durch die Frühjahrs-Massenentwicklung von Arten mit relativ großer Oberfläche und geringem Volumen - z. B. von Arten der Oscillatoriales, Pennales und einzelligen zentrischen Diatomeen - bedingt. Im Anschluß an die Frühjahrsperiode ergeben sich jedoch differenzierte Entwicklungen der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse, die in Abhängigkeit vom Untersuchungsjahr und vom Gewässer variieren.

Die trigonale Grafik der normierten TN-, TP- und SRSi-Konzentrationen ermöglicht die Vergleichbarkeit der Dynamik der TN/TP-, SRSi/TP- und SRSi/TN-Verhältnisse. Die limnologisch ähnlichen Gewässer einer Gruppe zeigen meist auch eine ähnliche saisonale Dynamik der TN/TP-, SRSi/TN- und SRSi/TP-Verhältnisse. Bei den „mineralreichen Gewässern“ und „dimiktischen, mesotrophen Seen“ sind stärkere saisonale Konzentrationsschwankungen von SRSi bei saisonal nur geringfügig schwankenden TN/TP-Verhältnissen auffällig. Dagegen werden in den „dystrophen Seen“, insbesondere in der Krummen Lake, bei nahezu gleichbleibend niedrigen SRSi-Konzentrationen relativ hohe saisonale Schwankungen der TN/TP-Verhältnisse offensichtlich. Lediglich in der Gewässergruppe der „polymiktischen Flußseen“ ergeben sich sowohl für TN und TP als auch für SRSi erhebliche relative Konzentrationsschwankungen im Jahresverlauf. Nur in diesen Gewässern, insbesondere im Großen Müggelsee und Langer See, streuen die Saisonmittelwerte stark um das kritische TN/TP-Verhältnis von 16:1. Die Besonderheit dieser stark durchflossenen, hypertrophen Seen zeigt sich nicht nur in einer starken Dynamik beim Wechsel der Nährelementverfügbarkeit, sondern auch in einer starken Dynamik beim Wechsel der Phytoplanktonstrukturen. Obwohl die beiden Flußseen Großer Müggelsee und Langer See limnologisch sehr ähnlich sind und auch ein nahezu identisches Artenspektrum in den Phytoplanktongemeinschaften vorliegt, entwickeln sich hier zwei verschiedene Cyanophyceen-Dominanzstrukturen, nämlich ein *Planktothrix*(*Oscillatoria*)- bzw. ein *Aphanizomenon*-dominiertes Plankton. Die Differenzierung in eine der beiden Dominanzstrukturen erfolgt dabei jeweils unmittelbar nach Unterschreiten des kritischen TN/TP-Verhältnisses von 16. Liegt zu diesem Zeitpunkt eine niedrige Populationsdichte von *Planktothrix agardhii* vor, setzt in beiden Flußseen ein starkes Wachstum von *Aphanizomenon flos-aquae* ein. Bestehen jedoch zum Zeitpunkt des Unterschreitens des kritischen TN/TP-Verhältnisses bereits höhere Biovolumina von *Planktothrix agardhii*, etabliert sich diese Art auch weiterhin im Jahresverlauf.

Abrupte Wechsel bzw. fließende Übergänge zwischen beiden Cyanophyceen-Dominanzstrukturen in ein und demselben Gewässer werden zugleich von Änderungen der Bacillariophyceen-Zusammensetzung begleitet. Typische Begleiter der *Planktothrix agardhii*-Dominanzstruktur („*Oscillatoria*“-Jahre) sind neben der Blualge *Aphanizomenon gracile* die Kieselalgen *Stephanodiscus hantzschii*, *Cyclotella*

dubius und *Actinocyclus normanii*. Dagegen treten in der typischen Planktonzusammensetzung der „*Aphanizomenon flos-aquae*/Microcystis spp.“-Jahre neben den namensgebenden Cyanophyceen-Taxa stärkere Biovolumenentwicklungen der Kieselalgen *Stephanodiscus neoastraea* und *Aulacoseira* spp. auf. Mit der trigonalen Darstellung der normierten Konzentrationen der drei wesentlichen Nährelemente, d. h. TN, TP und SRSi, wird die TN/TP-, SRSi/TN- und SRSi/TP-Ressourcen-Verfügbarkeit in Beziehung zueinander und damit gleichzeitig sowohl für silikatnutzende als auch für silikاتفreie Algen in einer Phytoplanktongemeinschaft angezeigt. In den beiden Flußseen Großer Müggelsee und Langer See, wo die Cyanophyceen und Bacillariophyceen mehr als 90 % des Gesamtbiovolumens einnehmen, lassen sich veränderte saisonale Schwankungen der voneinander abhängig dargestellten, normierten TN-, TP- und SRSi-Konzentrationen durch einen Dominanzwechsel zwischen beiden Algenklassen, d. h. zwischen den silikatnutzenden und den silikاتفreien Algen, und damit durch starke Abweichungen von den „typischen“ Dominanzstrukturen während des hier untersuchten Zeitraumes erklären.

Bei einer speziell schonenden Präparation von Diatomeenzellen aus Planktonproben wird das Auseinanderfallen der beiden Theken einer Zelle verhindert. Somit kann im Lichtmikroskop die morphologische Variabilität zwischen den zwei Theken einer Zelle diagnostiziert werden. Bei *Cyclotella kuetzingiana*/ *ocellata*/*comensis* treten iso- und heterovalvare Zellen auf. Mit der Untersuchung der größtmöglichen morphologischen Verschiedenheit zwischen den beiden zusammengehörigen Theken einer Zelle einerseits und dem gleitenden Übergang zwischen morphologisch ähnlichen Theken verschiedener Zellen andererseits lassen sich Theken mit „*C. kuetzingiana* var. *radiosa*“- , „*C. kuetzingiana* var. *planetophora*“- , „*C. ocellata*“- und „*C. comensis*“-Muster gedanklich vereinen. Daraus wird die Zuordnung dieser polymorphen Theken zu einer einzigen Art abgeleitet.

Literaturverzeichnis

- ANAGNOSTIDIS, K. & KOMAREK, J. (1985): Modern approach to the classification system of cyanophytes - 1 Introduction. *Archiv für Hydrobiologie*, **71**,1-2(38,39), 291-302.
- ANAGNOSTIDIS, K. & KOMAREK, J. (1988 a): Modern approach to the classification system of cyanophytes - 3 Oscillatoriales. *Archiv für Hydrobiologie*, **80**,1-4(50-53), 327-472.
- ANAGNOSTIDIS, K., ECONOMOU-AMILLI, A. & TAFAS, T. (1988 b): *Aphanizomenon* sp. from Lake Trichonis, Hellas (Greece) - A taxonomic consideration in relation to morphological and ecological parameters. *Archiv für Hydrobiologie*, **80**, 1-4 (50-53), 529-543.
- ANTON, A. & DUTHIE, H. (1980): Use of cluster analysis in systematics of the algal genus *Cryptomonas*. *Canadian Journal Botany*, **59**, 992-1002.
- ANWAND, K. (1973): Gewässerverzeichnis der Seen- und Flußfischerei der Deutschen Demokratischen Republik. 100 pp. Institut für Binnenfischerei Berlin-Friedrichshagen, Berlin.
- BACKHAUS, K., ERICHSON, B., PLINKE, W. & WEIBER, R. (1994): Multivariate Analysemethoden - Eine anwendungsorientierte Einführung. 594 pp. Springer-Verlag, Berlin·Heidelberg·New York·London·Paris·Tokyo·Hong Kong·Barcelona·Budapest.
- BAILEY-WATTS, A. E. (1986): Seasonal variation in size spectra of phytoplankton assemblages in Loch Leven, Scotland. *Hydrobiologia*, **138**, 25-42.
- BAILEY-WATTS, A. E. & KIRIKA, A. (1987): A re-assessment of phosphorus inputs to Loch Leven (Kinross, Scotland): rationale and an overview of results on instantaneous loadings with special reference to runoff. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, **78**, 351-367.
- BAKER, K. K. (1981): Ecology and taxonomy of five natural populations of the genus *Aphanizomenon* Morren (Cyanophyceae). *Archiv für Hydrobiologie*, **92**, 222-251.
- BARTELL, S. M., ALLEN, T. F. H. & KOONCE, J. F. (1978): An assessment of principal component analysis for description of phytoplankton periodicity in Lake Wingra. *Phycologia*, **17**, 1-11.
- BARTHELMES, D. (1978): Langfristige, biologische Veränderungen im Großen Müggelsee (Berlin), einige Kennzahlen des jetzigen Zustandes und bisherige Auswirkungen: I. Makrophyten. *Zeitschrift für Binnenfischerei der DDR*, **25**, 171-175.
- BEHRENDT, H. (1990): The chemical composition of phytoplankton and zooplankton in an eutrophic shallow lake. *Archiv für Hydrobiologie*, **118**, 129-145.
- BELLINGER, E. G. (1977): Seasonal size changes in certain diatoms and their possible significance. *British phycological Journal*, **12**, 233-239.
- BORTZ, J. (1985): Lehrbuch der Statistik. Für Sozialwissenschaftler. 891 pp. Springer-Verlag, Berlin·Heidelberg·New York·Tokyo.
- BURSCHE, E.-M. (1955): Beitrag zur Frage des "Krautschwundes" in H₂S-Oscillatorien-Seen. *Zeitschrift für Fischerei*, **4**, 53-99.
- BURSCHE, E.-M. (1961): Änderungen im Chlorophyllgehalt und im Zellvolumen bei Planktonalgen, hervorgerufen durch unterschiedliche Lebensbedingungen. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie*, **46**, 610-652.
- CAIOLA, M. G., PELLEGRINI, S. & RIALDONE, A. (1987): Ultrastructural aspects of *Microcystis* in blooms of Lake Varese. *Nova Hedwigia*, **45**,1-2, 137-146.
- CHANG, T.-P. (1988): Morphological remarks on *Pseudanabaena mucicola* (HUBER-PESTALOZZI et NAUMANN) (BOURELLY) CHANG. *Archiv für Hydrobiologie*, **80**,1-4(50-53), 59-70.
- CHANG, T. P. & STEINBERG, C. (1989): Identifizierung von nanoplanktischen Kieselalgen (Centrales, Bacillariophyceae) in der Rott und im Rott-Stausee (Bayern, Bundesrepublik Deutschland). *Archiv Protistenkunde*, **137**, 111-129.
- CLEVE-EULER, A. (1951): Die Diatomeen von Schweden und Finnland. In: Kungliga Svenska Vetenskaps-akademiens Handlingar, Vol. **4** (2/1).
- COX, E. J. (1993): Diatom systematics - a review of past and present practice and a personal vision for future development. *Nova Hedwigia, Beih.* **106**, 1-20.
- CRONBERG, G. & WEIBULL, C. (1981): *Cyanodictyon imperfectum*, a new chroococcal blue-green alga from Lake Trummen, Sweden. *Archiv für Hydrobiologie*, **60**,2(27), 101-110.
- CROXTON, F. E. & COWDEN, D. J. (1955): Applied General Statistics. 843 pp. Prentice-Hall Inc., New York.

- CUSHING, D. H. (1989): A difference in structure between ecosystems in strongly stratified waters and in those that are only weakly stratified. *Journal of Plankton Research*, **11**, 1-13.
- DAVEY, M. C. (1987): Seasonal variation in the filament morphology of the freshwater diatom *Melosira granulata* (Ehrenb.) Ralfs. *Freshwater Biology*, **18**, 5-16.
- DILLARD, G. E. (1991): Freshwater algae of Southeastern United States. Part 5: Chlorophyceae: Zygnematales: Desmidiaceae (Section 3). *Bibliotheca Phycologia*, **90**, 1-193.
- DOKULIL, M., METZ, H. & JEWSON, D. (1980): Shallow lakes. Contribution to their limnology. 212 pp. In: *Devel. in Hydrobiol.*, Vol. **3**.
- DOKULIL, M. (1984): Assessment of components controlling phytoplankton photosynthesis and bacterioplankton production in a shallow, alkaline, turbid lake (Neusiedlersee, Austria). *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie*, **69**, 679-727.
- DOKULIL, M. & PADISÁK, J. (1993): Langfristige (1968 -1990) und jahreszeitliche Dynamik der planktischen Diatomeen im Neusiedler See. In: BFB-Bericht 79, 5-11. Biologisches Forschungsinstitut für Burgenland, Illmitz.
- DOKULIL, M. T. (1994): Environmental control of phytoplankton productivity in turbulent turbid systems. *Hydrobiologia*, **289**, 65-72.
- DOKULIL, M. T. & KOFLER, S. (1994): Ecology and autecology of *Tabellaria flocculosa* var. *asterionelloides* Grunow (Bacillariophyceae) with remarks on the validation of the species name. In: *Proceedings of the 13th International Diatom Symposium 1994* (D. Marino, M. Montresor eds), 23-38. Biopress Ltd, Bristol.
- DOWNING, J. A. & McCAULEY, E. (1992): The nitrogen:phosphorus relationship in lakes. *Limnol. Oceanogr.*, **37**, 936-945.
- DROOP, M. R. (1983): 25 years of algal growth kinetics - a personal view. *Botanica Marina*, **26**, 99-112.
- DUDEL, E. G. (1989): Über die Bedeutung der Luftstickstoffbindung durch Blaualgen (Cyanobacteria) für den Stickstoffhaushalt eutropher Gewässer. Dissertation B, Humboldt-Universität zu Berlin.
- DUDEL, G. & KOHL, J.-G. (1991): Contribution of dinitrogen fixation and denitrification to the N-budget of shallow lake. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie*, **24**, 884-888.
- ECONOMOU-AMILLI, A. & SPARTINO, M. (1991): The diversity of *Cyanodictyon imperfectum* (Chroococcales, Cyanophyceae) in Lake Amvrakia, Greece. *Algological Studies*, **64**, 105-114.
- EDLER, L. (1979): Recommendations for marine biological studies in the Baltic Sea, phytoplankton and chlorophyll. *Baltic Marine Biologists*, **5**, 1-38.
- ETTL, H. (1980): *Grundriß der allgemeinen Algologie*. 549 pp. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart-New York.
- ETTL, H. (1983): Chlorophyta I: Phytomonadina. 807 pp. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Vol. **9**, (H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer, eds), Gustav Fischer Verlag, Jena.
- ETTL, H. & GÄRTNER, G. (1988): Chlorophyta II: Tetrasporales, Chlorococcales, Gloeodendrales. 436 pp. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Vol. **10**, (H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer, eds), Gustav Fischer Verlag, Jena.
- ETTL, H. (1993): Bemerkungen zur gegenwärtigen Diatomeen-Systematik. *Nova Hedwigia*, **56**, 367-388.
- FISCHER, R., PADEL, E. & SCHINDLER, H. (1975): *Physikalisch-technische Einheiten - richtig angewandt*. 32 pp. Verlag Technik, Berlin.
- FISCHER, W., GROSSER, K. H., MANSIK, K.-H., WEGENER, U. (1982): Die Naturschutzgebiete der Bezirke Potsdam, Frankfurt (Oder) und Cottbus sowie der Hauptstadt der DDR, Berlin. 292 pp. In: *Handbuch der Naturschutzgebiete der Deutschen Demokratischen Republik* (H. Weinitschke, ed.), Vol. **2**, Urania Verlag, Leipzig-Jena-Berlin.
- FORSBERG, C. & RYDING, S. O. (1980): Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 waste-receiving Swedish lakes. *Archiv für Hydrobiologie*, **69**, 189-207.
- FOY, R. H. (1983): Interaction of temperature and light on the growth rates of two planktonic *Oscillatoria* species under a short photoperiod regime. *British phycological Journal*, **18**, 267-273.
- GEISSLER, U. (1970 a): Die Schalenmerkmale der Diatomeen - Ursachen ihrer Variabilität und Bedeutung für Taxonomie. *Nova Hedwigia, Beih.* **31**, 511-535.
- GEISSLER, U. (1970 b): Die Variabilität der Schalenmerkmale bei den Diatomeen. *Nova Hedwigia*, **19**, 623-773.
- GEISSLER, U. (1982): Experimentelle Untersuchungen zur Variabilität der Schalenmerkmale bei einigen zentralen Süßwasser-Diatomeen. 1. Der Einfluß unterschiedlicher Salzkonzentrationen auf Valva-Durchmesser von *Stephanodiscus hantzschii* GRUNOW. *Nova Hedwigia, Beih.* **73**, 211-247.

- GEISSLER, U. (1986): Experimental investigations on the variability of frustule characteristics of several freshwater diatoms - 2. The influence of different salt concentrations on some valve structures of *Stephanodiscus hantzschii* GRUNOW. In: Proceedings of the 8th International Diatom Symposium Paris 1984 (M. Ricard, ed.), 59-66. Koeltz Scientific Books, Königstein/Taunus.
- GEISSLER, U. & JAHN, R. (1986): Intraspecific taxa of diatoms as indicator of water quality? In: Proceedings of the 8th International Diatom Symposium Paris 1984 (M. Ricard, ed.), 766-772. Koeltz Scientific Books, Königstein/Taunus.
- GEITLER, L. (1932): Cyanophyceae. In: Rabenhorst's Kryptogamenflora (R. Kolkwitz, ed.), 1196. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig.
- GREUTER, W., BURDET, H. M., CHALONER, W. G., DEMOULIN, V., GROLLE, R., HAWKSWORTH, D. L., NICOLSON, D. H., SILVA, P. C., STAFLEU, F. A., VOSS, E. G., McNEILL, J. (1989): Internationaler Code der Botanischen Nomenklatur - Angenommen durch den 14. Internationalen Kongreß Berlin, Juli-August 1987. 120 pp. In: Englera, Vol. **11**, Direktion des Botanischen Gartens und Botanischen Museums, Berlin-Dahlem.
- GROVER, J. P. (1989 a): Effects of Si:P supply ratio, supply variability, and selective grazing in the plankton: An experiment with a natural algal and protistan assemblage. *Limnol. Oceanogr.*, **34**, 349-367.
- GROVER, J. P. (1989 b): Influence of cell shape and size on algal competitive ability. *Journal Phycology*, **25**, 402-405.
- HÅKANSSON, H. (1986 a): A taxonomic reappraisal of some *Stephanodiscus* species (Bacillariophyta). *British phycological Journal*, **21**, 25-37.
- HÅKANSSON, H. (1986 b): A study of species belonging to the *Cyclotella bodanica/compta* complex (Bacillariophyceae). In: Proceedings of the 9th International Diatom Symposium Bristol 1986 (F. E. Round, ed.), 329-354. Koeltz Scientific Books, Königstein/Taunus.
- HÅKANSSON, H. & CARTER, J. R. (1990): An interpretation of HUSTEDT's terms "Schattenlinie", "Perlenreihe" and "Höcker" using specimens of the *Cyclotella radiosa* complex, *C. distinguenda* HUST., and *C. cyclopuncta* nov. sp. *Journal Iowa Acad. Sci.*, **97**, 153-156.
- HÅKANSSON, H. (1990): A comparison of *Cyclotella krammeri* sp. nov. and *C. schumannii* Håkansson stat. nov. with similar species. *Diatom Research*, **5**, 261-271.
- HÅKANSON, L. & WALLIN, M. (1991): An outline of ecometric analysis to establish load diagrams for nutrients/eutrophication. *Environmetrics*, **2**, 49-68.
- HÅKANSSON, H. (1993): Morphological and taxonomic problems in four *Cyclotella* species (Bacillariophyceae). *Diatom Research*, **8**, 309-316.
- HÅKANSSON, H. & BAILEY-WATTS, A. E. (1993): A contribution to the taxonomy of *Stephanodiscus hantzschii* GRUNOW, a common freshwater planktonic diatom. *Diatom Research*, **8** (2), 317-332.
- HARRIS, G. P. (1978): Photosynthesis, productivity and growth; the physiological ecology of phytoplankton. *Ergeb. Limnol.*, **10**, 17.
- HAWORTH, E. Y. & HURLEY, M. A. (1986): Comparison of the stelligeroid taxa of the centric diatom genus *Cyclotella*. In: Proceedings of the 8th International Diatom Symposium Paris 1984 (M. Ricard, ed.), 43-58. Koeltz Scientific Books, Königstein/Taunus.
- HAWORTH, E. Y. (1983): A scanning electron microscope study of *Cyclotella stelligera* and related taxa. In: Rapport fra Diatomésymposium i Bergen mai 1983. In: Botanical Museum Rapport (Aasheim, ed.), Vol. **33**, 15-25.
- HECKY, R. E., KLING, H. J. & BRUNSKILL, G. J. (1986): Seasonality of phytoplankton in relation to silicon cycling and interstitial water circulation in large, shallow lakes of Central Canada. *Hydrobiologia*, **138**, 117-126.
- HECKY, R. E., CAMPBELL, P. & HENDZEL, L. L. (1993): The stoichiometry of carbon, nitrogen, and phosphorus in particulate matter of lakes and oceans. *Limnol. Oceanogr.*, **38**, 709-724.
- HEGEWALD, E. (1989): The *Scenedesmus* strains of the culture collection of the University of Texas at Austin (UTEX). *Archiv für Hydrobiologie*, **82**, 2(55), 153-189.
- HEGEWALD, E. & SCHNEPF, E. (1991): *Scenedesmus abundans* (KIRCHN.) CHOD., an older name for *Chlorella fusca* SHIH. et KRAUSS. *Archiv Protistenkunde*, **139**, 133-176.
- HEILER, S. & MICHELS, P. (1994): Deskriptive und explorative Datenanalyse. 280 pp. In: Lehr- und Handbücher der Statistik, (R. Schlittgen, ed.), R. Oldenbourg Verlag, München.
- HENRION, G., HENRION, A. & HENRION, R. (1988): Beispiele zur Datenanalyse mit Basic-Programmen. 363 pp. Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin.

- HENRION, R. & HENRION, G. (1995): Multivariate Datenanalyse. Methodik und Anwendung in der Chemie und verwandten Gebieten. 261 pp. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-London-Paris-Tokyo-Hong Kong-Barcelona-Budapest.
- HEYNIG, H. (1976): Beobachtungen an zwei Cryptomonaden. Archiv Protistenkunde, **118**, 92-97.
- HICKEL, B. & POLLINGHER, U. (1988): Mass development of an iron precipitating cyanophyte (*Cyanodictyon imperfectum*) in a subtropical lake (Lake Kinneret, Israel). Phycologia, **27**, 291-297.
- HICKEL, B. & HÅKANSSON, H. (1993): *Stephanodiscus alpinus* in Plußsee, Germany: Ecology, morphology and taxonomy in combination with initial cells. Diatom Research, **8**, 89-98.
- HILL, D. (1991): *Chroomonas* and other blue-green cryptomonads. Journal Phycology, **27**, 133-145.
- HOLZMANN, R. (1994): Struktur und Dynamik von Phytoplankton-Gesellschaften: Eine vergleichende Analyse von 11 Seen der Naturschutzgebiete Eggstätt-Hernhofer Seenplatte und Seoner Seen. 239 pp. In: Berichte aus der Biologie, Verlag Dr. Chaled Shaker, Aachen.
- HRBACEK, J. (1964): Contribution to the ecology of water-blooms forming blue-green algae *Aphanizomenon flos-aquae* and *Microcystis aeruginosa*. Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie, **15**, 837-846.
- HUBER-PESTALOZZI, G. & HUSTEDT, F. (1942): Das Phytoplankton des Süßwassers - Systematik und Biologie, 2. Teil, 2. Hälfte: Diatomeen. 549 pp. In: Die Binnengewässer - Einzeldarstellungen aus der Limnologie und ihren Nachbargebieten, Vol. **16**, (A. Thienemann, ed.), E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Erwin Nägele), Stuttgart.
- HUBER-PESTALOZZI, G. (1961): Das Phytoplankton des Süßwassers - Systematik und Biologie, 5. Teil: Chlorophyceae (Grünalgen), Ordnung: Volvocales. 744 pp. In: Die Binnengewässer - Einzeldarstellungen aus der Limnologie und ihren Nachbargebieten, Vol. **16**, (A. Thienemann, ed.), E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart.
- HUBER-PESTALOZZI, G. & FOTT, B. (1972): Das Phytoplankton des Süßwassers - Systematik und Biologie, 6. Teil: Chlorophyceae (Grünalgen), Ordnung: Tetrasporales. 116 pp. In: Die Binnengewässer - Einzeldarstellungen aus der Limnologie und ihren Nachbargebieten, Vol. **16**, (H.-J. Elster & W. Ohle, eds), E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart.
- HUBER-PESTALOZZI, G. & FÖRSTER, K. (1982): Das Phytoplankton des Süßwassers - Systematik und Biologie, 8. Teil, 1. Hälfte: Conjugatophyceae, Zygnematales und Desmidiales (excl. Zygnemataceae). 543 pp. In: Die Binnengewässer - Einzeldarstellungen aus der Limnologie und ihren Nachbargebieten, Vol. **16**, (H.-J. Elster & W. Ohle, eds), E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart.
- HUMPHRIES, S. E. & WIDJAJA, F. (1979): A simple method for separating cells of *Microcystis aeruginosa* for counting. British phycological Journal, **14**, 313-316.
- HUSTEDT, F. (1945): Diatomeen aus Seen und Quellgebieten der Balkan-Halbinsel. Archiv für Hydrobiologie, **40**, 867-973.
- JAVORNICKY, P. (1976): Minute species of the genus *Rhodomonas*. Archiv Protistenkunde, **118**, 98-106.
- JEWSON, D. H. (1992): Life cycle of a *Stephanodiscus* sp. (Bacillariophyta). Journal Phycology, **28**, 856-866.
- JONGMAN, R. H. G., BRAAK, C. J. F. & VAN TONGEREN, O. F. R. (1987): Data analysis in community and landscape ecology. 299 pp. Pudoc, Wageningen.
- KADLUBOWSKA, J. Z. (1984): Conjugatophyceae I (Chlorophyta VIII): Zygnemales. 532 pp. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa, Vol. **16**, (H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer, eds), Gustav Fischer Verlag, Jena.
- KISS, K. T., LE COHU, R., COSTE, M., GENKAL, S. I. & HOUK, V. (1990): *Actinocyclus normanii* (Bacillariophyceae), in some rivers and lakes in Europe. Morphological examinations and quantitative relations. Ouvrage dédié à H. Germain, 111-123.
- KLAVERNESS, D. (1985): Classical and modern criteria for determining species of Cryptophyceae. Bulletin of Plankton Society of Japan, **32**, 111-123.
- KLEE, R. & STEINBERG, C. (1987): Kieselalgen Bayerischer Gewässer. In: Informationsberichte - Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Loseblattsammlung, Vol. **4**, Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft, München.
- KLEE, R. & HOUK, V. (1996): Morphology and ultrastructure of *Cyclotella waltereckii* Hustedt (Bacillariophyceae). Archiv Protistenkunde, **147**, 19-27.
- KLING, H. J. (1992): Valve development in *Stephanodiscus hantzschii* Grunow (Bacillariophyceae) and its implications on species identification. Diatom Research, **7**, 241-257.

- KLING, H. J. (1993): *Asterionella formosa* Ralfs: The process of rapid size reduction and its possible ecological significance. *Diatom Research*, **8**, 475-479.
- KOBAYASI, H., KOBAYASHI, H. & IDEI, M. (1985): Fine structure and taxonomy of the small and tiny *Stephanodiscus* (Bacillariophyceae) species in Japan - 3. Co-occurrence of *Stephanodiscus minutulus* (KÜTZ.) ROUND and *S. parvus* STOERM. et HÅK. *Japanese Journal of Phycology* (Sôri), **33**, 293-300.
- KOHL, J.-G., DUDEL, G., SCHLANGSTEDT, M. & KÜHL, H. (1985): Zur morphologischen und ökologischen Abgrenzung von *Aphanizomenon flos-aquae* RALFS ex BORN. et FLAHL. und *A. gracile* (LEMM.) LEMM. *Archiv Protistenkunde*, **130**, 119-131.
- KOHL, J.-G. & NICKLISCH, A. (1988): *Ökophysiologie der Algen - Wachstum und Ressourcennutzung*. 253 pp. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart-New York.
- KOHL, J.-G., SCHLANGSTEDT, M. & DUDEL, G. (1989): Stabilization of growth during combined nitrogen starvation of the planktic blue-green alga *Anabaena solitaria* by dinitrogen fixation. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.*, **33**, 457-464.
- KOHL, J.-G., DUDEL, G., HENZE, R., NICKLISCH, A., TEUBNER, K. & TIPPMANN, P. (1991): Langzeittrends und multistabile Zustände im Phytoplankton eines polymiktischen Fluß-Sees (Großer Müggelsee, Berlin). In: *Erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung 1991 (30.9.-6.10.) in Mondsee* (Deutsche Gesellschaft für Limnologie, ed.), 228-232.
- KOHL, J.-G. & GIERSDORF, K. (1991): Competition ability of two planktic diatoms under different vertical light gradients, mixing-depth and -frequencies: An experimental approach. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie*, **24**, 2652-2656.
- KOHL, J.-G., NICKLISCH, A., DUDEL, G., HENNING, M., KÜHL, H., WOITKE, P., LUCK, K., TEUBNER, K., SCHIWETZ, T., FEYERABEND, H., ROHRLACK, T. & DRESCHER, I. (1994): *Ökologischer Zustand und Stabilität von Flußseen von Spree und Dahme und ihre Reaktionen auf Belastungsänderungen*. Fachgruppe Ökologie, Institut für Biologie, Humboldt-Universität zu Berlin. Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben. Förderkennzeichen: Bundesminister für Forschung und Technologie BEO 339400A, 66 pp.
- KOMAREK, J. & ETTL, H. (1958): *Algologische Studien*. 359 pp. Verlag der Tschechoslowakischen Akademie der Wissenschaften, Prag.
- KOMAREK, J. & VAVRA, J. (1967): Identity of a blue-green alga *Marssoniella elegans* with a microsporidian *Gurleya* sp. *Journal of Protozoology*, **14**, Suppl. 139.
- KOMAREK, J. & VAVRA, J. (1968): In memoriam of *Marssoniella* LEMM. 1900. *Archiv Protistenkunde*, **111**, 12-17.
- KOMAREK, J. & ANAGNOSTIDIS, K. (1986): Modern approach to the classification system of cyanophytes - 2 Chroococcales. *Archiv für Hydrobiologie*, **73**, 2(43), 157-226.
- KOMAREK, J. (1987): Species concept in coccal green algae. *Archiv für Hydrobiologie*, **73**, 4(45), 437-471.
- KOMAREK, J. & HINDAK, F. (1988): Taxonomic review of natural populations of the cyanophytes from the *Gomphosphaeria*-complex. *Archiv für Hydrobiologie*, **80**, 1-4(50-53), 203-225.
- KOMAREK, J. & ANAGNOSTIDIS, K. (1989): Modern approach to the classification system of cyanophytes - 4 Nostocales. *Archiv für Hydrobiologie*, **82**, 3(56), 247-345.
- KOMAREK, J. (1991): A review of water-bloom forming *Microcystis* species, with regard to populations from Japan. *Algological Studies*, **64**, 115-127.
- KOMAREK, J. & CASLAVSKA, J. (1991): Thylakoid pattern in oscillatorioid cyanophytes. *Algological studies*, **64**, 267-270.
- KOMAREK, J. & MARVAN, P. (1992): Morphological differences in natural populations of the genus *Botryococcus* (Chlorophyceae). *Archiv Protistenkunde*, **141**, 65-100.
- KOMARKOVA, J. (1988): Morphological variation in natural populations of *Anabaena lemmermannii* in respect to existence of *Anabaena utermoehlii*. *Archiv für Hydrobiologie*, **80**, 1-4(50-53), 93-108.
- KOMARKOVA-LEGNEROVA, J. & CRONBERG, G. (1992): New and recombined filamentous cyanophytes from lakes in South Scania, Sweden. *Algological Studies*, **67**, 21-31.
- KOMARKOVA-LEGNEROVA, J. & ELORANTA, P. (1992): Planktic blue-green algae (Cyanophyta) from Central Finland (Jyväskylä region) with special reference to the genus *Anabaena*. *Algological Studies*, **67**, 103-133.
- KOMARKOVA-LEGNEROVA, J. & CRONBERG, G. (1994): Planctonic blue-green algae from lakes in South Scania, Sweden. Part I. Chroococcales. *Algological Studies*, **72**, 13-51.

- KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H. (1986): Bacillariophyceae, 1. Teil: Naviculaceae. 876 pp. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa, Vol. 2, (H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer, eds), Gustav Fischer Verlag, Jena.
- KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H. (1991): Bacillariophyceae 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. 576 pp. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa, Vol. 2, (H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer, eds), Gustav Fischer Verlag, Stuttgart-New York.
- KRIENITZ, L., WACHSMUTH, G. & KLEIN, G. (1990): Über *Ankyra lanceolata* (KORSIKOV) FOTT (Chlorophyta, Chlorococcales). Algological Studies, **59**, 75-80.
- KRIENITZ, L. (1992): Algologische Beobachtungen in Gewässern des Biosphärenreservates "Steckby-Lödderitzer Forst" (Deutschland) II. Limnologia, **22**, 51-81.
- KUGRENS, P. & LEE, R. E. (1986): Cell form and surface patterns in *Chroomonas* and *Cryptomonas* cells (Cryptophyta) as revealed by scanning electron microscopy. Journal Phycology, **22**, 512-522.
- LAMPERT, W. & SOMMER, U. (1993): Limnökologie. 440 pp. Georg Thieme Verlag, Stuttgart-New York.
- LANGE-BERTALOT, H. (1980): Zur systematischen Bewertung der bandförmigen Kolonien bei *Navicula* und *Fragilaria*. Nova Hedwigia, **33**, 723-755.
- LANGE-BERTALOT, H. (1988): Die Gattung *Tabellaria* unter besonderer Berücksichtigung von *Tabellaria ventricosa* KÜTZING (Bacillariophyceae). Nova Hedwigia, **46**, 413-431.
- LANGE-BERTALOT, H. (1990): Current biosystematic research on diatoms and its implications for the species concept. Limnetica, **6**, 13-22.
- LE CREN, E. D. & LOWE-MCCONNEL, R. H. (1980): The functioning of freshwater ecosystems. 588 pp. In: Int. Biol. Programme, Vol. 22, Cambridge University Press, Cambridge.
- LEONARDSON, L. (1984): Does N₂ fixation meet the nitrogen requirements of heterocystous blue-green algae in shallow eutrophic lakes? (Ecologia (Berlin), **63**, 398-404.
- LEWIS Jr., W. M. (1976): Surface/volume ratio: Implications for phytoplankton morphology. Science, **192**, 885-887.
- LING, H. U. & TYLER, P. A. (1995): *Staurostrum tohopekaligense* species cluster. Algological Studies, **76**, 27-60.
- LUND, J. W. G. (1962): A rarely recorded but very common british alga, *Rhodomonas minuta* SKUJA. British phycol. Bull., **2,3**, 133-139.
- MAKULLA, A. & SOMMER, U. (1993): Relationships between resource ratios and phytoplankton species composition during spring in five north German lakes. Limnol. Oceanogr., **38**, 846-856.
- MAUCH, E. (1976): Leitformen der Saprobität für die biologische Gewässeranalyse. Band 1-5 In: Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, Vol. 21.
- MEFFERT, M.-E. (1975): Analysis of the population dynamics of *Oscillatoria redekei* van Goor in Lake Edeberg. Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie, **19**, 2682-2688.
- MEFFERT, M.-E., OBERHÄUSER, R. & OVERBECK, J. (1981): Morphology and taxonomy of *Oscillatoria redekei* (Cyanophyta). British phycological Journal, **16**, 107-114.
- MEFFERT, M.-E. (1988): *Limnothrix* MEFFERT nov. gen. Archiv für Hydrobiologie, **80,1-4(50-53)**, 269-276.
- MICHEL, J. (1990): Untersuchungen zu einem Systemansatz für die limnochemische Gewässeranalytik. 171 pp. In: Ökosystemforschung und Gewässerbewirtschaftung, Vol. 2, (Gesellschaft für Gewässerbewirtschaftung mbH & Fachgebiet Limnologie der Technischen Universität Berlin, eds), Gesellschaft für Gewässerbewirtschaftung mbH, Berlin.
- MIZUNO, M. (1991): Influence of cell volume on the growth and size reduction of marine and estuarine diatoms. Journal Phycology, **27**, 473-478.
- MORTENSEN, E., JEPPESEN, E., SØNDERGAARD, M. & KAMP NIELSEN, L. (1994): Nutrient dynamics and biological structure in shallow freshwater and brackish lakes. 507 pp. In: Devel. in Hydrobiol., Vol. **94**.
- NICKLISCH, A. & KOHL, J.-G. (1989): The influence of light on the primary production of two planctic blue-green algae. Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol., **33**, 451-455.
- NICKLISCH, A., ROLOFF, B. & RATSCH, A. (1991): Competition experiments with two planktic blue-green algae (Oscillatoriaceae). Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie, **24**, 889-892.

- NICKLISCH, A. (1994): Does mortality by nitrogen deficiency influence the succession of *Limnotherix redekei* and *Planktothrix agardhii*? Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie, **25**, 2214-2217.
- NIXDORF, B. & HOEG, S. (1993): Phytoplankton - community structure, succession and chlorophyll content in Lake Müggelsee from 1979 to 1990. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie, **78**, 359-377.
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) (1982): Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. 154 pp. OECD, Paris.
- PADISÁK, J., TOTH, L. G. & RAJCZY, M. (1988): The role of storms in the summer succession of the phytoplankton community in a shallow lake (Lake Balaton, Hungary). Journal of Plankton Research, **10**, 249-265.
- PAUFLER, P. (1981): Phasendiagramme. 177 pp. In: Wissenschaftliche Taschenbücher, Vol. **267**, (W. Holzmüller, A. Lösche, H. Reichardt & H.-J. Treder, eds), Akademie-Verlag, Berlin.
- PÉREZ-MARTINEZ, C., CRUZ-PIZARRO, L. & SANCHEZ-CASTILLO, P. (1992): Auxosporulation in *Cyclotella ocellata* (Bacillariophyceae) under natural and experimental conditions. Journal Phycology, **28**, 608-615.
- PETERSON HOLM, N. & ARMSTRONG, D. E. (1981): Role of nutrient limitation and competition in controlling the populations of *Asterionella formosa* and *Microcystis aeruginosa* in semicontinuous culture. Limnol. Oceanogr., **26**, 622-634.
- PICKETT-HEAPS, J., SCHMID, A.-M. M. & EDGAR, L. A. (1990): The cell biology of diatom valve formation. In: Progress in Phycological Research (F. E. Round & D. J. Chapman, eds), Vol. **7**, 1-168. Biopress Ltd., Bristol.
- POPOVSKY, J. & PFIESTER, L. A. (1990): Dinophyceae (Dinoflagellida). 272 pp. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa, Vol. **6**, (H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer, eds), Gustav Fischer Verlag, Jena-Stuttgart.
- POULÍCKOVÁ, A. (1993): Ecological study of seasonal maxima of centric diatoms. Algological Studies, **68**, 85-106.
- REYNOLDS, C. S. & JAWORSKI, G. H. M. (1978): Enumeration of natural *Microcystis* populations. British phycological Journal, **13**, 269-277.
- REYNOLDS, C. S. (1984): Phytoplankton periodicity: The interactions of form, function and environmental variability. Freshwater Biology, **14**, 111-142.
- REYNOLDS, C. S. (1986): Experimental manipulations of the phytoplankton periodicity in large limnetic enclosures in Blelham Tarn, English Lake District. Hydrobiologia, **138**, 43-64.
- REYNOLDS, C. S. (1988): Functional morphology and the adaptive strategies of freshwater phytoplankton. In: Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton (C. D. Sandgren, ed.), 388-433. Cambridge University Press, Cambridge-New York-Port Chester-Melbourne-Sydney.
- RHEE, G.-Y. & GOTHAM, I. J. (1980): Optimum N:P ratios and coexistence of planktonic algae. Journal Phycology, **16**, 486-489.
- ROJO, C. & ALVAREZ COBELAS, M. (1993): Hypertrophic phytoplankton and the Intermediate Disturbance Hypothesis. Hydrobiologia, **249**, 43-57.
- ROSS, R., COX, E. J., KARAYEVA, N. I., MANN, D. G., PADDOCK, T. B. B., SIMONSEN, R. & SIMS, P. A. (1979): An amended terminology for the siliceous components of the diatom cell. Nova Hedwigia, Beih. **64**, 513-533.
- ROTT, E. (1981): Some results from phytoplankton counting intercalibrations. Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie, **43**, 34-62.
- ROUND, F. E. (1982): Auxospore structure, initial valves and the development of populations of *Stephanodiscus* in Farmoor Reservoir. Annals of Botany, **49**, 447-459.
- ROUND, F. E., CRAWFORD, R. M. & MANN, D. G. (1990): The diatoms. Biology and morphology of the genera. 747 pp. Cambridge University Press, Cambridge.
- ROUND, F. E. (1991): On stria patterns in *Fragilaria* and *Synedra*. Diatom Research, **6**, 147-154.
- RÜCKER, J. (1992): Untersuchungen zur Bestimmung von Art und Grad von Wachstumslimitationen planktischer Cyanophyceen als Beitrag zur Kausalanalyse von Algenmassenentwicklungen. Dissertation A, Humboldt-Universität zu Berlin.
- RUZICKA, J. (1977): Die Desmidiaceen Mitteleuropas. 292 pp. Vol. **1** (1. Lieferung), E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart.

- RUZICKA, J. (1981): Die Desmidiaceen Mitteleuropas. 443 pp. Vol. 1 (2. Lieferung), E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart.
- SACHS, L. (1992): Angewandte Statistik. Anwendung statistischer Methoden. 848 pp. Springer-Verlag, Berlin·Heidelberg·New York·London·Paris·Tokyo·Hong Kong·Barcelona·Budapest.
- SANDGREN, C. D. (1988): The ecology of chrysophyte flagellates: Their growth and perennation strategies as freshwater phytoplankton. In: Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton (C. D. Sandgren, ed.), 9-104. Cambridge University Press, Cambridge·New York·Port Chester·Melbourne·Sydney.
- SANTORE, U. J. (1984): Some aspects of taxonomy in the Cryptophyceae. *New Phytologist*, **98**, 627-646.
- SCHEFFLER, W. (1994): *Cyclotella pseudocomensis* nov. sp. (Bacillariophyceae) aus norddeutschen Seen. *Diatom Research*, **9**, 355-369.
- SCHINDLER, D. W. (1978): Factors regulating phytoplankton production and standing crop in the world's freshwaters. *Limnol. Oceanogr.*, **23**, 478-486.
- SCHMIDT, R. (1993): Environmental changes in two adriatic coastal lakes in the time interval 7,500-5,000 B.P. (Atlantic) with special reference to the diatom succession of *Cyclotella*. *Limnologia*, **23** (1) 47-58.
- SCHMID, A.-M. M. (1994): Aspects of morphogenesis and function of diatom cell walls with implications for taxonomy. *Protoplasma*, **181**, 43-60.
- SCHREURS, H. (1992): Cyanobacterial dominance - relations to eutrophication and lake morphology, Academisch Proefschrift, Universiteit van Amsterdam.
- SCHULTZ, M. E. & TRAINOR, F. R. (1969): Production of male gametes and auxospores in a polymorphic clone of the centric diatom *Cyclotella*. *Canadian Journal Botany*, **48**, 947-951.
- SEIP, K. L. & REYNOLDS, C. S. (1995): Phytoplankton functional attributes along trophic gradient and season. *Limnol. Oceanogr.*, **40**, 589-597.
- SLADECEK, V. (1973): System of water quality from the biological point of view. *Archiv für Hydrobiologie*, **7**, *Ergebn. Limnol.*, 1-218.
- SMITH, R. E. H. & KALFF, J. (1983): Competition for phosphorus among co-occurring freshwater phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, **28**, 448-464.
- SMITH, V. H. (1982): The nitrogen and phosphorus dependence of algal biomass in lakes: An empirical and theoretical analysis. *Limnol. Oceanogr.*, **27**, 1101-1112.
- SNEATH, P. H. A. & SOKAL, R. (1973): Numerical taxonomy: The principles and practice of numerical classification. 573 pp. W. H. Freeman and Company, San Francisco.
- SOMMER, U. (1981): The role of *r*- and *K*-selection in the succession of phytoplankton in Lake Constance. *Acta Oecologica/Oecologia Generalis*, **2**, 327-342.
- SOMMER, U. (1983): Nutrient competition between phytoplankton species in multispecies chemostat experiments. *Archiv für Hydrobiologie*, **96**, 399-416.
- SOMMER, U. (1985): Comparison between steady state and non-steady competition: Experiments with natural phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, **30**, 335-346.
- SOMMER, U. (1986): The periodicity of phytoplankton in Lake Constance (Bodensee) in comparison to other deep lakes of central Europe. *Hydrobiologia*, **138**, 1-7.
- SOMMER, U., GLIWICZ, Z. M., LAMPERT, W. & DUNCAN, A. (1986): The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Archiv für Hydrobiologie*, **106**, 433-471.
- SOMMER, U. (1988 a): Growth and survival strategies of planktonic diatoms. In: Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton (C. D. Sandgren, ed.), 227-260. Cambridge University Press, Cambridge·New York·Port Chester·Melbourne·Sydney.
- SOMMER, U. (1988 b): Phytoplankton succession in microcosm experiments under simultaneous grazing pressure and resource limitation. *Limnol. Oceanogr.*, **33**, 1037-1054.
- SOMMER, U. (1993): Phytoplankton competition in Plußsee: A field test of the resource-ratio hypothesis. *Limnol. Oceanogr.*, **38**, 838-845.
- SOMMER, U. (1994): Planktologie. 274 pp. Springer-Verlag, Berlin·Heidelberg·New York·London·Paris·Tokyo·Hong Kong·Barcelona·Budapest.
- STARMACH, K. (1966): Cyanophyta - sinice. Glaucophyta - glaukofity. 807 pp. In: Flora słodkowodna Polski, Vol. 2, Warszawa.
- STARMACH, K. (1985): Chrysophyceae und Haptophyceae. 515 pp. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa, Vol. 1, (H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer, eds), Gustav Fischer Verlag, Jena.

- STEVENSON, R. J. & WHITE, K. D. (1995): A comparison of natural and human determinants of phytoplankton communities in the Kentucky River basin, USA. *Hydrobiologia*, **297**, 201-216.
- STOERMER, E. F. & HÅKANSSON, H. (1984): *Stephanodiscus parvus*: Validation of an enigmatic and widely misconstrued taxon. *Nova Hedwigia*, **39**, 497-511.
- SUTTLE, C. A. & HARRISON, P. J. (1988): Ammonium and phosphate uptake rates, N:P supply ratios, and evidence for N and P limitation in some oligotrophic lakes. *Limnol. Oceanogr.*, **33**, 186-202.
- TALLING, J. F. (1971): The underwater light climate as a controlling factor in the production ecology of freshwater phytoplankton. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.*, **19**, 214-243.
- TÄUSCHER, L. (1980): Bemerkungen zu endo- und epiphytischen Algen von *Microcystis* KÜTZ. im Großen Müggelsee. *Limnologica*, **12**, 313-314.
- TÄUSCHER, L. (1981): Untersuchung zur Art- und Biozönosestruktur des Phytoplanktons des Großen Müggelsees (Berlin) unter Berücksichtigung produktions- und saprobiologischer Aspekte. Dissertation A, Humboldt-Universität zu Berlin.
- TAUB, F. B. (1984): *Ecosystems of the world. 23 lakes and reservoirs*. 643 pp. Elsevier, Amsterdam.
- TEUBNER, K. (1995): A light microscopical investigation and multivariate statistical analyses of heterovalvar cells of *Cyclotella*-species (Bacillariophyceae) from lakes of the Berlin-Brandenburg region. *Diatom Research*, **10**, 191-205.
- TEUBNER, K., HAAKE, H., WOITKE, P. & KOHL, J.-G. (1996): Die Beziehung zwischen der Artenzusammensetzung und der Jahresdynamik des Phytoplanktons und der Hydrochemie in 11 Gewässern in Berlin-Brandenburg. In: *Erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung 1995 (24.9.-29.9) in Berlin* (Deutsche Gesellschaft für Limnologie, ed.), im Druck.
- TEUBNER, K. (1996): Merkmalsvariabilität bei planktischen Diatomeen in Berlin-Brandenburger Gewässern. *Nova Hedwigia*, im Druck.
- THERIOT, E., HÅKANSSON, H. & STOERMER, E. F. (1988): Morphometric analysis of *Stephanodiscus alpinus* (Bacillariophyceae) and its morphology as an indicator of lake trophic status. *British phycological Journal*, **27**, 485-493.
- THERIOT, E. & STOERMER, E. (1984): Principal component analysis of *Stephanodiscus*: Observation on two new species from the *Stephanodiscus niagarae* complex. *Bacillaria*, **7**, 37-53.
- TILMAN, D. (1982): Resource competition and community structure. 296 pp. In: *Monographs in Population Biology*, Vol. **17**, (R. M. May, ed.), Princeton University Press, Princeton (New Jersey).
- TIPPMANN, P. (1993): Zur Bedeutung der Nährstofflimitation für die saisonalen Phytoplanktonsuccessionen in zwei eutrophen Flußseen. Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin.
- TRAINOR, F. R., ROWLAND, H. L., LYLIS, J. C., WINTER, P. A. & BONANOMI, P. L. (1971): Some examples of polymorphism in algae. *Phycologia*, **10**, 113-119.
- TRAINOR, F. R. & EGAN, P. F. (1991): Discovering the various ecomorphs of *Scenedesmus*: The end of a taxonomic era. *Archiv Protistenkunde*, **139**, 125-132.
- TRIMBEE, A. M. & HARRIS, G. P. (1984): Phytoplankton population dynamics of a small reservoir: Effect of intermittent mixing on phytoplankton succession and the growth of blue-green algae. *Journal of Plankton Research*, **6**, 699-713.
- UEHLINGER, U. F. (1980): Untersuchungen zur Autoökologie der planktischen Blaualge *Aphanizomenon flos-aquae*, Diss. ETH Nr. 6723, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich.
- UTERMÖHL, H. (1931): Neue Wege in der Erfassung des Phytoplanktons. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie*, **5**, 567-596.
- UTERMÖHL, H. (1958): Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt. int. Verein. theor. angew. Limnolog.*, **9**, 1-38.
- Van DAM, H., MERTENS, A. & SINKELDAM, J. (1994): A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, **28**, 117-133.
- Van DONK, E. & KILHAM, S. S. (1990): Temperature effects on silicon- and phosphorus-limited growth and competitive interactions among three diatoms. *Journal Phycology*, **26**, 40-50.
- Van LIERE, L. & MUR, L. R. (1980): Occurrence of *Oscillatoria agardhii* and some related species, a survey. *Developments in Hydrobiology*, **2**, 67-77.
- VARIS, O., SIRVIÖ, H. & KETTUNEN, J. (1989): Multivariate analysis of lake phytoplankton and environmental factors. *Archiv für Hydrobiologie*, **117**, 163-175.

- VOLLENWEIDER, R. A. (1955): Ein Nomogramm zur Bestimmung des Transmissionskoeffizienten sowie einige Bemerkungen zur Methode seiner Berechnung in der Limnologie. Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie, **17**, 207-215.
- VOLLENWEIDER, R. A. (1985): Elemental and biochemical composition of plankton biomass; some comments and explorations. Archiv für Hydrobiologie, **105**, 11-29.
- WEBER, E. (1986): Grundriss der biologischen Statistik. 652 pp. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- WILLÉN, E. (1976): A simplified method of phytoplankton counting. British phycological Journal, **11**, 265-278.
- WILLÉN, E., OKÉ, M. & GONZALEZ, F. (1980): *Rhodomonas minuta* and *Rhodomonas lens* (Cryptophyceae) - Aspects on form-variation and ecology in Lake Mälaren and Vättern, Central Sweden. Acta Phytogeogr. Suec., **68**, 163-172.
- WUNDSCH, H. (1940): Beiträge zur Fischereibiologie märkischer Seen. VI. Die Entwicklung eines besonderen Seentypus (H₂S-Oscillatorienseen) im Fluß-Seengebiet der Spree und Havel und seine Bedeutung für die fischereibiologischen Bedingungen in dieser Region. Zeitschrift für Fischerei, **38**, 444-658.
- WUNSAM, S. & SCHMIDT, R. (1995): A diatom-phosphorus transfer function for alpine and pre-alpine lakes. Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia, **53**, 85-99.
- ZEVENBOOM, W. & MUR, L. R. (1980): N₂-fixing cyanobacteria: Why they do not become dominant in Dutch, hypertrophic lakes. Developments in Hydrobiology, **2**, 123-130.

Danksagung

Herrn Prof. Dr. J.-G. Kohl (Humboldt-Universität zu Berlin, Fachgruppe Ökologie) gilt mein besonderer Dank für die Überlassung des interessanten Themas, die langjährige und mannigfaltige Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchungen, die kritischen Diskussionen insbesondere um limnologische Sachverhalte und taxonomisch-physiologische Fragestellungen (Cyanophyceen) sowie für Hinweise zum Manuskript.

Darüber hinaus möchte ich mich bei Frau Prof. Dr. U. Geißler (Freie Universität Berlin, Institut für Systematische Botanik und Pflanzengeographie) für die vielfältige Unterstützung, insbesondere für die intensiven Diskussionen um spezielle Themen der Diatomeensystematik als auch allgemeine taxonomische Fragestellungen sowie für das kritische Lesen des Manuskriptes ganz herzlich bedanken.

Mein besonderer Dank gilt auch Herrn Prof. Dr. M. T. Dokulil (Institut für Limnologie der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Abteilung Mondsee) für die vielfältigen Diskussionen, insbesondere zu limnologischen Aspekten aber auch zu taxonomischen Themen (Cryptophyceae) und für Anregungen zu statistischen Methoden sowie für die Möglichkeit, ein breiteres Spektrum von Statistik-Computerprogrammen nutzen zu können.

Probenahme und Analysen wurden 1990-92 im Rahmen eines gemeinsamen Projektes zur regionalen Limnologie zwischen der FG Limnologie der Technischen Universität Berlin (Leitung Herr Dr. Prof. W. Ripl) und der FG Ökologie der Humboldt-Universität zu Berlin (Leitung Herr Prof. Dr. J.-G. Kohl) durchgeführt. Die Untersuchung der Berliner Gewässer 1992/93 wurde mit einem Forschungsprojekt in der FG Ökologie der Humboldt-Universität (Leitung Herr Prof. Dr. J.-G. Kohl) vom Bundesminister für Forschung und Technologie Bundesminister (BEO 339400A) gefördert und finanziert. Ich bedanke mich für die Unterstützung bei der Probenahme und Überlassung der Ergebnisse der Gewässeranalytik bei Herrn Prof. Dr. J.-G. Kohl und Herrn Prof. Dr. W. Ripl sowie den Mitarbeitern dieser beiden Arbeitsgruppen. Insbesondere möchte ich mich bei Prof. Dr. G. Dudel, Dr. R. Feyerabend, Dr. M. Henning, Dipl.-Biol. R. Henze, Dr. A. Nicklisch, Dr. P. Woitke (FG Ökologie der HUB) und Dipl.-Biol. W. Arp, Dr. M. Feibicke, Dipl.-Ing. S. Heller, Frau Dipl.-Biol. L. Hua, Dipl.-Biol. B. Koppelmeyer, Dr. J. Michel, Dipl.-Biol. M. Schubert, Dr. K.-D. Wolter (FG Limnologie der TUB), welche neben der eigentlichen Unterstützung der Untersuchungsdurchführung gerade auch mit fachlichen Anregungen eine förderliche Atmosphäre für meine Arbeit schufen, bedanken.

Darüber hinaus ist es mir ein Bedürfnis, Frau E. Wachsmuth für die langjährige und hervorragende Zusammenarbeit, insbesondere für die Unterstützung bei der Präparation der Diatomeen und der Auszählung der Phytoplankton-Mischproben 1992 (Kiessee, Parsteiner See, Rosinsee) zu danken. Frau Dipl.-Biol. H. Haake danke ich für die Überlassung der Phytoplankton-Zählergebnisse vom Müggelsee-Zufluß 1993.

Ich bedanke mich bei Frau Dr. H. Håkansson (Universität Lund, Kvartärgeologiska avdelningen) für die Unterstützung bei der Bestimmung der Diatomeen, wodurch mir gerade die Phase der Einarbeitung in die Diatomeensystematik enorm erleichtert wurde sowie mir erste fachliche Anregungen zu dem Problemkreis polymorpher Diatomeen-Zellwandstrukturen gegeben wurden (1992, 1993). Mein Dank gilt auch Frau Dr. A.-M. M. Schmid (Universität Salzburg, Institut für Pflanzenphysiologie) für die detaillierte Diskussion zur Zellwandmorphogenese einschließlich der Möglichkeit der Untersuchung der *Cyclotella*-Frusteln im REM 1995. Herrn Dipl.-Ing. R. Klee (Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München) danke ich herzlich für eine Reihe REM-Aufnahmen der Diatomeen sowie für den regen fachlichen Austausch.

Mein besonderer Dank gilt darüber hinaus auch Herrn Dr. L. Krienitz (Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Abteilung Geschichtete Seen, Neuglobsow) für die mehrfache Hilfe bei der Bestimmung der Chlorophyta s.l. einschließlich der wertvollen Hinweise zur lichtmikroskopischen Beobachtung detaillierter Zellstrukturen.

Nicht zuletzt möchte ich meinem Ehemann, Dr. Th. Teubner, umfassend danken für die vielzähligen förderlichen Diskussionen zum Thema wie auch zu allgemeineren mathematisch-naturwissenschaftlichen Fragestellungen, für das Erstellen von Computer-Programmen zur Auswertung der Verteilung von Algen bei der Phytoplanktonzählung sowie zum Sortieren von Phytoplankton-Rohdaten und zur Datenformat-Konvertierung, für die Unterstützung beim Anwenden der Programmiersprache Visual Basic in Excel 5.0 sowie für das sorgfältige und kritische Lesen des Manuskripts, aber auch für die alltägliche Unterstützung und Geduld.

Erklärung

Hiermit erkläre ich, daß ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Berlin, den 6. 8. 1996

Karin Teubner

Lebenslauf

Persönliche Daten:	Katrin Teubner, geb. Pabst Schulstraße 15a 13187 Berlin geb. am 28.5.1964 in Leipzig
Schul Ausbildung: 1970 - 1980 1980 - 1981	Polytechnische Oberschule in Bad Dürrenberg (Grund- und Realschule) Pädagogische Hochschule Halle/Dessau „N. K. Krupskaja“ in Dessau (Erlangung der Hochschulreife für ein Fachlehrerstudium)
Hochschulausbildung: 09/1981 - 07/1985	Pädagogische Hochschule „W. Ratke“ Köthen, Studium der Pädagogik in den Fachrichtungen Biologie und Chemie, Diplomthema „Ökologische Untersuchungen als Grundlage für landes- kulturelle Maßnahmen im Bereich der Michener Teiche (Kreis Köthen) - Die Pflanzengesellschaften der Wasser-, Ufer- und Verlandungsbereiche.“ Diplomprädikat „Sehr Gut“
08/1985 - 08/1988	Fachlehrerin an der 74. Polytechnischen Oberschule Berlin-Marzahn und der 10. Polytechnischen Oberschule Berlin-Pankow, 1986 Geburt meiner Tochter
02/1990 - 12/1992	Wissenschaftliche Aspirantin (Promotionsstudentin) am Bereich Ökologie der Sektion Biologie der Humboldt-Universität zu Berlin
01/1993 - 06/1994	Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Rahmen des Forschungsprojektes „Ökologischer Zustand und Stabilität von Flußseen von Spree und Dahme und ihre Reaktionen auf Belastungsänderungen.“ (BMFT-Projekt, BEO 339400A) unter Leitung von Herrn Prof. Dr. J.-G. Kohl an der Fachgrup- pe Ökologie des Institutes Biologie der Humboldt-Universität zu Berlin
ab 06/1996	Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Rahmen des Projektes „Limnologische Untersuchung Alte Donau“ (MA 45-HY-353/95, Wien) unter Leitung von Herrn Prof. Dr. M. T. Dokulil, Österreich

Struktur und Dynamik des Phytoplanktons
in Beziehung zur Hydrochemie und Hydrophysik der Gewässer:
Eine multivariate statistische Analyse
an ausgewählten Gewässern der Region Berlin-Brandenburg

THESEN zur DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades
doctor rerum naturalium

eingereicht am 15.8.1996

an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät I
Institut für Biologie
der Humboldt-Universität zu Berlin

von Diplom-Lehrer für Biologie und Chemie KATRIN TEUBNER, geb. Pabst
geb. am 28. Mai 1964 in Leipzig

Präsidentin der Humboldt-Universität zu Berlin
Prof. Dr. M. Dürkop

Dekanin der Fakultät
Prof. Dr. Bonacic-Koutecky

Gutachter: 1. Prof. J.-G. Kohl
 2. Prof. U. Geißler
 3. Prof. M. T. Dokulil

Tag der mündlichen Prüfung: 10.12.1996

Flußseen finden wegen ihrer großen Individualität und folglich schwierigen Vorhersagbarkeit in der Literatur bei vergleichenden Darstellungen von Binnengewässern kaum Berücksichtigung. Derartige Seen stehen im Mittelpunkt des hier vorliegenden Gewässervergleichs. Die Struktur und Dynamik des Phytoplanktons von Flußseen wie auch weiteren Gewässertypen, die im Berlin-Brandenburger Raum und darüber hinaus im nordostdeutschen Flachland häufig anzutreffen sind, werden dabei in Abhängigkeit von limnologischen Einflußgrößen untersucht. Insgesamt werden 11 Gewässer über einen Zeitraum von bis zu 4 Jahren analysiert. Der Gewässervergleich stützt sich maßgeblich auf die multivariaten statistischen Methoden Hauptkomponentenanalyse, Hierarchische Clusteranalyse, Kanonische Korrespondenzanalyse und Diskriminanzanalyse.

Thesen

1. Gepoolte Datensätze sind eine geeignete Datenbasis für die multivariate Statistik im vorliegenden Gewässervergleich. Grundzüge der limnologischen Verschiedenheit sowie der gewässer- und seasonspezifischen Phytoplanktonentwicklung sind damit für die 11 Gewässer erkennbar. Einzelwerte dagegen bilden eine sinnvolle Datenbasis für die detaillierte Untersuchung von Zeitfolgen in der Planktonentwicklung.
2. Die limnologisch ähnlichen Gewässer, die in „polymiktische Flußseen“, „mineralreiche Gewässer“, „dimiktische, mesotrophe Seen“ und „dystrophe Seen“ gruppiert werden, weisen auch eine mehr oder weniger ähnliche Arten-Zusammensetzung des Phytoplanktons auf. Umgekehrt kann gezeigt werden, daß sich in limnologisch verschiedenen Gewässergruppen zugleich differenzierte Arten-Dominanzstrukturen des Phytoplanktons entwickeln. Die zwei unabhängig durchgeführten Gewässergruppierungen, d. h. die limnologisch definierte Gruppenbildung und die über die Phytoplanktonstrukturen bestimmte Gruppenbildung, decken sich damit weitestgehend. Diese gute Übereinstimmung der planktologischen mit der limnologischen Gruppenbildung zeigt sich mehrfach auf der Basis von Biovolumenanteilen der Arten und Artengruppen, nicht aber anhand der Biovolumenanteile höherer Algentaxa wie Klassen und Ordnungen.
3. Für die limnologische Gruppierung der „polymiktischen Flußseen“, „mesotrophen, dimiktischen Seen“ und „dystrophen Seen“ sind hauptsächlich trophische und morphometrische Parameter von Bedeutung. Dagegen ist für die limnologische Gruppenbildung der „mineralreichen Gewässer“ die Leitfähigkeit ausschlaggebend. Bei den „mineralreichen Gewässern“ lassen sich zwar anhand des Cyanophyceen-Planktons noch alle vier Gewässer klar dieser einen Gewässergruppe zuordnen, jedoch zeigen sich angesichts des Bacillariophyceen-Planktons und der dominanten Arten verschiedener Algenklassen Unterschiede in den Planktonstrukturen zwischen den drei Gewässern der „Flakenseegruppe“ und dem Kiessee. Damit ist hier das Kriterium Leitfähigkeit für eine limnologische Gewässergruppenbildung, konform gehend mit der Phytoplanktongruppierung, weniger geeignet.
4. Unterschiede in der Zusammensetzung des Cyanophyceen-Planktons ergeben sich insbesondere entlang eines Gradienten der TN/TP-Verhältnisse und der Leitfähigkeit. Unterschiede in der Bacillariophyceen-Zusammensetzung stehen hauptsächlich in Beziehung zu den stark variierenden SRSi- und Chlorophyll-a-Konzentrationen sowie den schwankenden SRSi/TN-Verhältnissen im Gewässerspektrum.
5. In den 11 Gewässern wurden mehr als 200 Algentaxa gefunden. Auf der Basis von Biovolumenanteilen lassen sich die differenzierten Phytoplanktonstrukturen in den limnologisch verschiedenen Gewässern jedoch bereits mit einer reduzierten Anzahl von Arten und Artengruppen klar kennzeichnen. So leiten sich die wesentlichen Unterschiede in der Zusammensetzung des Cyanophyceen- bzw. Bacillariophyceen-Planktons aus den Biovolumenanteilen von nur jeweils 10 Taxa der beiden Algenklassen ab. Die Extraktionen dieser sogenannten repräsentativen Arten bzw. Artengruppen der Planktongemeinschaften basieren auf Hauptkomponentenanalysen.

6. Die trigonale Grafik der normierten TN-, TP-, und SRSi-Konzentrationen ermöglicht die Vergleichbarkeit der Dynamik der TN/TP-, SRSi/TP- und SRSi/TN-Verhältnisse. Die limnologisch ähnlichen Gewässer einer Gruppe zeigen meist auch eine ähnliche saisonale Dynamik der TN/TP-, SRSi/TN- und SRSi/TP-Verhältnisse. Die „polymiktischen Flußseen“ sind die einzige Gewässergruppe, bei der sich im Jahresverlauf sowohl für TN und TP als auch für SRSi erhebliche relative Konzentrationsschwankungen ergeben. Allein in diesen Gewässern streuen die Saisonmittelwerte stark um das kritische TN/TP-Verhältnis von 16:1. Bei den „mineralreichen Gewässern“ und den „dimiktischen, mesotrophen Seen“ sind stärkere saisonale Konzentrationsschwankungen von SRSi bei saisonal nur geringfügig schwankenden TN/TP-Verhältnissen auffällig. Dagegen werden in den „dystrophen Seen“, insbesondere in der Krummen Lake, bei nahezu gleichbleibend niedrigen SRSi-Konzentrationen relativ hohe Schwankungen der TN/TP-Verhältnisse offensichtlich.
7. In den Flußseen Großer Müggelsee und Langer See treten trotz limnologisch ähnlicher Bedingungen zwei verschiedene Cyanophyceen-Dominanzstrukturen auf. Eine Differenzierung in ein *Planktothrix*- oder ein *Aphanizomenon*-dominiertes Plankton erfolgt dabei jeweils unmittelbar nach Unterschreiten des kritischen TN/TP-Verhältnisses von 16. Liegt zu diesem Zeitpunkt eine niedrige Populationsdichte von *Planktothrix agardhii* vor, setzt in beiden Flußseen ein starkes Wachstum von *Aphanizomenon flos-aquae* ein. Bestehen zum Zeitpunkt der Unterschreitung des kritischen TN/TP-Verhältnisses bereits höhere Biovolumina von *Planktothrix agardhii*, etabliert sich diese Art auch weiterhin im Jahresverlauf. Der Cyanophyceen-Dominanzstrukturwechsel zwischen „*Oscillatoria (Planktothrix)*“- und „*Aphanizomenon flos-aquae/Microcystis* spp.“-Jahren in ein und demselben Gewässer wird von Änderungen der Bacillariophyceen-Zusammensetzung begleitet.
8. Mit der gemeinsamen Darstellung der normierten Konzentrationen der drei wesentlichen Nähr-elemente, d. h. TN, TP und SRSi, wird die Ressourcen-Verfügbarkeit gleichzeitig sowohl für silikatnutzende als auch für silikatreie Algen in einer Phytoplanktongemeinschaft angezeigt. In den beiden Flußseen Großer Müggelsee und Langer See, wo die Bacillariophyceen und Cyanophyceen mehr als 90 % des Gesamtbiovolumens einnehmen, lassen sich veränderte saisonale Schwankungen der voneinander abhängig dargestellten, normierten TN-, TP- und SRSi-Konzentrationen durch einen Dominanzwechsel zwischen beiden Algenklassen, d. h. zwischen den silikatnutzenden und den silikatreien Algen, und damit durch starke Abweichungen von den „typischen“ Dominanzstrukturen während des hier untersuchten Zeitraumes erklären.
9. In den 11 Gewässern läuft die jahreszeitliche Abfolge der Cyanophyceen- und Bacillariophyceen-Planktonentwicklung vergleichbar ab. Für beide Algenklassen sind jeweils das Frühjahrs- und Winterplankton einerseits und das Sommer- und Herbstplankton andererseits ähnlich zusammengesetzt. Der saisonale Wechsel in der Zusammensetzung des Cyanophyceen- und Bacillariophyceen-Planktons verläuft überwiegend synchron zu den jahreszeitlichen Änderungen der TN/TP-Verhältnisse. Schwankungen der SRSi/TN- bzw. SRSi/TP-Verhältnisse sind hierbei von untergeordneter Bedeutung.
10. Von den jeweils 10 repräsentativen Arten und Artengruppen der Cyanophyceen- bzw. Bacillariophyceen-Planktongemeinschaften liegen seasonspezifische Biovolumenentwicklungen bei 7 Taxa der Cyanophyceen, aber nur bei 4 Taxa der Bacillariophyceen vor. *Limnothrix redekei*, *Nitzschia acicularis*, *Stephanodiscus neoastraea* sind Arten mit ausgesprochen starker Biovolumenentwicklung im Frühjahr und im Winter. Dagegen entwickeln *Anabaena flos-aquae*, *A. lemmermannii*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa* s.l., *Planktolyngbya subtilis*, *Planktothrix agardhii*, *Aulacoseira* spp. und *Actinocyclus normanii* höhere Biovolumina insbesondere im Sommer und im Herbst. Deutliche gewässerspezifische Unterschiede in der Cyanophyceen-Zusammensetzung ergeben sich erst mit der Entwicklung des Sommer- und Herbstplanktons. Im Gegensatz dazu zeigen sich im Bacillariophyceen-Plankton die gewässerspezifischen Unterschiede eher unabhängig vom saisonalen Verlauf der Planktonentwicklung.

11. Der Wechsel von hohen Oberfläche/Volumen-Verhältnissen des Gesamtphytoplanktons im Frühjahr zu niedrigeren Oberfläche/Volumen-Verhältnissen im Früh- bzw. Spätsommer zeigt sich in allen 11 untersuchten Gewässern gleichermaßen. Die hohen Oberfläche/Volumen-Verhältnisse des Gesamtphytoplanktons im Frühjahr werden maßgeblich durch die Frühjahrs-Massenentwicklung von Arten mit relativ großer Oberfläche und geringem Volumen - z. B. von Arten der Oscillatoriales, Pennales und einzelligen zentrischen Diatomeen - bedingt. Im Anschluß an die Frühjahrsperiode ergeben sich jedoch differenzierte Entwicklungen der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse, die in Abhängigkeit vom Untersuchungsjahr und vom Gewässer variieren.
12. Bei einer speziell schonenden Präparation von Diatomeenzellen aus Planktonproben wird das Auseinanderfallen der beiden Theken einer Zelle verhindert. Somit kann im Lichtmikroskop die morphologische Variabilität zwischen den zwei Theken einer Zelle diagnostiziert werden. Bei *Cyclotella kuetzingiana/ocellata/comensis* treten iso- und heterovalvare Zellen auf. Mit der Untersuchung der größtmöglichen morphologischen Verschiedenheit zwischen den beiden zusammengehörigen Theken einer Zelle einerseits und dem gleitenden Übergang zwischen morphologisch ähnlichen Theken verschiedener Zellen andererseits lassen sich Theken mit „*C. kuetzingiana* var. *radiosa*“- , „*C. kuetzingiana* var. *planetophora*“- , „*C. ocellata*“- und „*C. comensis*“-Muster gedanklich vereinen. Daraus wird die Zuordnung dieser polymorphen Theken zu einer einzigen Art abgeleitet.

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1: Lageskizze der untersuchten Gewässer.	5
Abb. 2: Großer Müggelsee und Flakensee mit Phytoplankton-Probenahmestellen für die See-Misch- und Zuflußproben während der Untersuchungsjahre 1992-93.	6
Abb. 3: Vergleich der Phytoplanktonzusammensetzung in parallel genommenen Vertikal-Oberflächenproben bzw. Rohrproben. X-Y-Diagramm.	8
Abb. 4: Trend zu zunehmenden Trichombreiten (Mittelwerte) im Jahresverlauf bei <i>Aphananizomenon flos-aquae</i> . Balken-Diagramm.	13
Abb. 5: Gewässerspezifische Häufigkeitsverteilung der Schalengrößen von <i>Cyclotella radiosa</i> in den 11 Gewässern. Gekerbte Box-Whisker-Darstellung.	13
Abb. 6: Häufigkeitsverteilung empirischer Stichproben. Am Beispiel des molaren TN/TP-Verhältnisses wird die Anpassung an eine Normalverteilung grafisch veranschaulicht.	16
Abb. 7: Häufigkeitsverteilung empirischer Stichproben. Sowohl bei dem absoluten als auch bei dem relativen Algen-Biovolumen-Datensatz von <i>Rhodomonas lacustris</i> zeigt sich eine bessere Anpassung der log-transformierten gegenüber den nicht-transformierten Daten an eine Normalverteilung.	17
Abb. 8: Verteilung der Biovolumina in den 11 untersuchten Gewässer. Gekerbte Box-Whisker-Darstellung.	18
Abb. 9: Beziehungen zwischen limnologischen Parametern. Matrix-Scatterplot.	20
Abb. 10: Hauptkomponentendarstellung zu den morphometrischen, chemischen und physikalischen Parametern (Vektoren) in den 11 Gewässern. Biplot-Darstellung.	22
Abb. 11 A-B: Beziehung zwischen dem Chlorophyll-a-Gehalt und der Gesamtphosphor-Konzentration (TP) (A) bzw. dem Gesamtstickstoff/Gesamtphosphor-Verhältnis (TN/TP) (B) während der Sommerperioden in den 11 Gewässern. Trophieabstufung und Darstellung nach FORSBERG & RYDING 1980.	23
Abb. 12 A-B: Beziehung zwischen dem TP- und TN-Gehalt und den jeweils gelösten Komponenten. X-Y-Diagramm.	23
Abb. 13 A-B: Trigonale grafische Darstellung der relativen Nährelementverhältnisse. Ableseschema.	25
Abb. 14: Trigonale grafische Darstellung der relativen Nährelementverhältnisse zwischen Gesamt-Stickstoff (TN), Gesamt-Phosphor (TP) und gelöstem Silizium (SRSi) in den einzelnen Gewässergruppen.	26
Abb. 15: Trigonale grafische Darstellung der saisonalen Unterschiede der relativen normierten Nährelementverhältnisse (norm. TN, norm. TP, norm. SRSi) der einzelnen Gewässergruppen.	28
Abb. 16: Trigonale grafische Darstellung der saisonalen Unterschiede der relativen normierten Nährelementverhältnisse (norm. TN, norm. TP, norm. SRSi) in dem Großen Müggelsee (MUES), dem Langen See (LANS), der Krumme Lake (KRUL), dem Flakensee (FLAS), dem Parsteiner See (PARS) und dem Rosinsee (ROSS).	30
Abb. 17: Häufigkeitsverteilung der Anzahl der verkürzten Randstreifen (Striae) je Theke in Abhängigkeit vom Valvendurchmesser am Beispiel der Art <i>Cyclotella radiosa</i> . Gekerbte Box-Whisker-Darstellung.	34
Abb. 18 A-B: Jahresdynamik des Gesamtphytoplanktons sowie der absoluten Biovolumenanteile der 6 Algenklassen für die 11 Gewässer über den gesamten Untersuchungszeitraum. X-Y-Diagramm.	74, 75
Abb. 19 A-B: Mittleres Biovolumen des Gesamtphytoplanktons (A) sowie relative Biovolumenanteile der Algenklassen (B) der 11 Gewässer. Balken-Diagramm.	76
Abb. 20 A: Verteilungsmuster der 11 Gewässer entsprechend der mittleren relativen Biovolumenanteile der Algengruppen am Gesamtphytoplankton.	77

Abb. 20 B: Hauptkomponentendarstellung analog Abb. 20 A mit veränderter y- und z-Achsenbelegung.	77
Abb. 21: Phytoplankton-Dominanzstruktur. Anordnung ausgewählter Algengruppen entsprechend der Ladungen der Eigenvektoren im Ergebnis der Hauptkomponentenanalyse der Abb. 20 A-B. Balken-Diagramm.	78
Abb. 22 A-C: Jahresdynamik des Oberfläche/Volumen-Verhältnisses des Gesamtphytoplanktons sowie der Chlorophyll-a - Konzentrationen für die 11 Gewässer über den gesamten Untersuchungszeitraum. X-Y-Diagramm.	79-81
Abb. 23: Vergleich der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse bei Algengruppen verschiedener Algenklassen der untersuchten Gewässer: Bacillariophyceen (einzellige zentrische Diatomeen, <i>Melosira</i> s.l., Pennales), Chlorophyta s. l. (Prasinophyceen und Volvocales, Chlorococcales, Ulotrichales, Conjugatophyceen), Cyanophyceen (Chroococcales, Oscillatoriales, Nostocales), Chrysophyceen, Cryptophyceen, Dinophyceen. Gekerbte Box-Whisker-Darstellung.	82
Abb. 24: Oberfläche/Volumen-Verhältnisse bei 12 Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen. Gekerbte Box-Whisker-Darstellung.	83
Abb. 25: Oberfläche/Volumen-Verhältnisse bei 22 Bacillariophyceen-Arten und -Artengruppen. Gekerbte Box-Whisker-Darstellung.	84
Abb. 26: Schwankungen der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse des Gesamt-Phytoplanktons bzw. der Chlorophyll-a-Konzentrationen in den 11 untersuchten Gewässern über den gesamten Untersuchungszeitraum. Gekerbte Box-Whisker-Darstellung.	85
Abb. 27: Variationen und Co-Variationen der Biovolumenanteile von einzelnen nicht-fädigen Cyanophyceen-Taxa (Chroococcales) gegenüber den Biovolumenanteilen der Oscillatoriales und Nostocales (fädige Cyanophyceen). Biplot-Darstellung der PCA.	90
Abb. 28: Variationen und Co-Variationen der Biovolumenanteile von einzelnen fädigen Cyanophyceen-Taxa (Oscillatoriales, Nostocales) gegenüber den Biovolumenanteilen der nicht-fädigen Cyanophyceen (Chroococcales). Biplot-Darstellung der PCA.	91
Abb. 29: Gruppierung der Cyanophyceen-Taxa entsprechend ihren relativen Biovolumenanteilen am Gesamtphytoplankton-Biovolumen. Dendrogramm-Darstellung der HCA.	91
Abb. 30: Biplot-Darstellungen der Hauptkomponentenanalysen (PCA) unter Berücksichtigung einer reduzierten Anzahl von 17, 12 bzw. 10 Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen (Variablenreduktion).	93
Abb. 31: Gruppenbildung von 10 Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen entsprechend den relativen Biovolumenanteilen bei Saison-Mittelwerten (A), Gewässer-Jahresmittelwerten (B) bzw. Gewässer-Mittelwerten (C). Dendrogramm-Darstellungen der HCAs.	94
Abb. 32: Gruppierung der untersuchten Gewässer bzw. Cyanophyceen-Arten. Dendrogramm-Darstellung der HCA und Biplot-Darstellung der PCA.	96
Abb. 33: Beziehung zwischen den Biovolumenanteilen von 8 repräsentativen Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen. Matrix-Scatterplot.	97
Abb. 34 A: Jointplot der 1. gegen die 2. Achse der Kanonischen Korrespondenzanalyse (CCA) zu den Daten der limnologischen Parameter und den Biovolumina der 10 repräsentativen Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen in den 4 Gewässergruppen.	98
Abb. 34 B: Jointplot der 1. gegen die 3. Achse der Kanonischen Korrespondenzanalyse (CCA) in Ergänzung zu Abb. 34 A.	99
Abb. 35 A-D: Hauptkomponentendarstellung zu den saisonalen Unterschieden der Biovolumenentwicklung des Cyanophyceen-Planktons. Ergebnisse einer einzigen PCA in 4 Teilabbildungen untergliedert: Objektdarstellung (A-C) und Variablendarstellung (D).	101
Abb. 36 A-D: Diskriminanzanalyse zu den saisonalen Unterschieden der Artenzusammensetzung des Cyanophyceen-Planktons.	104
Abb. 37: Saisonale Variation der Biovolumenanteile von 4 Cyanophyceen-Arten, die insbesondere für die 1. Diskriminanzfunktion diskriminatorische Bedeutung haben. X-Y-Diagramm.	105
Abb. 38: Hauptkomponentendarstellung zur saisonalen Abfolge der wechselnden Zusammensetzung des Cyanophyceen-Planktons in den 11 Gewässern. X-Y-Diagramm.	107

Abb. 39: Jahresdynamik der Biovolumina dominanter Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen im Vergleich zur Jahresdynamik der Gesamtstickstoff (TN)- und Gesamtphosphor-Konzentrationen (TP) im Langen See. X-Y-Diagramm.	110
Abb. 40: Jahresdynamik der Biovolumina dominanter Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen im Vergleich zur Jahresdynamik der Gesamtstickstoff (TN)- und Gesamtphosphor-Konzentrationen (TP) im Großen Müggelsee. X-Y-Diagramm.	111
Abb. 41: Jahresdynamik der Biovolumenentwicklung einschließlich der Heterocystenfrequenz und des Biovolumenanteils hyaliner Trichom-Endzellen von <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> im Vergleich zur Jahresdynamik der Gesamtstickstoff (TN)- und Gesamtphosphor-Konzentrationen (TP) im Großen Müggelsee. X-Y-Diagramm.	112
Abb. 42: Jahresdynamik der Biovolumina dominanter Cyanophyceen-Arten und -Artengruppen im Vergleich zur Jahresdynamik der Gesamtstickstoff (TN)- und Gesamtphosphor-Konzentrationen (TP) im Flakensee. X-Y-Diagramm.	114
Abb. 43: Jahresdynamik der Biovolumina dominanter Arten und Artengruppen bzw. Ordnungen (Nostocales, Chroococcales (ohne Micspp)) der Cyanophyceen im Vergleich zur Jahresdynamik der Gesamtstickstoff (TN)- und Gesamtphosphor-Konzentrationen (TP) in der Krummen Lake. X-Y-Diagramm.	115
Abb. 44: Jahresdynamik der Biovolumina der Ordnungen der Cyanophyceen (Oscillatoriales, Nostocales, Chroococcales) im Vergleich zur Jahresdynamik der Gesamtstickstoff (TN)- und Gesamtphosphor-Konzentrationen (TP) in dem Parsteiner See und dem Rosinsee. X-Y-Diagramm.	116
Abb. 45: Beziehung zwischen der Massenentwicklung der Nostocales und dem TN/TP-Verhältnis in den 4 Gewässergruppen. X-Y-Diagramm.	117
Abb. 46: Variationen und Co-Variationen der Biovolumenanteile von einzelnen zentrischen Bacillariophyceen-Taxa (Centrales) gegenüber den Biovolumenanteilen der pennaten Bacillariophyceen (Pennales). Biplot-Darstellung der PCA.	122
Abb. 47: Variationen und Co-Variationen der Biovolumenanteile von einzelnen pennaten Bacillariophyceen-Taxa (Pennales) gegenüber den Biovolumenanteilen der zentrischen Bacillariophyceen (Centrales). Biplot-Darstellung der PCA.	123
Abb. 48: Gruppierung der Bacillariophyceen-Taxa entsprechend ihren relativen Biovolumenanteilen am Gesamtphytoplankton-Biovolumen. Dendrogramm-Darstellung der HCA.	123
Abb. 49: Biplot-Darstellungen der Hauptkomponentenanalysen (PCA) unter Berücksichtigung einer reduzierten Anzahl von 22, 16 bzw. 10 Bacillariophyceen-Taxa (Variablenreduktion).	125
Abb. 50: Gruppenbildung von 10 Bacillariophyceen-Arten und -Artengruppen entsprechend den relativen Biovolumenanteilen bei Saison-Mittelwerten (A), Gewässer-Jahresmittelwerten (B) bzw. Gewässer-Mittelwerten (C). Dendrogramm-Darstellungen der HCAs.	126
Abb. 51: Gruppierung der untersuchten Gewässer anhand von 10 repräsentativen Bacillariophyceen-Arten und -Artengruppen. Dendrogramm-Darstellung der HCA und Biplot-Darstellung der PCA.	127
Abb. 52 A: Jointplot der 1. gegen die 2. Achse der Kanonischen Korrespondenzanalyse (CCA) zu den Daten der limnologischen Parameter und den Biovolumina ausgewählter Bacillariophyceen-Arten und -Artengruppen in den 4 Gewässergruppen.	129
Abb. 52 B: Jointplot der 1. gegen die 3. Achse der Kanonischen Korrespondenzanalyse (CCA) in Ergänzung zu Abb. 52 A.	130
Abb. 53: Relative Biovolumenanteile [%] von 5 dominanten, einzelligen zentrischen Diatomeenarten im Vergleich zu mittleren Nährelementkonzentrationen bzw. -verhältnissen in den 11 Gewässern. Balken-Diagramm.	132
Abb. 54: Relative Biovolumenanteile [%] von 5 dominanten, pennaten Diatomeenarten im Vergleich zu mittleren Nährelementkonzentrationen bzw. -verhältnissen in den 11 Gewässern. Balken-Diagramm.	133
Abb. 55: Hauptkomponentendarstellung zu den saisonalen Unterschieden der Biovolumenentwicklung des Bacillariophyceen-Planktons. Ergebnisse einer einzigen PCA in 4 Teilabbildungen untergliedert: Objektdarstellung (A-C) und Variablen-darstellung (D).	135

Abb. 56 A-D: Diskriminanzanalyse zu den saisonalen Unterschieden der Artenzusammensetzung des Bacillariophyceen-Planktons.	136
Abb. 57 A-B: Saisonale Variation der Biovolumenanteile von 4 Bacillariophyceen-Taxa, die im Ergebnis der DA eine diskriminatorische Bedeutung haben. X-Y-Diagramm.	138
Abb. 58 A-B: Hauptkomponentendarstellung zur saisonalen Abfolge der wechselnden Zusammensetzung des Bacillariophyceen-Planktons in den 11 Gewässern. Darstellung der 2. gegen die 1. (A) bzw. 3. gegen die 2. Hauptkomponente (B). Jeweils 12 Teilabbildungen.	139, 140
Abb. 59: Beispiele der saisonalen Verteilung der Biovolumenanteile markanter Arten des Frühjahrs- und Winterplanktons (<i>Steneo</i> - <i>Stephanodiscus neoastraea</i>) bzw. des Sommer- und Herbstplanktons (<i>Actnor</i> - <i>Actinocyclus normanii</i> , <i>Aulsp</i> - <i>Aulacoseira</i> spp.) in den meso- und eutrophen Gewässern. Balken-Diagramm.	141
Abb. 60: Jahresdynamik der Biovolumina der Bacillariophyceen (einzellige zentrische Diatomeen, <i>Melosira</i> s. l. und Pennales) im Vergleich zur Jahresdynamik der SRSi-Konzentrationen sowie dem SRSi/TN- und dem SRSi/TP-Verhältnis im Langen See. X-Y-Diagramm.	144
Abb. 61: Jahresdynamik der Biovolumina der Bacillariophyceen (einzellige zentrische Diatomeen, <i>Melosira</i> s. l. und Pennales) im Vergleich zur Jahresdynamik der SRSi-Konzentrationen sowie dem SRSi/TN- und dem SRSi/TP-Verhältnis im Großen Müggelsee. X-Y-Diagramm.	145
Abb. 62: Jahresdynamik der Biovolumina und der Zellzahl dominanter Bacillariophyceen-Arten (Pennales) im Langen See und Großen Müggelsee. X-Y-Diagramm.	146
Abb. 63 A-B: Relativer Anteil [%] der Bacillariophyceen und Cyanophyceen am Gesamtbiovolumen des Sommer-Planktons. A - Großer Müggelsee (MUES) und Langer See (LANS), B – Flakensee (FLAS). Balken-Diagramm.	146
Abb. 64: Jahresdynamik der Biovolumina der Bacillariophyceen (einzellige zentrische Diatomeen, <i>Melosira</i> s. l. und Pennales) im Vergleich zur Jahresdynamik der SRSi-Konzentrationen sowie dem SRSi/TN- und dem SRSi/TP-Verhältnis im Flakensee. X-Y-Diagramm.	148
Abb. 65: Jahresdynamik der Biovolumina der Bacillariophyceen (einzellige zentrische Diatomeen, <i>Melosira</i> s. l. und Pennales) im Vergleich zur Jahresdynamik der SRSi-Konzentrationen sowie dem SRSi/TN- und dem SRSi/TP-Verhältnis im Parsteiner See und Rosinsee. X-Y-Diagramm.	149
Abb. 66: Jahresdynamik der Biovolumina und der Zellzahl dominanter Bacillariophyceen-Arten (Pennales) im Parsteiner See. X-Y-Diagramm.	149
Abb. 67: Jahresdynamik der Biovolumina der Bacillariophyceen (einzellige zentr. Diatomeen, <i>Melosira</i> s. l. und Pennales) im Vergleich zur Jahresdynamik der SRSi-Konzentrationen sowie dem SRSi/TN- und dem SRSi/TP-Verhältnis in der Krümmen Lake und dem Großen Plagesee. X-Y-Diagramm.	150
Abb. 68 A: Schematische Abhängigkeit des Volumen/Oberfläche-Verhältnisses von Durchmesser und Höhe bei zylinderförmigen Körpern. X-Y-Z-Diagramm.	153
Abb. 68 B: Beziehung zwischen dem Biovolumen und der Oberfläche bei einzelnen Frusteln von <i>Cyclotella radiosa</i> (Cycrad) und <i>Actinocyclus normanii</i> (Actnor). X-Y-Diagramm.	153
Abb. 69: Jahresdynamik der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse sowie Zellzahlen und Biovolumina bei <i>Cyclotella radiosa</i> und <i>Cyclotella kuetzingiana/ocellata/comensis</i> im Vergleich zur Jahresdynamik der Durchmischung des Wasserkörpers ($z_{\text{mix}}/z_{\text{max}}$) sowie der SRSi/TN- und SRSi/TP-Verhältnisse im Rosinsee. X-Y-Diagramm.	154
Abb. 70: Jahresdynamik der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse sowie Zellzahlen und Biovolumina bei <i>Cyclotella radiosa</i> im Vergleich zur Jahresdynamik der Durchmischung des Wasserkörpers ($z_{\text{mix}}/z_{\text{max}}$) sowie der SRSi/TN- und SRSi/TP-Verhältnisse im Parsteiner See. X-Y-Diagramm.	155
Abb. 71: Jahresdynamik der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse sowie Zellzahlen und Biovolumina bei <i>Cyclotella radiosa</i> und <i>Stephanodiscus neoastraea</i> im Vergleich zur Jahresdynamik der Durchmischung des Wasserkörpers ($z_{\text{mix}}/z_{\text{max}}$) sowie der SRSi/TN- und SRSi/TP-Verhältnisse im Großen Müggelsee. X-Y-Diagramm.	156

Abb. 72: Jahresdynamik der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse sowie Zellzahlen und Biovolumina bei <i>Cyclotella radiosa</i> und <i>Stephanodiscus neoastraea</i> im Vergleich zur Jahresdynamik der Durchmischung des Wasserkörpers ($z_{\text{mix}}/z_{\text{max}}$) sowie der SRSi/TN- und SRSi/TP-Verhältnisse im Langen See. X-Y-Diagramm.	157
Abb. 73: Jahresdynamik der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse sowie Zellzahlen und Biovolumina bei <i>Stephanodiscus hantzschii</i> und <i>Actinocyclus normanii</i> im Vergleich zur Jahresdynamik der Durchmischung des Wasserkörpers ($z_{\text{mix}}/z_{\text{max}}$) sowie der SRSi/TN- und SRSi/TP-Verhältnisse im Großen Müggelsee. X-Y-Diagramm.	158
Abb. 74: Jahresdynamik der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse sowie Zellzahlen und Biovolumina bei <i>Stephanodiscus hantzschii</i> und <i>Actinocyclus normanii</i> im Vergleich zur Jahresdynamik der Durchmischung des Wasserkörpers ($z_{\text{mix}}/z_{\text{max}}$) sowie der SRSi/TN- und SRSi/TP-Verhältnisse im Langen See. X-Y-Diagramm.	159
Abb. 75: Schwankungen der Oberfläche/Volumen-Verhältnisse bei <i>Cyclotella radiosa</i> und der SRSi-Konzentrationen in den 11 untersuchten Gewässern. Gekerbte Box-Whisker-Darstellung.	161
Abb. 76 A-B: HCA - Gruppierung der 34 Gewässerjahre (A) bzw. der Algenarten und -artengruppen (B) entsprechend der mittleren Biovolumen-Anteile ausgewählter 32 Taxa. Dendrogramm-Darstellung.	166
Abb. 77: PCA - Gruppierung der 34 Gewässerjahre entsprechend der mittleren Biovolumenanteile ausgewählter 32 Algentaxa. Objekt-Darstellung.	167
Abb. 78: Unterschiede in der Plankton-Zusammensetzung zwischen den „Oscillatoria“- und den „ <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> / <i>Microcystis</i> spp.“-Jahren. Dendrogramm-Darstellung der HCA.	177
Abb. 79: Temperatur-Jahresverlauf und Zu-nahme der Frühjahrs-Massenentwicklung von <i>Limnothrix redekei</i> im Langen See und im Großen Müggelsee. X-Y-Diagramm.	178

Tabellenverzeichnis

Tab. I: Übersicht zur Berechnung der Verdrängungsvolumina und Oberflächen von Zellen bzw. Zellverbänden diverser Algentaxa (Formeln).	12
Tab. II: Morphometrische, physikalische, chemische und biologische Parameter zu den 8 untersuchten Seen.	21
Tab. III: Vorkommen der Algentaxa in den 11 Gewässern für den gesamten Untersuchungszeitraum. Artenliste.	68
Tab. IV: Relative Biovolumenanteile von <i>Limnothrix redekei</i> und <i>Planktothrix agardhii</i> am Gesamtphytoplankton-Biovolumen [%] im Frühjahr und Sommer im Langen See.	108
Tab. V: Zahl der Gewässer, in denen die repräsentativen Cyanophyceen- und Bacillariophyceen-Arten und -Artengruppen beobachtet wurden.	170
Tab. VI: Indikatorwert für den Trophiegrad nach Van DAM et. al. (1994) für die 10 repräsentativen Taxa des Bacillariophyceen-Planktons der 11 Gewässer.	175

Stichwortverzeichnis

Schreibweise der Seitenzahlen: 00 *Taxonomie*, 00 *Methode und Limnologie*, 00 *Diskussion*

Abundanz 11, 143, 154 ff.

Actinocyclus normanii 43, 45, 84, 121, 126, 129, 131, 137, 142, 151, 166, 167, 170, 175, 176

Anabaena flos-aquae 40, 83, 90, 94, 95, 102, 166, 170, 174, 176

lemmermannii 83, 90, 94, 99, 117, 166, 170, 174, 176

solitaria 83, 90

spiroides 40, 83, 90

 spp. 8

Ankyra judayi 45

Ankyra lanceolata 45

„*Aphanizomenon flos-aquae*/Microcystis spp.“ –Jahre 111, 144, 147, 167, 176 ff., 184

Aphanizomenon flos-aquae 8, 9, 39, 45, 83, 85, 90, 94, 95, 102, 103, 108, 111, 113, 116, 143, 147, 166, 167, 170, 174 ff., 176

 Heterocystenfrequenz 113, 180

 hyaline Trichom-Endzellen 113, 180

 Trichombreiten 11

gracile 39, 46, 83, 89, 94, 95, 114, 166, 167, 181

issatschenkoi 40, 83, 90

skujae 40, 46, 90

Aphanothece clathrata 39

Aphanocapsa/Aphanothece 90

Artenliste 68-71

Artenreduktion s. Variablenreduktion

Asterionella formosa 84, 122, 131, 148, 170

Aulacoseira ambigua 40, 143

granulata 40, 143, 175, 176

italica 40

 spp. s. auch *Melosira* s. l. 121, 126, 129, 137, 142, 166, 170, 176

Bacillariophyceae 40, 45, 73 ff., 82, 102, 168, 121 ff., 145, 176 ff., 185

Biomasse s. Biovolumen

Biovolumenbestimmung einzellige zentrische Diatomeen 10

 Formeln 12

 Microcystis 10, 38

Biovolumen, Jahresdynamik der Bacillariophyceen-Arten 142 ff.

 Jahresdynamik der Cyanophyceen-Arten 109 ff.

 Jahresdynamik des Gesamtphytoplanktons 73

 mittleres der Gewässer 18, 21

 relatives 14

 Zelle 151, 152

Biplot s. PCA, s. auch Abbildungsverzeichnis

Blualgen s. Cyanophyceae, s. Chroococcales, Oscillatoriales, Nostocales

 s. Biovolumen, s. Oberfläche/Volumen-Verhältnis, s. Saisonalität

Box-Whisker-Plot, s. auch Abbildungsverzeichnis, 15, 34

Canonical Correspondence Analysis s. CCA

Carteria pseudomultifilis 8, 9, 45

CCA 99, 128, 172, 174

CCA, Methode 15, 98, 99

Centrales 40, 123, 133, 143

Centronella reicheltii s. *Fragilaria reicheltii*

Ceratium 166

Ceratium hirundinella 8

Chlorophyll a, mittlere Gehalte in Gewässern 20, 21, 22, 23, 86, 171, 175
Chlamydomonas metapyrenigera 45
 spp. 83
 Chlamydomphyceae 45, 82
 Chlorococcales 82
 Chlorophyceae 45
 Chlorophyta s. l. 45, 73 ff., 82, 165
 Chroococcales 37, 82, 90
Chroococcus limneticus 90
 minutulus 90
 turgidus 89
 spp. 116, 166
 Chrysophyceae 44, 73 ff., 82
Closterium acutum 166
 Clusteranalyse s. HCA
Coenochloris hindakii 45
 Conjugatophyceae 45, 82
Cosmarium depressum 35
Cryptomonas
 marssonii 166
 ovata/erosa. 44, 166
 rostratiformis 44
 spp. 151
 Cryptophyceae 44, 73 ff., 82
Cyanodictyon imperfectum 39, 90
 Cyanophyceae 37, 45, 73 ff., 82, 89 ff., 145, 168, 176 ff., 185
Cyclostephanos dubius 43, 45, 84, 121, 166, 167, 170, 175
 invisitatus 43, 84, 122
Cyclotella atomus 41, 84, 121
 bodanica 34
 kuetzingiana/ocellata/comensis 35, 36, 42, 45, 122, 128, 131, 134, 166, 170, 175
 menghiniana 42, 121
 pseudostelligera 41, 84, 122
 radiosa 11, 34, 36, 42, 45, 84, 121, 128, 131, 142, 147, 151, 155, 160, 170, 175, 192
 stelligera 42, 122

DA 103, 134

DA, Methode 15, 102
 Datensatz gepoolt 14, 94, 173
 Dauerpräparate s. Kieselalgen-Präparation
 Dendrogramm s. HCA
Diatoma 84, 123
Dictyosphaerium pulchellum 45
 „dimiktische, mesotrophe Seen“ 22, 24 ff., 78, 90, 95, 100, 108, 116, 124, 128, 134, 141, 148, 169
 DIN, s. auch 20, 24
 Dinophyceae 73 ff., 82, 165
 Diskriminanzanalyse s. DA
 Doppelkreisegel 12, 151
 Durchmischungstiefe, s. Zmix/Zmax
 dystroph 22
 „dytrophe Seen“ 22, 24 ff., 78, 90, 95, 99, 100, 108, 116, 124, 130, 134, 141, 148, 169, 190

Einzellige zentrische Diatomeen 40, 82

Ellerbeckia arenaria 40, 122
 Euglenophyceae 45
 euphotische Zone, s. auch Zmix/Zeu, 7
 eutroph, s. auch Übersicht 31, 23

Extinktionskoeffizient 6
 Extraktion der Algenarten s. Variablenreduktion

Flakensee s. auch „mineralreiche Gewässer“ 22, 109, 113, 116, 147, 165, 172
Flußseen s. „polymiktische Flußseen“
Fragilaria construens 84, 122
 crotonensis 84, 122, 131, 148, 170
 reicheltii 123, 170
 ulna 43, 45, 84, 122, 129, 131, 142, 143, 148, 151, 166, 170, 175, 182
 ulna var. *acus*, s. auch *Fragilaria ulna*, 43
 ulna var. *ulna*, s. auch *Fragilaria ulna*, 43

Frühjahr s. Saisonalität
 Frustel s. Zell-Dimensionen, Merkmalsvariabilität

Gewässer geographische Lage 5
 -Jahresmittelwert 14, 94, 126
 -Mittelwert 14, 94, 126
 -Saisonmittelwert 14, 126
 Fläche 21
 Tiefe, s. auch *Zmix/Zmax*, 21
Gomphosphaeria 38, 116
 Großer Müggelsee, s. auch „polymiktische Flußseen“, 109, 110, 143, 160, 161, 165, 176 ff.
 Großer Plagesee, s. auch „dystrophe Seen“, 22, 150, 160, 190
 Gürtelband s. Zelldimensionen
Gymnodinium 166

Hauptkomponentenanalyse s. PCA
 HCA 89 ff., 94, 111, 165, 121 ff., 134 ff.
 HCA, Methode 15, 89, 95, 169
 Herbst s. Saisonalität
 Heterocysten s. *Aphanizomenon flos-aquae*
 Hierarchische Clusteranalyse s. HCA
 hyaline Endzellen s. *Aphanizomenon flos-aquae*
 hypertroph 22, 23

Jahresdynamik s. Saisonalität, s. Biovolumen, s. Oberfläche/Volumen-Verhältnis, s. TN/TP
 Jointplot, s. auch CCA, s. auch Abbildungsverzeichnis, 99

Kanonische Analyse s. CCA
 Kanonische Korrespondenzanalyse s. CCA
 Kieselalgen Präparation 9
 s. Bacillariophyceae, s. Centrales, s. Pennales, s. einzellige zentr. Diatomeen
 s. Biovolumen, s. Oberfläche/Volumen-Verhältnis, s. Saisonalität
 Kiessee, s. auch „mineralreiche Gewässer“, 116, 128, 130, 165, 172
Koliella 83
 Konzentrationsverhältnisse s. TN/TP und trigonale Grafik
 Konzentrationsverhältnisse, normiert 26 ff., 109, 115, 142, 147, 183 ff.
 Korrelation s. PCA, s. CCA, s. Matrix-Scatterplot
 Krumme Lake, s. auch „dystrophe Seen“, 22, 109, 113, 150, 160, 190

Langer See s. auch „polymiktische Flußseen“, 109, 110, 143, 160, 161, 165, 172, 176
 Leitfähigkeit 20, 21, 99, 130, 172
 Limitationszustand s. P-, N- und Si-Limitationszustand
Limnithrix redekei 45, 83, 89, 94, 95, 102, 103, 108, 109, 112, 114, 147, 166, 170, 176, 178, 182, 189

Log-Normalverteilung, s. auch 14, 10
 Logarithmierung 14
Lynbya limnetica s. *Planktolynbya subtilis*

Marssoniella 39

Matrix-Scatterplot 19, 20, 97
Melosira varians 40, 122, 143
 s. l. 40, 82, 85, 143, 147
Merismopedia 89
 Merkmalsvariabilität 33 ff.
 mesotroph, s. auch Übersicht 31, 23
Microcystis aeruginosa 37, 45, 89, 94, 108, 143, 166, 167, 170, 176, 181
 flos-aquae 37
 ichthyoblabe 37
 incerta 90
 novacekii 37
 viridis 38, 89, 95, 108, 166, 167, 170, 174 ff., 181
 wesenbergii 37, 94, 95, 99, 102, 109, 166, 170, 174
 spp. 8, 83, 85, 111, 167, 174
 Biovolumenbestimmung s. Biovolumenbestimmung
 s. l. s. *Microcystis aeruginosa*

Median 34

Mikroskopische Tafeln 47-67

„mineralreiche Gewässer“ 21, 24 ff., 78, 90, 95, 100, 108, 165, 124, 128, 130, 134, 141, 165, 167, 169, 172

Mittelwert s. Gewässer-Mittelwert, Gewässer-Jahresmittelwert, Saison-Mittelwert

Monoraphidium contortum 166

spp. 151

Moorseen 22

morphologische Merkmale s. Variabilität

Müggelsee s. Großer Müggelsee

N-Limitationszustand 24, 110, 111, 113, 176, 179

Nährelemente s. TN, TP, TN/TP, SRSi

Nitzschia acicularis 9, 44, 84, 122, 127, 129, 131, 137, 142, 143, 166, 170, 175, 176, 189

fonticola 37

sigmoidea 122, 170

Normalverteilung 10, 14, 191

normierte Konzentrationsverhältnisse s. Konzentrationsverhältnisse

Nostocales 39, 73 ff., 82, 90, 116

Oberfläche 143

Bestimmung 11, 14

Formeln 12

Zelle 152

Oberfläche/Volumen-Verhältnis des Gesamt-Phytoplanktons, mittleres 79-81, 86, 188 ff.

des Gesamtphytoplanktons, Bestimmung 14

von Algenklassen, mittleres 82

von Bacillariophyceen-Arten, mittleres 83

von Cyanophyceen-Arten, mittleres 83

von Diatomeenzellen 151, 190 ff.

Jahresdynamik Bacillariophyceen-Arten 151 ff., 188 ff., 190 ff.

Jahresdynamik Gesamt-Phytoplankton 79 ff., 188 ff.

„*Oscillatoria*“-Jahre 111, 167, 174, 176 ff., 184

Oscillatoria limosa 91

Oscillatoriales 39, 73 ff., 82, 90

P-Limitationszustand 23, 24, 110, 115, 131, 148, 158
 Parsteiner See, s. auch „mesotrophe, dimiktische Seen“, 117, 148, 157, 160
 PCA 75 ff., 89 ff., 102, 165, 121 ff.
 PCA, Methode 15, 89, 92, 95, 134, 169
Pediastrum, Biovolumen-, Oberfläche-Formeln 12
 Pennales 43, 82, 122, 133, 143
Peridinium 166
 Phosphor s. TP, s. TN/TP, s. SRSi/TP, s. SRP
 Phytoplankton s. Biovolumen, Saisonalität, Oberfläche/Volumen-Verhältnis
Pinnularia 122
 Plankton s. Biovolumen, Saisonalität, Oberfläche/Volumen-Verhältnis
Planktolynbya subtilis 39, 45, 83, 90, 94, 95, 99, 102, 103, 109, 116, 174, 176
Planktothrix agardhii 46, 83, 89, 94, 95, 102, 103, 108, 111, 143, 166, 167, 174, 176, 178
 rubescens 90
 Pleurosigma 122, 170
 POISSON-Verteilung, s. auch 14, 10
 „polymiktische Flußseen“ 21, 24 ff., 78, 90, 95, 100, 108, 109, 116, 124, 130, 134, 141, 143, 160,
 165, 168, 169, 176 ff.
 Prasinophyceae 45, 82
 Principal Components Analysis s. PCA
 Probenahme 6, 7
 Probenfixierung 9
Pseudanabaena mucicola 37
 spp. 83, 89, 114
 Pyramidenstumpf 12, 151

Quadricoccus ellipticus 45
Quadrigula spec. 45

Radiocystis 90
 Reduktion der Algenarten s. Variablenreduktion
Rhodomonas lacustris 44, 166
 lens 44, 166
 Fixierung 9
 spp. 83, 151
 Stichprobenverteilung 17
 Rosinsee s. auch „mesotrophe, dimiktische Seen“ 117, 155
 Rotationsellipsoid 12, 151

Saison-Mittelwert 14, 94
 Saisonalität Bacillariophyceen-Plankton 130, 131, 134 ff., 176, 185
 Cyanophyceen-Plankton 95, 100 ff., 176, 185
 Oberfläche/Volumen-Verhältnis 79 ff., 151 ff., 188 ff.
 s. auch Biovolumen, s. auch Oberfläche/Volumen-Verhältnis, s. auch TN/TP
 Si s. SRSi
 Si-Limitation 192
 Sichttiefe 20, 21
 Silizium s. SRSi, SRSi/TP, SRSi/TN
Snowella lacustris 90
 litoralis 39, 89
 spp. 116
 solitäre zentrische Diatomeen s. einzellige zentrische Diatomeen
 Sommer s. Saisonalität
 SRP, s. auch 20, 24

SRSi 20, 24 ff., 128, 142, 143, 147, 155, 159, 160, 175, 182, 183 ff., 187, 192
 SRSi/TN-Verhältnis 128, 130, 157, 185
 Jahresdynamik 142 ff.
 SRSi/TP-Verhältnis 147, 158, 185
 Jahresdynamik 142 ff.
 Standardisierung 14, 15
Stephanodiscus alpinus 41, 84, 122, 166
 hantzschii 40, 45, 121, 128, 131, 134, 144, 147, 160, 166, 167, 170, 175, 182
 medius, s. auch *S. alpinus*, 41
 minutulus 41, 45, 84, 121, 189
 neoastraea 41, 45, 84, 121, 127, 137, 142, 144, 158, 166, 167, 170, 175, 176, 190
 parvus s. *S. minutulus*
 Stichproben-Verteilung 10, 14, 191
 Stickstoff s. TN, s. TN/TP, s. SRSi/TN, s. DIN
 Stria 34
Synedra acus s. *Fragilaria ulna*
 ulna s. *Fragilaria ulna*
Synura 9

T
Tabellaria flocculosa 43, 84, 122, 128, 131, 148, 166, 170, 175
 Temperatur, Wasser 178
Tetraselmis spec. 45, 166
Thalassiosira lacustris 43, 122
Thalassiosira weissflogii 43, 45, 84, 122
 TN 20, 21, 23, 24 ff., 115, 117, 143, 147, 171, 187
 TN/TP-Verhältnis 22, 24 ff., 99, 109 ff., 116, 117, 142, 143, 147, 179 ff., 183 ff., 185, 187 ff.
 Jahresdynamik 110 ff., 179 ff.
 Saisonalität 109, 117, 142, 143, 147, 183 ff., 185, 187 ff.
 Stichprobenverteilung 14
 TP 20, 21, 23, 24 ff., 100, 115, 117, 143, 147, 171, 174, 187
Trachelomonas 166
 Trichombreiten s. Zelldimensionen
 Trigonale Grafik 15, 25
 der TN-TP-SRSi-Konzentrationsverhältnisse 24-26
 der normierten TN-TP-SRSi Konzentrationsverhältnisse 26 ff., 183 ff.
 Trophie, s. auch 23, 31, 175

U Überblick Bacillariophyceen-Plankton 164
 Cyanophyceen-Plankton 120
 Dominante der Arten verschiedener Algenklassen 168
 Gesamt-Phytoplankton 87
 Limnologische Charakteristik 31
 Qualitative Phytoplanktonanalyse 46
Ulotrichales 82

V
 Valvendurchmesser s. Zelldimension
 Variabilität morphologischer Merkmale 33 ff.
 Variablenreduktion 15, 92, 124, 166, 169
 Verdrängungsvolumina s. Biovolumen
 Volumen/Oberfläche-Verhältnis s. Oberfläche/Volumen-Verhältnis
 Volumen s. Biovolumen

Winter s. Saisonalität

Woronichinia compacta 39, 89
 naegeliana 39, 89
 spp. 116

Zelle Volumen s. Biovolumen

 Zahl s. Abundanz

 Dimensionen 11, 13, 34, 151, 152 ff., 160, 188, 190

 Formen 11, 12, 189

Zellhöhe s. Zelldimensionen

Zell-Oberfläche s. Oberfläche

Zmix/Zeu 19, 21, 171

Zmix/Zmax 19, 21, 100, 128, 155, 171, 174

Zönobium 12