



Internationale Kommission zum Schutz des Rheins
Commission Internationale pour la Protection du Rhin
Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn

Plankton im Rhein 2000

68. Plenarsitzung – 2./3. Juli 2002 - Luxemburg

Herausgeber: Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR)
Technisch-wissenschaftliches Sekretariat
Postfach 20 02 53
D-56002 Koblenz
Tel. 0049-261-12495
Fax: 0049-261-36572
e-mail: sekretariat@iksr.de

© Copyright IKSR – CIPR – ICBR - All rights reserved

Inhalt

1. Zusammenfassung	2
2. Einleitung.....	4
3. Material und Methoden.....	5
3.1. Probennahmestellen	5
3.2. Analyse der Planktonproben	7
3.2.1. Phytoplankton	7
3.2.2. Zooplankton	8
4. Ergebnisse und Diskussion.....	9
4.1. Abfluss	9
4.2. Chemische Parameter und Chlorophyll-a Gehalt	9
4.3. Zusammensetzung des Phytoplanktons	15
4.4. Zusammensetzung des Zooplanktons	23
4.5. Vergleich der Artenzusammensetzung in den Jahren 1995 und 2000.....	26
4.6. Beurteilung der Daten in Bezug auf die EU-Wasserrahmenrichtlinie.....	28
4.7. Gütebewertung anhand des Chlorophyll-a Gehaltes.....	28
4.8. Gütebewertung anhand indikativer Phytoplankter	32
5. Literatur	33
6. Anhang.....	36

1. Zusammenfassung

Im Rahmen des „Aktionsprogramms Rhein“ der Internationalen Kommission zum Schutze des Rheins (IKSR) erfolgte im Jahr 2000 eine Bestandsaufnahme des Phyto- und Zooplankton sowie relevanter chemischer Parameter. Die Erfassung der Daten erstreckte sich vom Bodensee bis ins niederländische Deltagebiet. Außerdem wurde jeweils eine Station in den Nebenflüssen Aare, Neckar, Main und Mosel beprobt.

Im Vergleich zu 1995 konnte im Jahr 2000 an den meisten Probennahmestellen eine leichte Verbesserung des Trophiegrades, d.h. ein Rückgang der Jahresmittelwerte der Chlorophyll-a Gehalte und der Nährstoffe Phosphat und Nitrat verzeichnet werden. Die Werte für Silikat veränderten sich nicht, bzw. zeigten an einigen Stationen vielmehr einen Anstieg.

Der Chlorophyll-a Gehalt zeigte an allen Stationen einen Frühjahrspeak im April/Mai. Im Längsverlauf des Rheins lagen die Jahresmittelwerte im *Hoch-* und *Oberrhein* bis zur Station **Karlsruhe** unter 5 µg/l Chlorophyll-a. Auch die Maxima zeigten keine eindeutige Zunahme auf dieser Strecke. Erst mit Beginn des freifließenden Abschnitts und nach dem Zufluss des Neckars kam es zu einem Anstieg der Chlorophyll-a Gehalte, der sich im *Mittel-* und *Niederrhein* fortsetzte. An der Station **Kleve-Bimmen** wurde für den Rhein im Jahr 2000 mit 43,1 µg/l der Maximalwert und das höchste Jahresmittel mit 8,3 µg/l gemessen. Im anschließenden *Deltarhein* bis zur Station **Maas-sluis** gingen dann die mittleren Chlorophyll-a Gehalte wieder unter 5 µg/l zurück und das Maximum erreichte nur noch einen Wert von 20 µg/l. Die großen Nebenflüsse Neckar und Mosel wiesen deutlich höhere Chlorophyll-a-Gehalte auf als der *Mittelrhein*. Der Maximalgehalt betrug 71,3 µg/l (Mosel) und übertraf damit deutlich die im Rhein gemessenen Maxima.

Der Rhein kann aufgrund der Artenzusammensetzung in verschiedene Zonen eingeteilt werden: (i) der *Hochrhein*, in dem der Eintrag von im Bodensee und in der Aare vorkommenden Arten eine wichtige Rolle spielt, (ii) der *nördliche Oberrhein* und *Mittelrhein*, der durch den Eintrag von Neckar, Main und Mosel - mit maximalen Zellzahlen in der Mosel - beeinflusst wird, und (iii) der *Niederrhein* bzw. *Deltarhein* als Tieflandgewässer.

Bezogen auf das Biovolumen dominierten die Kieselalgen (Bacillariophyceae), bei den Zellzahlen jedoch die fädigen Blaualgen (Cyanobakterien). Diese traten im *Hoch-* und *Oberrhein* in großer Anzahl auf, verloren aber flussabwärts von **Mannheim** (*Mittel-*

rhein) an Bedeutung und traten erst wieder ab der Station **Lobith** (*Deltarhein*) im Winter mengenmäßig in Erscheinung. Die dominierende Rolle wurde zu den übrigen Zeiten, d.h. auch während des Frühjahrspeaks und an den meisten Stationen – auch auf Zellzahlen bezogen – von den zentrischen Kieselalgen übernommen; Grünalgen (Chlorophyceae) und Cryptophyceae waren die nächst bedeutendsten Gruppen. Bezüglich des Anteils der prozentualen Algenhauptgruppen am Gesamtphytoplankton zeigten die Stationen kein einheitliches Bild im Vergleich zu den Daten von 1995 und 2000.

Der schon 1995 beobachtete rückläufige Trend der Zooplanktonzahlen (Jahresmittelwert) setzte sich weiterhin fort. Urtiere (Protozoa) und Rädertiere (Rotatoria) waren an allen Stationen die wichtigsten Hauptgruppen während Kleinkrebse (Cladocera und Copepoda) erst im *Deltarhein* auftraten. Das Zooplankton entwickelte sich besonders im April/Mai zu Zeiten hoher Algendichten und zurückgehenden Abflüssen.

Die ermittelten Planktondaten wurden im Zusammenhang mit dem durch die europäische Wasserrahmenrichtlinie geforderten Qualitätsbeurteilungssystem diskutiert. Eine aufgrund des Chlorophyll-a Gehaltes durchgeführte Güteanalyse nach KOEMAN & BIJKERK (2001) ergab im *Hoch-, Ober- und Mittelrhein* bis einschließlich der Station **Koblenz** einen sehr guten Wassergütezustand, flussabwärts davon (*Mittelrhein* bis *Deltarhein*, einschließlich **Mannheim/Neckar** und **Koblenz/Mosel**) nur noch gute bzw. mittelmäßige Qualität. Die Trophieklassifizierung nach LAWA (2002), die auf Chlorophyll-a-Messwerten der Vegetationsperioden (März – Oktober) der drei Jahre 1998-2000 basiert, ergab ein davon abweichendes Bild. Aufgrund dieses Klassifizierungsansatzes wurden die Stationen **Karlsruhe**, **Koblenz** und **Bad Honnef** als mesotroph ausgewiesen; nur die niederrheinische Station **Kleve-Bimmen** wurde als eutroph eingestuft. Bei beiden Bewertungssystemen findet die Zusammensetzung des Planktons keine Berücksichtigung: z.B. kann ein wünschenswert niedriger Chlorophyll-a Gehalt durch Arten bestimmt werden, die für eine weniger gute Wasserqualität kennzeichnend sind. Daher ist die Analyse der Artenzusammensetzung und der Biomasse einzelner Arten notwendig. Ausgehend von der Artenzusammensetzung ist der Zustand an einigen Stationen, an denen sich eine Dominanz der Cyanobakterien und im Besonderen von *Planktothrix agardhii/rubescens* zeigte, als weniger gut anzusehen. Die in diesem Bericht vorgestellten und zugrundeliegenden Daten können als Grundlage zur Charakterisierung der Wassergüte im Rahmen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie angesehen werden.

2. Einleitung

Im Rahmen des „Aktionsprogramms Rhein“ der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) werden in fünfjährigem Rhythmus Planktonuntersuchungen durchgeführt. Die letzte Untersuchung im Rhein für die IKSR fand 1995 (IKSR 1997) statt. Der vorliegende Bericht liefert eine Aktualisierung des Datenmaterials aus dem Messprogramm des Jahres 2000. In diesem Rahmen wurde, ausgehend vom *Hochrhein* bis ins niederländische *Deltagebiet*, eine Bestandsaufnahme des Phytoplanktons und an einigen Probennahmestellen auch des Zooplanktons (zeitliche und räumliche Verteilung von Biomasse und Artenzusammensetzung des Phyto- und Zooplanktons) durchgeführt. Weiterhin wurden die das Phytoplankton beeinflussenden chemischen Parameter (Nährstoffe) sowie der Abfluss am Pegel Rees mit aufgenommen. Der Bericht soll den Ist-Zustand dokumentieren und zur Beurteilung des gegenwärtigen Trophiegrades dienen. Die wichtigsten Ergebnisse wurden in dem vorliegenden Bericht zusammengefasst und mit denen des Jahres 1995 verglichen.

Im Rahmen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) muss in den nächsten Jahren eine Einschätzung der Wasserqualität vorwiegend anhand biologischer Parameter, u.a. mittels des Phytoplanktons, vorgenommen werden. In diesem Zusammenhang wurden verschiedene Bewertungssysteme, die sich auf den Chlorophyll-a Gehalt (KOEMAN & BIJKERK 2001, SCHMITT 1998) und auf Indikatorarten (KOEMAN & BIJKERK 2001) beziehen, auf ihre Eignung untersucht.

3. Material und Methoden

3.1. Probennahmestellen

Bei der Erfassung der Daten im Jahr 2000 wirkten folgende Institutionen mit:

Die Probennahme und Bearbeitung des Phytoplanktons im *Hoch-* und *Oberrhein* von **Reckingen** bis **Mannheim** (sowie im **Neckar**) erfolgte durch das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern (BUWAL) und die Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU). Der *Mittel-* und *Niederrhein* wurde durch das Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA) (**Bad Honnef** bis **Kleve-Bimmen**) und die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) (**Koblenz/Rhein** und **Koblenz/Mosel**) bearbeitet.

Tab. 1: Probennahmestellen im Rhein

Messstelle	Stromkilometer, Kennung
Reckingen	91
Weil	171
Vogelgrün	225
Karlsruhe	359
Mannheim	426
Koblenz	590
Bad Honnef	640
Düsseldorf	732
Walsum	792
Lobith	863
Kleve-Bimmen	865
Kampen	995
Maassluis	1019
Aare/ Felsenau	1 (Rhein-km 102)
Neckar/ Mannheim	3 (Rhein-km 428)
Main/ Bischofsheim	4 (Rhein-km 497)
Mosel/ Koblenz	6 (Rhein-km 591)

Die Daten der Station **Bischofsheim/ Main** stammen vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG). Die Proben im *Deltarhein* (ab der niederländischen Grenze) der Stationen **Lobith**, **Kampen** und **Maassluis** wurden vom Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA) analysiert.

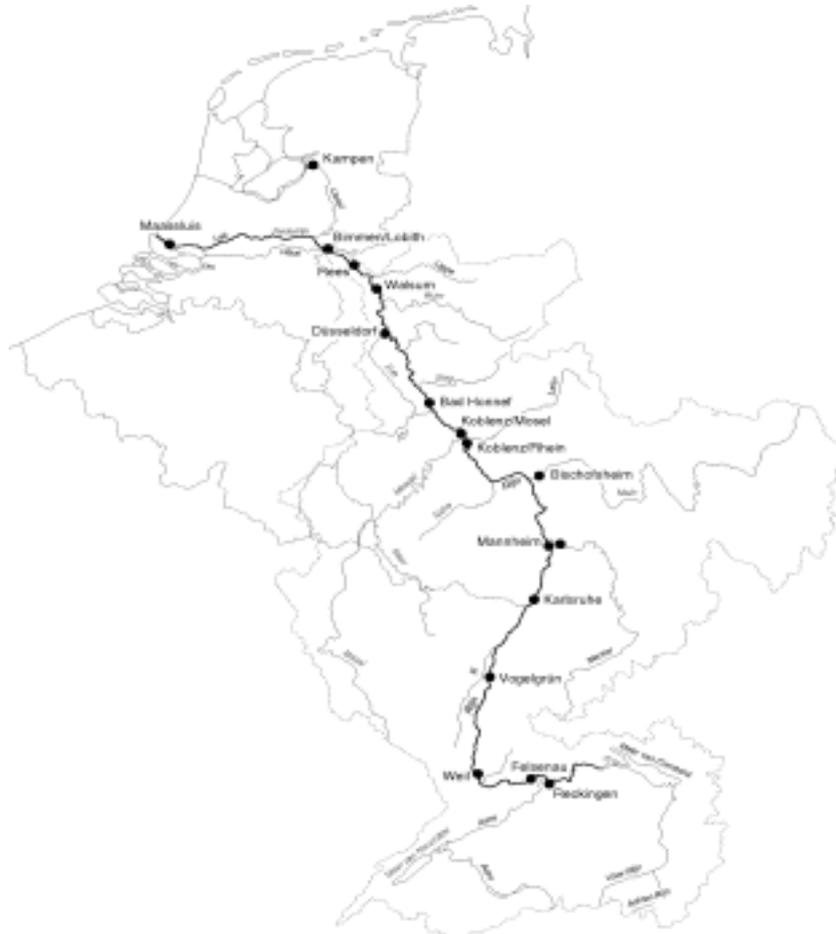


Abb. 1: Das Untersuchungsgebiet „Rhein“

Das Untersuchungsprogramm umfasste die folgenden Parameter:

1. biotische Parameter (2-wöchentlicher Rhythmus): Biomasse (Chlorophyll-a als Indikator) und Artenzusammensetzung (Zellzahl und Biovolumen) des Phytoplanktons, Individuenzahl und Artenzusammensetzung des Zooplanktons.
2. chemische Parameter (2-Wochen Abstand): pH Wert, Nitrat, ortho-Phosphat oder Gesamtphosphat, Silikat.
3. hydrographische Parameter (täglich): Abfluss beim Pegel **Rees**.

Die Messungen der einzelnen Parameter fanden am selben Tag oder wenige Tage früher/später statt.

3.2. Analyse der Planktonproben

3.2.1. Phytoplankton

Im Allgemeinen wurden Chlorophyll-a, Zellzahlen, Biovolumina und Artenzusammensetzung des Phytoplanktons bestimmt. Das Gesamtbiovolumen einer Art ergab sich durch Multiplikation der mittleren Artbiovolumina mit der jeweiligen Zellkonzentration (Zellzahl/l). Die IKSR Plankton/ Volumenliste (s.a. POHLMAN & FRIEDRICH 2001) befindet sich im Anhang (Tab. 8). Dabei handelt es sich um eine vereinfachte Liste, in der für einige seltene bzw. schwer zu unterscheidene Taxa Zusammenfassungen vorgenommen wurden, um den Arbeitsaufwand beim Zählen in einem vernünftigen Verhältnis zur erzielbaren Genauigkeit zu gewährleisten.

In der **Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg und der Hessischen Landesanstalt für Umweltschutz** wurde die Phytoplankton-Zählung nach der UTERMÖHL-Methode durchgeführt (UTERMÖHL 1958). Für eine Biovolumenberechnung wurde in der Regel auf die Standard-Biovolumina aus der Liste von POHLMAN & FRIEDRICH (2001) der IKSR zurückgegriffen. Eigene Messungen und Biovolumenberechnungen erfolgten i.d.R. nur, wenn der betreffende Organismus nicht in dieser Liste enthalten war oder weiter differenziert wurde. Detaillierte Hinweise zur gesamten Phytoplankton-Methodik finden sich in HOEHN et al. (1998) und im Anhang dieses Berichtes (Tab. 9).

Im **Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen** wurde nach der Utermöhl Methode mittels des inversen Mikroskopes mit 400-facher Vergrößerung, für die zusätzliche Zählung größerer Zellen mit 160-facher Vergrößerung gearbeitet. Für die Angaben zu den solitären zentrischen Diatomeen in der Gesamtartenliste wurde auf Dauerpräparate zurückgegriffen, die bis zu 1000x vergrößert wurden. Taxa, die nur in den Lebendproben gefunden wurden, sind im Zählprotokoll mit der Häufigkeit 0,1 angegeben. Ab dem 05.04.01 wurde *Rhodomonas* spp. L. > 10 µm mit einem Volumen von 343,7 µm³ (eigene Messwerte) in die Zählliste aufgenommen.

Von der **Bundesanstalt für Gewässerkunde** wurden teilweise Zellvolumina herangezogen, die nicht den Vorgaben der IKSR-Liste entsprechen. Die Volumina wurden vom Probennehmer selbst analysiert.

3.2.2. Zooplankton

Die 1-Liter Proben wurden vom **Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen** komplett mit 200-facher Vergrößerung ausgezählt (keine Teilproben). In weiteren 20-Liter Proben wurden mit der Stereo-Lupe (Zoom-Objektiv bis 64x) die Cladoceren und Copepoden ausgesucht und unter dem Mikroskop bestimmt. Bei der Gruppe der Ciliata ist zu beachten, dass *Vorticella*-, *Carchesium*- und *Zoothamnium* – Köpfe ohne Stiel nicht mit Sicherheit differenziert werden können. Sie sind deshalb mit den Epistylidae und den übrigen Ciliophora hier zusammengefasst. In die Zählliste wurde „übrige Copepoda“ eingefügt.

Von der **Bundesanstalt für Gewässerkunde** wurden 10 Liter Wasserproben genommen und mit Lugolscher Lösung fixiert. Vor der Bearbeitung wurden die Proben über 30 µm Gaze filtriert und auf ein Volumen von 40 ml eingengt. Anschließend wurde die gesamte Probe unter einem Binokular bei 80facher Vergrößerung ausgezählt.

In der **Hessischen Landesanstalt für Umweltschutz (HLUG)** wurden 4 Liter Wasserproben über 55 µm Gaze filtriert und, je nach Dichte in Unterproben aufgeteilt, unter einem Umkehrmikroskop bestimmt und gezählt.

Im **RIZA** wurde eine Unterprobe von 5 l einer 45-Liter Probe entnommen und über 50 µm Gaze filtriert. Die Probe wurde je nach Dichte in Unterproben aufgeteilt und die Individuen mittels Umkehrmikroskop gezählt (RIZA Vorschrift W 8140 2.111).

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1. Abfluss

Der Abfluss des Rheins wurde täglich am Pegel **Rees** gemessen. Im Jahr 2000 traten Spitzenwerte von 5380 und 5510 m³/s Ende Februar bzw. Anfang März auf (Abb. 2). Anschließend sanken die Werte unter 4000 m³/s. Von Mitte April bis Ende Dezember wurde die Marke von 3000 m³/s mit einer Ausnahme im Juli nicht mehr überschritten. Die Niedrigwasserperiode mit Minimalwerten zwischen 1700 und 1800 m³/s lag in der Zeit von Juli bis Oktober. Im Jahr 2000 war der Abfluss vor allem im Winter und im Frühjahr wesentlich niedriger als im Jahr 1995: Ende Januar herrschte ein Hochwasser von 12.000 m³/s, und danach lagen die Werte um 4000 m³/s. Das Jahr 2000 ist jedoch nicht als ein außergewöhnlich trockenes Jahr anzusehen. Der mittlere Jahresabfluss war in diesem Jahr mit 2597 m³/s etwas niedriger als im Jahr 1995, in dem der mittlere Jahresabfluss 2948 m³/s betrug.

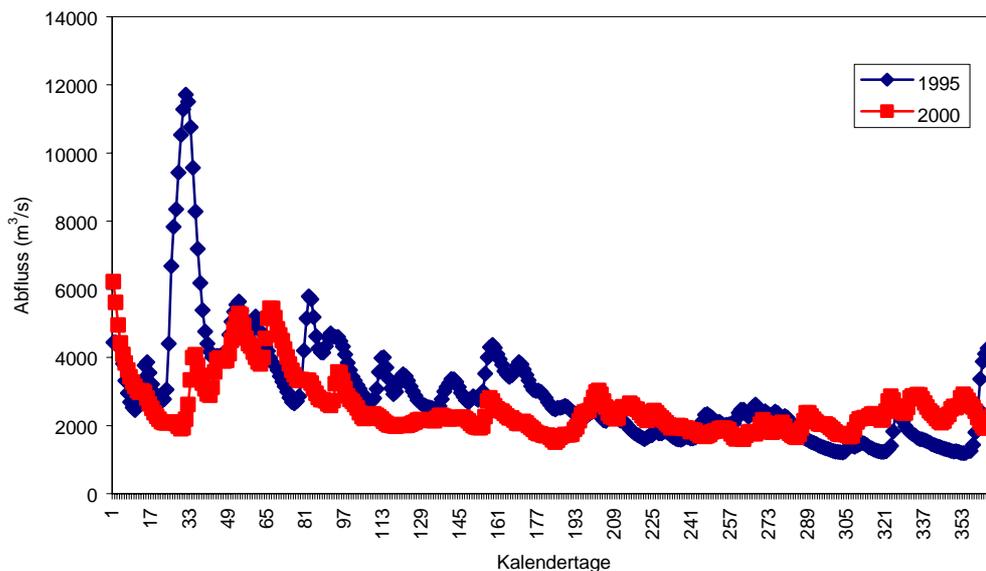


Abb. 2: Abfluss am Pegel Rees im Jahr 1995 und 2000

4.2. Chemische Parameter und Chlorophyll-a Gehalt

Im folgenden Kapitel werden die chemischen Parameter behandelt, die in Zusammenhang mit der Planktonentwicklung stehen.

Die Analyse des pH Wertes ergab keine aussergewöhnlich hohen oder niedrigen Werte, im allgemeinen lag der Wert zwischen 7,3 (Minimum bei **Maassluis**) und 8,5 (Maximum bei **Kampen**).

Der Silikatgehalt war im Winter erwartungsgemäss hoch und erreichte zur Zeit der maximalen Entwicklung der Kieselalgen im Mai/Juni minimale Werte mit einem darauf folgenden Wiederanstieg während des restlichen Jahres. Die maximalen Werte lagen zwischen 3 und 4 mg Si/l, mit Ausnahme der Hoahrheinstationen **Reckingen** und **Weil**, an denen die Maximalwerte bei 1,8 mg/l lagen. Im Vergleich zu 1995 (IKSR 1997) waren die Messwerte (Jahresmittelwerte) in 2000 ungefähr gleich hoch oder höher (Tab. 2).

Die Kurven von Nitrat-Stickstoff zeigten einen ähnlichen Verlauf wie die des Silikats, mit höchsten Werten im Winter, einem Rückgang der Werte auf ca. 2 mg/l (ca. 1 mg/l bei **Reckingen**, **Weil** und **Lauterbourg**) von April bis Juli, und einem Wiederanstieg ab September. Die höchsten Maxima wurden an den drei niederländischen Stationen (4,2 - 4,5 mg N/l), die niedrigsten (<2 mg/l) an den Stationen **Reckingen**, **Weil** und **Lauterbourg** gemessen. Im Vergleich zu 1995 (IKSR 1997) gingen die Mittelwerte (Zeitraum von 3.1.-28.12.2000) im Jahr 2000 weiter zurück (Tab. 2).

Die Kurven von ortho-Phosphat hatten einen von den anderen Nährstoffen abweichenden Verlauf, maximale Werte wurden häufig in den Sommermonaten gemessen. Oftmals war kein deutlicher Peak zu beobachten, die Werte zeigten das ganze Jahr über starke Schwankungen (z. B. die Stationen **Lauterbourg** und **Kleve-Bimmen**). Die mit Abstand höchsten Werte wurden in der **Mosel (Koblenz)** gemessen (0,05 – 0,21 mg/l P), aber auch an den niederländischen Stationen im Niederrhein sowie bei **Kleve-Bimmen** wurden maximale Werte um 0,12 mg/l festgestellt. Die niedrigsten Werte (\leq 0,015 mg/l) traten an der Station **Reckingen** auf. Im Vergleich zu 1995 (IKSR 1997) wurden im Jahr 2000 wesentlich niedrigere Mittelwerte festgestellt (Tab. 2).

Tab. 2: Vergleich der Jahresmittelwerte für Silikat, Phosphat und Nitrat in den Jahren 1995 und 2000

Messstelle	Strom- km	SiO ₂ -Si (mg/l)		PO ₄ -P (mg/l)		NO ₃ -N (mg/l)	
		1995	2000	1995	2000	1995	2000
Reckingen	91	1,22	1,23	0,03	0,01	1,25	1,20
Weil	171	1,4	1,16	0,02	0,02	1,57	1,40
Karlsruhe	359	2,69	1,88	0,05	0,03	1,70	1,51
Mannheim	426	2,25	-	0,05	0,04	1,81	1,67
Koblenz	590	2,21	2,10	0,07	0,06	3,00	2,41
Bad Honnef	640	2,26	2,35	0,08	0,06	2,92	2,53
Lobith	863	2,43	2,42	0,09	0,09	3,20	2,89
Kleve-Bimmen	865	2,21	2,50	0,15	0,08	3,13	2,79
Kampen	995	-	2,78	-	0,1	-	2,90
Maassluis	1019	2,20	2,44	0,15	0,11	-	2,75
Neckar/Mannheim	3	-	3,61	-	0,17	-	4,45
Main/Bischofsheim	4	-	-	-	0,1	-	4,85
Mosel/Koblenz	6	2,41	3,15	0,21	0,12	3,65	3,47

Ein Algenbiomassemaximum (Chlorophyll-a als Indikator) trat an allen Probenahmestellen von April bis Anfang Mai auf (Abb. 3). Anhand der Maximalwerte des Chlorophyll-a lassen sich verschiedene Rheinabschnitte unterscheiden. Im Gebiet vom *Hochrhein* bis zu der Station **Koblenz** im *Mittelrhein* lagen die Maximalwerte unter 10µg/l, stiegen flussabwärts bis Bimmen an und fielen an der Station **Maassluis** wieder ab (Tab. 3). An der Station Bimmen wurde ein Maximalwert von 43,1 µg/l gemessen. Nur die Station Kampen wies mit 46 µg/l einen noch höheren Chlorophyll-a Gehalt auf. Ein sommerlicher Peak war, wie schon 1995, nur an der Station **Kleve-Bimmen** zu verzeichnen. Höhere Chlorophyll-a Werte wurden im Neckar (51,9 µg/l) und in der Mosel (71,3 µg/l) gemessen.

Für die Probennahmestellen **Koblenz/Mosel** und **Koblenz/Rhein** liegen auch Daten über den Phäophytin Gehalt vor – ein Maß für bereits abgebautes Chlorophyll-a bzw. Grazingprozesse (BIDIGARE et al. 1985, LE ROUZIC et al. 1995). An den Daten fällt auf, dass diese Werte in der Mosel ab Oktober und im Rhein bereits ab Juli höher waren als die Chlorophyll-a Werte. Das bedeutet, dass sich ein größerer Teil der Algenbiomasse zu diesem Zeitpunkt in der Absterbephase befand (SUBBA RAO 1988).

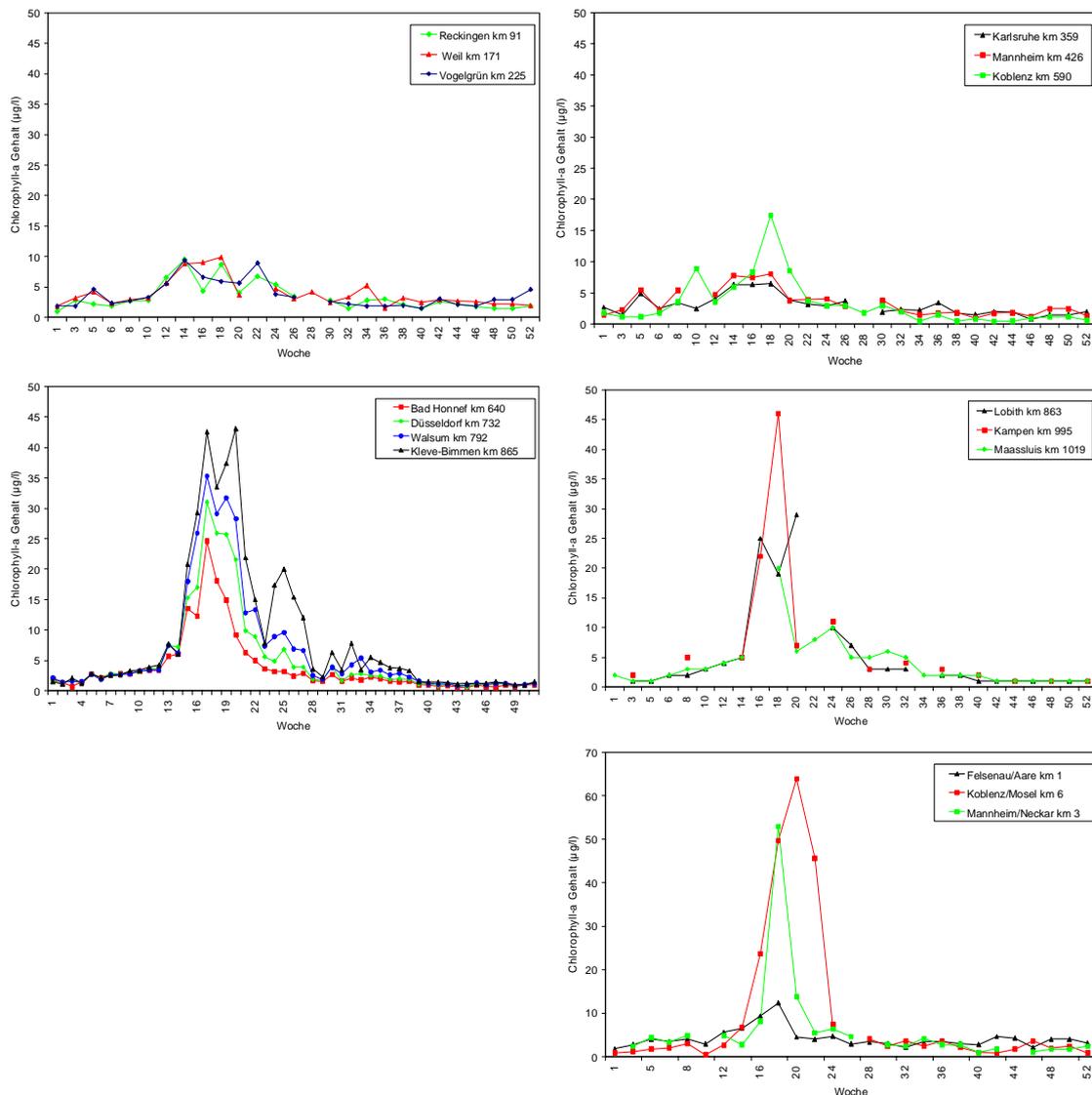


Abb. 3: Chlorophyll-a Gehalt (unterbrochene Linie = fehlender Messwert) im Jahresverlauf 2000

Mit Ausnahme der Station **Kleve-Bimmen**, an der noch ein zweiter Chlorophyll-a Peak im Sommer auftrat, sind 2-gipflige Kurven nicht mehr zu beobachten. Im Vergleich zu 1995 fiel der Sommerpeak an dieser Station im Jahr 2000 wesentlich niedriger aus als der Frühjahrspeak. Die Mittelwerte des Jahres 2000 (im Zeitraum von 3.1.-28.12.2000)

lagen deutlich unter denen von 1995 (Tab. 3) mit Ausnahme des *Hoch-* und *Oberrheins* (bis **Mannheim**). Im Vergleich zu 1995 war im Jahr 2000 an den meisten Probennahmestellen ein Rückgang der Mittelwerte von Phosphat und Nitrat zu beobachten. Ebenso konnte ein Rückgang des Chlorophyll-a Gehaltes verzeichnet werden. Die Werte für Silikat veränderten sich nicht bzw. zeigten an einigen Stationen vielmehr einen Anstieg. Diese Beobachtung steht wahrscheinlich im Zusammenhang mit den niedrigeren Chlorophyllwerten.

Tab. 3: Vergleich der Chlorophyll-a- Jahresmittelwerte von 1995 und 2000 sowie die Maxima im Jahre 2000.

Messstelle	Strom-km	Chl-a Mittelwert (µg/l)		Chl-a Maximum (µg/l)
		1995	2000	2000
Rhein				
Reckingen	91	3,1	3,3	9,5
Weil	171	3	3,8	9,9
Vogelgrün	225		3,6	9,4
Karlsruhe	359	2,7	2,9	6,5
Mannheim	426	3,4	3,9	8,1
Koblenz	590	7,4	3,3	17,5
Bad Honnef	640	7	3,4	24,6
Lobith	863	21,1	5,2	29,1
Kleve-Bimmen	865	13,5	8,3	43,1
Kampen	995		9,0	46,0
Maassluis	1019	18	3,8	20,0
Nebenflüsse				
Aare/Felsenau	1		4,2	12,3
Neckar/Mannheim	3		6,5	53,9
Mosel/Koblenz	6	15,5	8,7	71,3

Der Abfall der Nährstoffkurven (Silikat und Phosphat) fand teils zeitgleich (Abb. 4) mit dem Anstieg der Chlorophyll-a Kurve, teils zeitlich versetzt statt, d.h. ein bis zwei Wochen später als der Chlorophyllpeak. Die Zellzahlen sowie das Biovolumen der Diatomeen und der Silikatgehalt zeigten ein umgekehrt proportionales Verhältnis, daher wird davon ausgegangen, dass der Rückgang der Diatomeen durch Silikatmangel verursacht

wurde (s. a. TUBBING et al. 1994). Nach ADMIRAAL et al. (1994) ist eine Phosphatlimi-
tierung im Allgemeinen nicht zu erwarten.

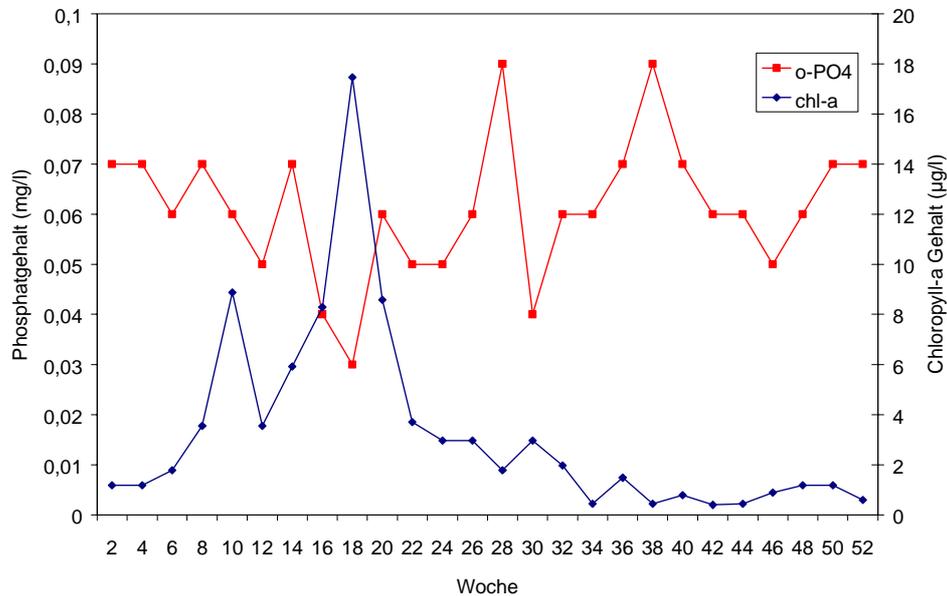


Abb. 4: Verlauf des Chlorophyll-a und Phosphatgehaltes (ortho-PO4-P) an der Station **Koblenz** im Jahr 2000

Jedoch kann der zu beobachtende Rückgang von Phosphat und Chlorophyll-a sowie der gleichzeitige Anstieg von Silikat in den letzten Jahren auf einen Einfluss der Nährstoffe auf die Höhe der Algenbiomasse hin deuten. Die Berücksichtigung des Phosphatgehaltes als ein Parameter zur Klassifizierung der Gewässergüte wird daher von NIXDORF et al. (2000) diskutiert. Die beobachtete Entwicklung der Nährstoffe und des Chlorophyll-a Gehaltes kann als leichte Verbesserung des Trophiegrades des Rheins interpretiert werden. Dabei muss aber festgestellt werden, dass in großen Flüssen vielmehr physikalische und hydrodynamische Faktoren (Lichtklima, Abfluss, Strömungsgeschwindigkeit, Wassertemperatur) eine wesentliche Rolle für die Veränderungen der Phytoplanktonentwicklung spielen (IBELINGS et al. 1998, IKSR 1997, NIXDORF et al. 2000) und nicht der bisher erreichte Grad der Reduktion der Gehalte von Pflanzennährstoffen. Weiter wird die Abundanz indifferenter Arten nicht nur durch den Nährstoffgehalt, sondern auch durch den Salzgehalt bestimmt (FRIEDRICH & MÜLLER 1984), der wiederum mit anthropogen bedingtem Salzeintrag, aber in bestimmten Bereichen des Flusses (z.B. bei Maassluis) auch mit den Abflussverhältnissen zusammenhängt.

4.3. Zusammensetzung des Phytoplanktons

Die Analyse der der Artenzusammensetzung ergab auffällige Unterschiede unter drei verschiedenen Aspekten: (1) saisonal, (2) räumlich und (3) abhängig von der Angabe in Biovolumen oder Zellzahlen.

(1) Die saisonalen Unterschiede in der Artenzusammensetzung zeigten sich durch ein Maximum der Blaualgen (Cyanobakterien) im Winter, dem Vorherrschen der Kieselalgen (Bacillariophyceae) im Frühjahr und Sommer, sowie dem vermehrten Auftreten von Grünalgen (Chlorophyceae), Goldalgen (Chrysophyceae/Haptophyceae) und teils Feueralgen (Dinophyceae) im Sommer.

(2) Bei Betrachtung der Daten unter dem räumlichen Aspekt ergab sich eine Trennung des Gebietes oberhalb und unterhalb der Station **Mannheim** bzw. **Koblenz**. Oberhalb dieser Stationen zeigte sich der Einfluss des Bodensees, was durch die Dominanz der Cyanobakterie *Planktothrix agardhii/rubescens*, eine typische Alge aus Gewässern mit wenig Strömung, deutlich wurde. Weiter stromabwärts beeinflussten die Einträge aus Neckar, Main und Mosel die Planktonzusammensetzung. Erst im Gebiet des *Nieder-rheins* entwickelte sich das Plankton in nennenswerter Größenordnung. Das höchste Biovolumen wurde an der Station **Lobith** bestimmt ($18,7 * 10^6$ /ml), gefolgt durch **Kleve-Bimmen** und **Koblenz**. Maximale Zelldichten wurden in der **Mosel (Koblenz)** gezählt (83500/ml).

(3) Die Angabe in Zellzahlen wurde meistens durch die Cyanobakterie *Planktothrix agardhii/rubescens* dominiert, das Biovolumen hingegen durch zentrische Kieselalgen (Abb. 5, 6 und 8). Während die winzigen Einzelzellen der Cyanobakterien nur wenig zum Biovolumen beitragen, stellen die größeren Kieselalgen und auch die anderen Algengruppen oftmals den Hauptteil der Biomasse. In diesem Zusammenhang muss darauf hingewiesen werden, dass den Prozentzahlen der Abbildungen 5, 6 und 8 sehr unterschiedliche Zahlen zugrunde liegen. Dies wird bei Betrachtung von Tabelle 4 deutlich, in der die Gesamtzellzahlen, das Gesamtbiovolumen und der prozentuale Anteil der Cyanobakterien an beiden Parametern für die Station **Lobith** dargestellt sind. Die grün markierten Zahlen zeigen die Diskrepanz besonders deutlich: z.B. machen die Cyanobakterien in der 2. Woche 83% der Gesamtzellzahl von 1681 Zellen/ml, aber nur 31% des Gesamtbiovolumens aus. In der 18. Woche machen sie 52% der Gesamtzellzahl von 49261 Zellen/ml aus, aber nur 3% des Gesamtbiovolumens.

Tab. 4: Vergleich des Anteils der Cyanobakterien (in %) an der Gesamtzellzahl und am Gesamtbiovolumen (in absoluten Zahlen) bei Lobith (ausgewählte Wochen)

Woche	Ges.- Zellzahl/ml	Cyanobakterien	% der Ges.- Zellzahl	Ges.- Biovolumen/ml	Cyanobakterien	% des Ges.- Biovolumens
2	1618	1334	83	175935	54662	31
4	899	412	46	186154	16698	9
14	6124	1682	27	3418971	81587	2
16	20764	53	0	2347950	2528	0
18	49261	25638	52	18785303	600929	3
20	24063	826	3	4219219	11647	0
36	3371	0	0	388126	0	0
38	2134	32	1	409045	451	0
40	3836	3219	84	164893	45388	28
42	351	0	0	76400	0	0
44	297	84	28	32036	676	2
46	310	135	44	44074	1904	4
52	3436	3306	96	24333	6854	28

An der Station **Reckingen** dominierten Kieselalgen und Cryptomonaden, erst im Herbst traten zwei Cyanobakterienpeaks auf.

An den Probennahmestellen **Weil** und **Vogelgrün** dominierte fast das ganze Jahr über die Cyanobakterie *Planktothrix agardhii/rubescens* mit großem Abstand zu den übrigen Arten, sowohl auf Zellzahlen als auch auf Biovolumina bezogen. Vom Biovolumen ausgehend waren die Kieselalgen *Diatoma vulgare* und *Cocconeis* sp. - tychoplanktische Formen, die nicht mit den zentralen Arten vergleichbar sind - im Frühjahr co-dominant (Abb. 5). Weiterhin trat die Cryptomonade *Rhodomonas minuta* das ganze Jahr über in hohen Abundanzen und Biovolumina auf.

Ab **Karlsruhe** trat *Planktothrix agardhii/rubescens* nur noch bis zum frühen Frühjahr und ab Oktober dominant in Zellzahlen und Biovolumen auf. Dafür gewann im nördlichen *Oberrhein* (nach Einmündung des gestauten, planktonreicheren Neckars) eine Gruppe zentraler Kieselalgen die Vorherrschaft, die als *Cyclotella-Stephanodiscus-Cyclostephanos-Thalassiosira* Komplex bezeichnet wurde, an Bedeutung. Erstmals trat die Diatomee *Skeletonema subsalsum* in nennenswerten Anzahlen auf und erreichte im Sommer bis zu 35% des Gesamtbiovolumens. Weiter rheinabwärts (**Mannheim**) nahm die Bedeutung von *Planktothrix agardhii/rubescens* stets weiter ab, während die Diatomeen des *Cyclotella-Stephanodiscus-Cyclostephanos-Thalassiosira* Komplexes sowie *Cryptomonas* spp. einen größeren Anteil am Plankton bekamen.

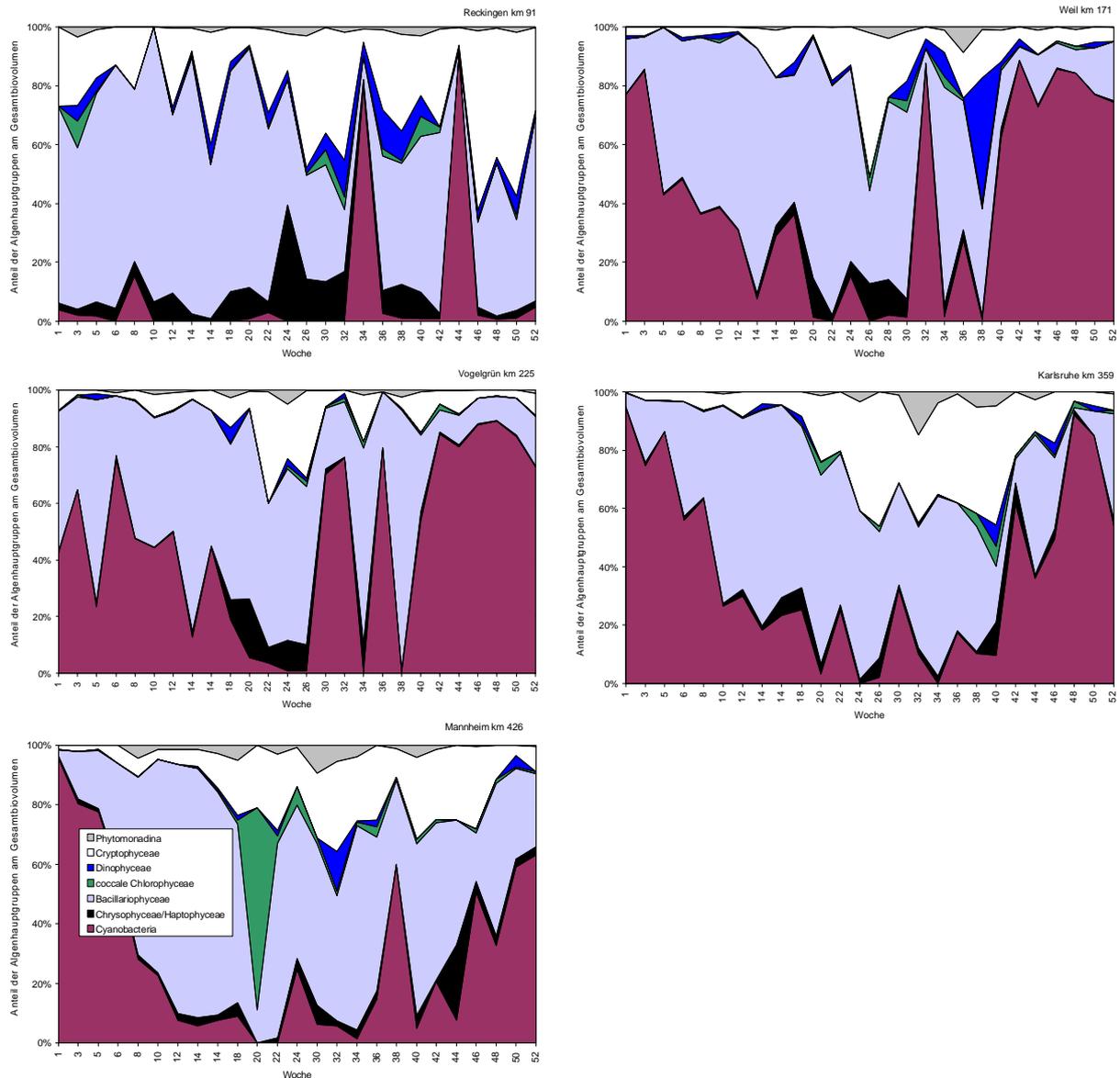


Abb. 5: Anteil der Algenhauptgruppen am Gesamtbiovolumen (%) von Reckingen bis Mannheim im Jahresverlauf 2000

Im Folgenden wird kurz auf die Rolle der Rhein Nebenflüsse Aare, Neckar, Main und Mosel eingegangen (Abb. 6). Bei **Felsenau/Aare** dominierte fast das ganze Jahr über die Cyanobakterie *Planktothrix agardhii/rubescens* mit großem Abstand zu den übrigen Arten, sowohl auf Zellzahlen als auch auf Biovolumina bezogen.

Bei **Mannheim/Neckar** befand sich neben planktischen Diatomeen (*Cyclotella/Stephanodiscus*-Gruppe, *Skeletonema subsalsum*) im Frühjahr auch eine größere Anzahl von benthischen Diatomeen der Gattungen *Nitzschia* und *Navicula* in den Proben. Im Sommer hatten neben den Chrysophyceae noch weitere Flagellaten (Phytomonadina) und coccale Grünalgen einen relativ hohen Anteil am Biovolumen.

Bei **Bischofsheim/Main** war eine deutliche Dominanz der Kieselalgen zu verzeichnen, lediglich bei den Zellzahlen machten die Grünalgen noch einen nennenswerten Anteil am Phytoplankton aus.

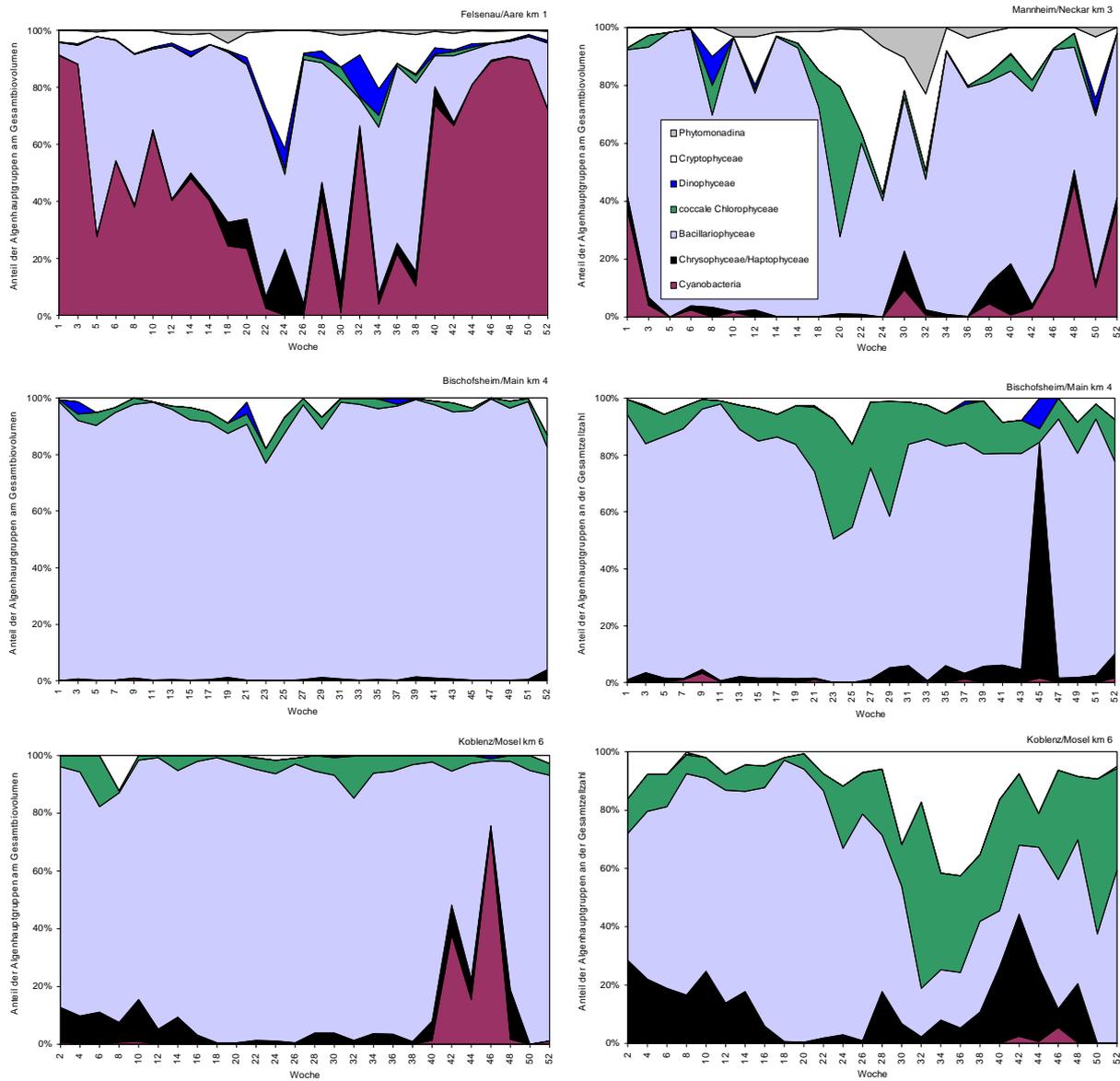


Abb. 6: Anteil der Algenhauptgruppen am Gesamtbiovolumen und Gesamtzellzahl (%) in den Rhein Nebenflüssen im Jahresverlauf 2000

Die zentrischen Diatomeen hatten bei **Koblenz/Mosel** beinahe ganzjährig den größten Anteil am Biovolumen, und zwar im Frühjahr neben *Skeletonema potamos* und *S. subsalsum* - die den Peak Anfang Mai bildeten - auch undefinierte kleine zentrale Formen sowie *Cyclostephanos dubius* und die pennate Art *Navicula lanceolata*. Pennate Formen spielten im Herbst entsprechend ihrer saisonalen Entwicklung am Ufer und am Boden

eine herausragendere Rolle. Eine untergeordnete Rolle, aber doch erwähnenswert waren im Frühjahr /Sommer die Biovolumina von den Chlorophyceae *Scenedesmus* (Gruppe *S. armatus*) und *Oocystis* spp. sowie die Cryptomonaden *Cryptomonas* spp. und *Rhodomonas minuta* var. *nannoplanctica*. Bezogen auf Zellzahlen waren im Frühjahr neben kleinen zentralen und pennaten Bacillariophyceae wiederum *Skeletonema potamos* und *S. subsalsum* dominant. Weiterhin waren im Frühjahr und Sommer die Chlorophyceae *Scenedesmus* (Gr. *S. armatus*) und *Dictyopshaerium* spp. sowie die Cryptomonaden *Cryptomonas* spp. und *Rhodomonas minuta* var. *nannoplanctica* mit hohen Zellzahlen vertreten.

An den folgenden Stationen werden die Biovolumina und Zellzahlen zum Vergleich gegenüber gestellt. Die Abbildung der Zellzahlen und des Biovolumens zeigen von der Station **Koblenz** an flussabwärts große Unterschiede. Diese können durch die Tatsache erklärt werden, dass sich das Biovolumen zum einen durch viele kleine Algen oder durch wenige große Zellen zusammensetzen kann. Aus Abbildung 7 wird ersichtlich, dass die Bacillariophyceae an der Station **Koblenz** fast jederzeit einen höheren Anteil am Biovolumen haben, als z.B. die Chrysophyceae/Monadoide, während letztere im Sommer und Herbst einen höheren Anteil an der Gesamtzellzahl erreichen als die Bacillariophyceae.

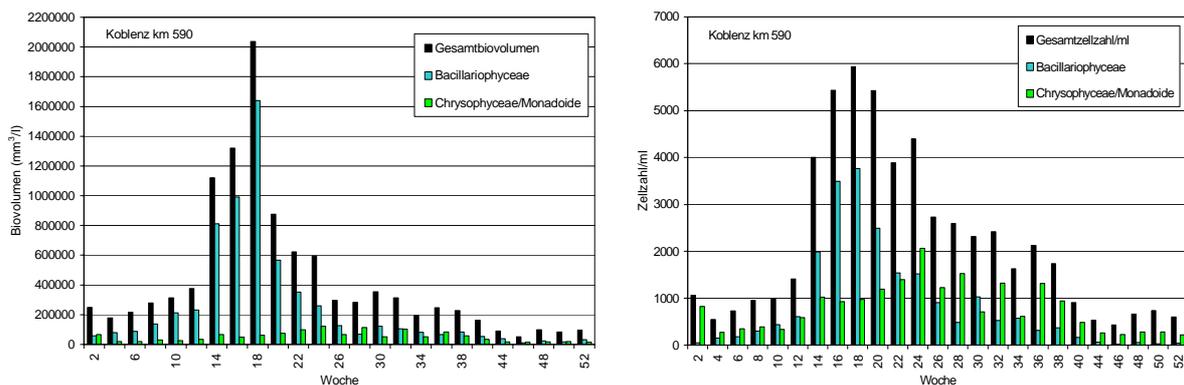


Abb. 7: Vergleich des Anteils verschiedener Algengruppen am Gesamtbiovolumen und der Gesamtzellzahl im Rhein bei Koblenz

Den größten Anteil am Biovolumen bei **Koblenz** hatte im Winter und frühen Frühjahr *Planktothrix* spp. (Abb. 8a). Danach dominierten die zentralen Diatomeen. Co-dominant waren ferner Cryptophyceae (vom Sommer bis zum Jahresende) sowie Chry-

sophyceae/Haptophyceae, darunter *Dinobryon* spp. Im Herbst kamen vereinzelt hohe Zahlen der benthische Kieselalge *Cocconeis pediculus* und von *Planktothrix* spp. vor. Von den Zellzahlen ausgehend nahmen Chlorophyceae und Chrysophyceae/Haptophyceae und ab April kleine zentrische Diatomeen (welche wahrscheinlich auch für den Chlorophyllpeak verantwortlich waren) eine größere Stellung ein, sowie im Sommer die Cryptomonaden und im Besonderen die Art *Rhodomonas minuta* var. *nannoplanctica*.

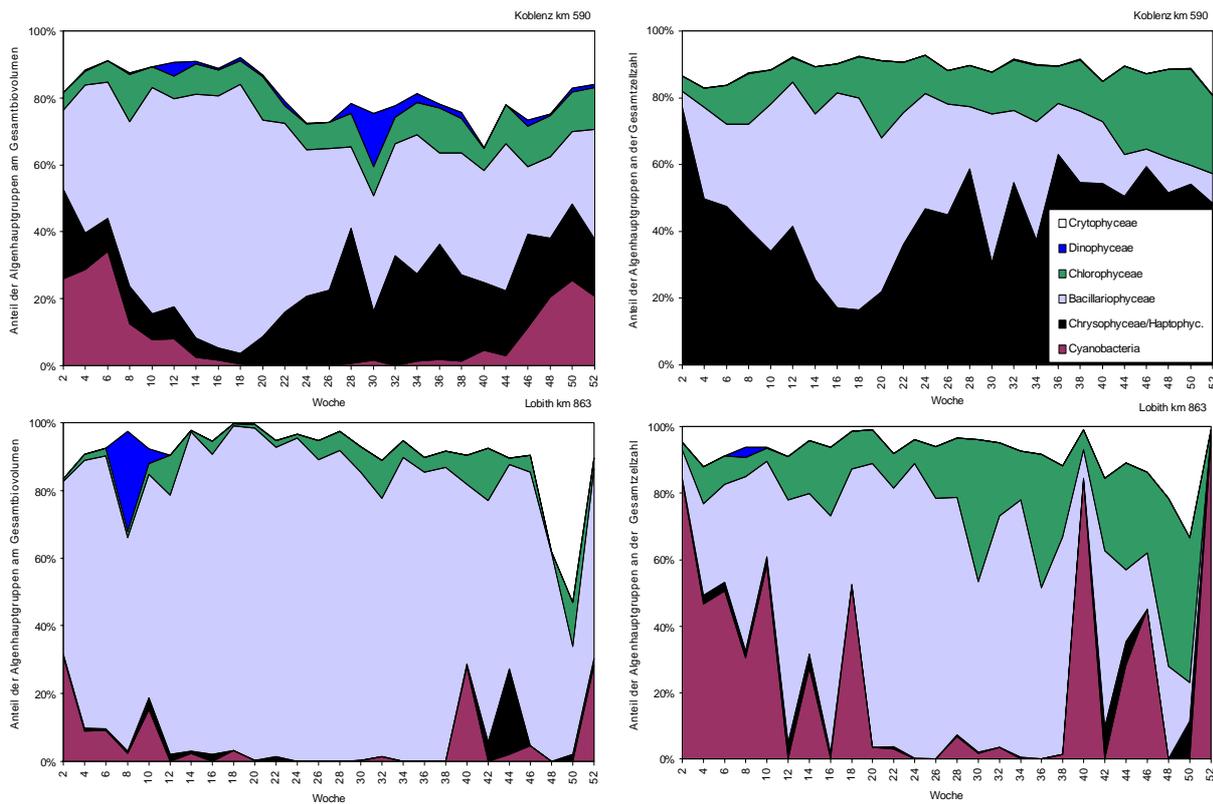


Abb. 8a: Anteil der Algenhauptgruppen an Gesamtzellzahlen und -biovolumen von Koblenz bis Lobith im Jahresverlauf 2000

Bezogen auf das Biovolumen nahmen Cryptophyceae im Winter, die zentrischen Diatomeen des *Cyclotella-Stephanodiscus-Cyclostephanos-Thalassiosira* Komplexes im Frühjahr eine dominante Stellung bei **Lobith** ein, sowie von April bis Juni die Art *Skeletonema subsalsum*. Im Winter hatten auch die Chrysophyceae sowie *Melosira varians* und *Planktothrix agardhii/rubescens* einen größeren Anteil am Biovolumen. Bei Betrachtung der Zellzahlen fielen neben der Dominanz des *Cyclotella-Stephanodiscus-Cyclostephanos-Thalassiosira* Komplexes und von *Skeletonema subsalsum* auch die

hohen Werte von *Planktothrix agardhii/rubescens* von Januar bis März sowie im Spätherbst, die von *Spermatozopsis* sp. im Spätsommer, sowie von einzelligen Chlorophyceae im Herbst auf.

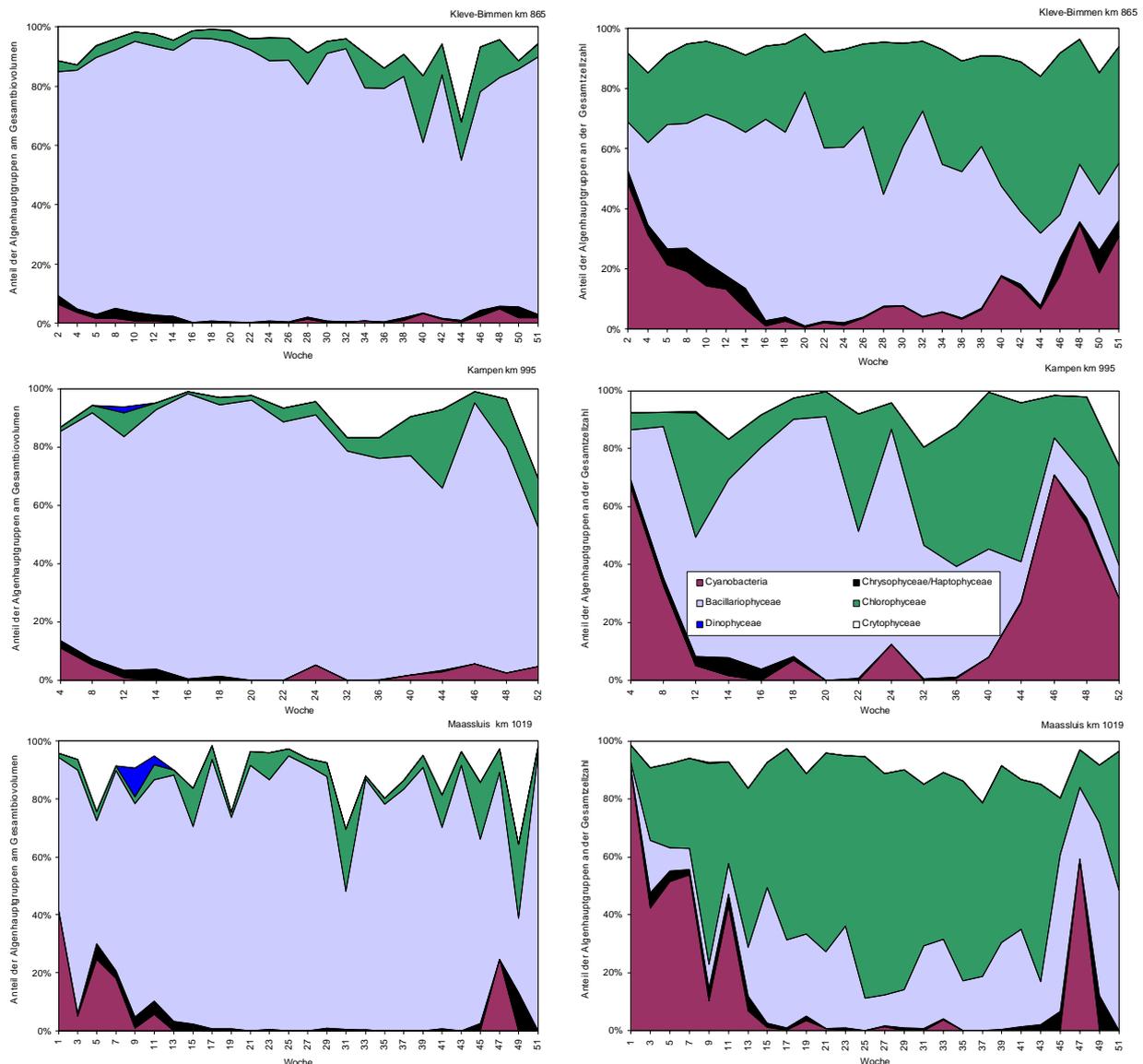


Abb. 8b: Anteil der Algenhauptgruppen an Zellzahlen und Biovolumen von Kleve-Bimmen bis Maassluis im Jahresverlauf 2000

Bei **Kleve-Bimmen** dominierte eindeutig der *Cyclotella-Stephanodiscus-Cyclostephanos-Thalassiosira* Komplex, besonders deutlich bezogen auf das Biovolumen. Bezogen auf Zellzahlen hatte *Planktothrix agardhii/rubescens* im Winter die höchsten Werte. Auch hier und an den folgenden Stationen ergeben sich große Unterschiede zwischen der Abbildung der Zellzahlen und der des Biovolumens (Abb. 8b).

Auch in **Kampen** nahm der *Cyclotella-Stephanodiscus-Cyclostephanos-Thalassiosira* Komplex eine dominierende Stellung bezüglich des Biovolumens ein. Lediglich an einigen Probennahmetagen wurden noch hohe Werte von *Skeletonema subsalsum* und *Rhodomonas* spp. erreicht. Bei Betrachtung der Zellzahlen ergab sich ein etwas verändertes Bild: neben hohen Werten des *Cyclotella-Stephanodiscus-Cyclostephanos-Thalassiosira* Komplexes und *Skeletonema subsalsum* wurden auch von *Planktothrix agardhii/rubescens* (im Winter), *Spermatozopsis* sp., *Rhodomonas* spp. und einzelligen Chlorophyta (im Sommer dominant) hohe Dichten gezählt.

An der Station **Maassluis** dominierte, bezogen auf das Biovolumen, der *Cyclotella-Stephanodiscus-Cyclostephanos-Thalassiosira* Komplex (verschiedene Größenklassen) neben *Skeletonema subsalsum*. Von den Zellzahlen ausgehend zeigte sich von Januar bis März und im Herbst eine Dominanz von *Planktothrix agardhii/rubescens*. Während des restlichen Jahres wurden die höchsten Zahlen wiederum von dem *Cyclotella-Stephanodiscus-Cyclostephanos-Thalassiosira* Komplex und *Skeletonema subsalsum* erzielt. Daneben wurden vereinzelt höhere Werte von kugeligen Chlorophyta gemessen.

Im Vergleich zu 1995 ist mit Ausnahme der Bacillariophyceae, die an allen Stationen rückläufige Prozentzahlen aufwiesen, kein einheitliches Bild in der Zu- oder Abnahme der verschiedenen Hauptgruppen zu beobachten. An der Station **Koblenz/Mosel** fanden keine nennenswerten Veränderungen in der Zusammensetzung der Hauptgruppen statt. Die Chlorophyceae nahmen an den Stationen **Kleve-Bimmen** und **Maassluis** zu, während sie in **Koblenz** und **Lobith** zugunsten der Cryptophyceae abnahmen, die im Allgemeinen leicht zunahmen.

Eine Zunahme von Cyanobakterien war z.B. an den Stationen **Lobith** und **Maassluis** zu verzeichnen, während sie an den Stationen **Kleve-Bimmen** abnahmen. Überhaupt ist ein großer Unterschied zwischen den dicht beeinanderliegenden Stationen **Kleve-Bimmen** und **Lobith** zu beobachten, nicht nur bei der Zusammensetzung des Phytoplanktons (Abb. 9) sondern auch bei den Zooplanktondaten. Dieser ist sicher durch den Einfluss der Emscher zu erklären, die bei **Lobith** in den Rhein mündet.

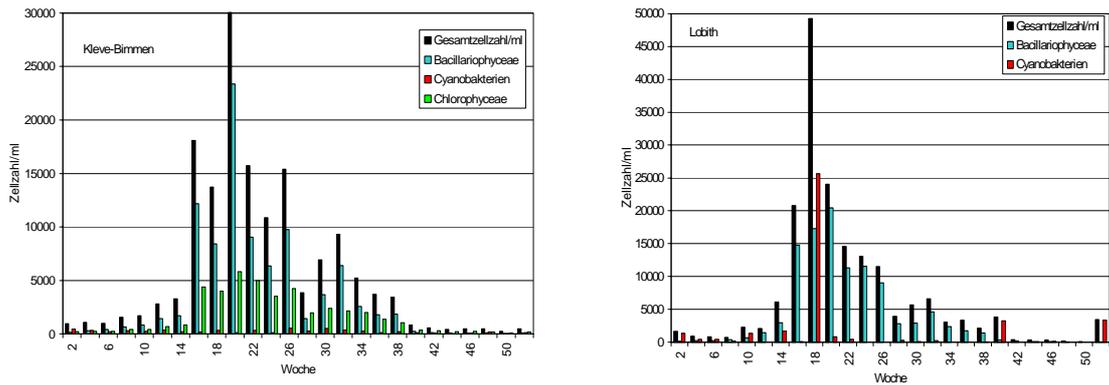


Abb. 9: Vergleich des Anteils verschiedener Algengruppen an der Gesamtzellzahl bei Kleve-Bimmen und Lobith

4.4. Zusammensetzung des Zooplanktons

Von den Stationen **Koblenz**, **Kleve-Bimmen** und den niederländischen Stationen **Lobith**, **Kampen** und **Maassluis** sowie aus dem Main und der Mosel lagen Daten über Zooplanktonabundanzen vor. Die maximale Individuendichte war an allen Stationen im April/Mai zu beobachten. Urtiere (Protozoa) und Rädertiere (Rotatoria) bildeten an allen Stationen die dominanten Gruppen. Copepoda (aufgeteilt in Nauplien und adulte Tiere) und Cladocera traten nur in geringer Anzahl auf. Die Veliger-Larven der Dreikantmuschel *Dreissena polymorpha* zeigten ein sehr unterschiedliches Verteilungsmuster, traten an einer Station in hohen Abundanzen auf und an anderen wiederum gar nicht. Eine Erklärung dafür kann sein, dass die Larven aperiodisch gebildet werden und nur 2-3 Wochen im Plankton zu finden sind. Diese Unterschiede könnten aber durch die teilweise sehr geringen Individuenzahlen in den Proben beeinflusst worden sein (0 von 5 Gesamtindividuen pro Liter bei **Lobith** am 17.5.2000 im Gegensatz zu 84 von 292 Gesamtindividuen pro Liter am 16.5.2000 in **Kleve-Bimmen**). Vielleicht sollte dazu übergegangen werden, eine größere Probenwassermenge auszuzählen und die Bearbeitungsmethode zu vereinheitlichen, um die selbigen Fehler zu vermeiden. In den Stationen ein relativ unterschiedliches Bild bezogen auf Individuenzahlen und Verteilungsmuster der Gruppen im Jahresverlauf. Die Anteile der Hauptgruppen (inklusive die der Dreikantmuschel *Dreissena polymorpha*) sind in Prozent der Gesamtindividuenzahl des Zooplanktons in Abbildung 10 dargestellt.

Im Jahresverlauf hatten Protozoa und Rotatoria den größten Anteil am Zooplankton, nur in den Monaten Mai, Juni und August konnten vergleichbare Abundanzen der Veliger-Larven der Dreikantmuschel *Dreissena polymorpha* festgestellt werden. Copepoden (Nauplien und adulte) nahmen nur einen sehr geringen Anteil ein und hatten ihr Maximum im Juni. Innerhalb der Gruppe der Protozoa waren *Vorticella* spp. und *Zoothamnium* spp., und bei den Rotatoria die nicht bestimmaren Arten am häufigsten.

Auch an der Station **Koblenz** nahmen Protozoa und Rotatoria den Hauptanteil am Zooplankton ein. Maximale Abundanzen (gesamt 90-95 Ind./l) traten von Ende April bis Mitte Mai auf. Ein weiterer Peak der Protozoa konnte im Winter (Januar und Dezember) beobachtet werden, mit *Arcella* spp. und *Zoothamnium* spp. als wichtigste Vertreter. Wichtigste Gattungen bzw. Arten der Rotatoria waren *Keratella cochlearis*, *K. quadrata* sowie *Polyartha* sp.. *Dreissena polymorpha* trat nur in sehr geringer Anzahl im Mai/Juni auf. Auch an dieser Station machten Copepoda (Nauplien und adulte) und Cladocera nur einen sehr geringen Teil des Zooplanktons aus.

Ähnlich wie beim Phytoplankton wurden bei **Kleve-Bimmen** die zweithöchsten Individuenzahlen (292/l) ermittelt. Protozoa und Rotatoria hatten wiederum den größten Anteil am Zooplankton, zeigten jedoch eine unterschiedliche Verteilung im Jahresverlauf. Protozoa wurden das ganze Jahr über in hohen Abundanzen mit einem Spitzenwert im April gefunden. Das Maximum der Rotatoria trat dagegen wiederum in Mai auf. Vergleichbar hohe Werte konnten auch im April und Juni festgestellt werden. Auch an dieser Station wurden Veliger-Larven von *Dreissena polymorpha* festgestellt, mit einem Maximum im Mai/Juni. Einzelfunde konnten von April bis Dezember verzeichnet werden. Nauplien und adulte Copepoda zeigten ein unterschiedliches Verteilungsmuster im Jahresverlauf. Cladocera traten in geringer Anzahl das ganze Jahr über auf. Die wichtigste Gattung war auch an dieser Station die Protozoe *Arcella* spp..

Bei **Lobith** trat das Zooplankton-Maximum ebenfalls Anfang Mai auf, jedoch wurden maximal(!) nur 43 Individuen per Liter gezählt. Dominierend waren wiederum Rotatoria, gefolgt durch Protozoa. Cladocera und Copepoda wurden in geringer Anzahl gefunden, wobei die Nauplien und adulten Tiere der letzteren Gruppe eine unterschiedliche Verteilung im Jahreseverlauf zeigten. *Dreissena polymorpha* war an dieser Station nicht vorhanden.

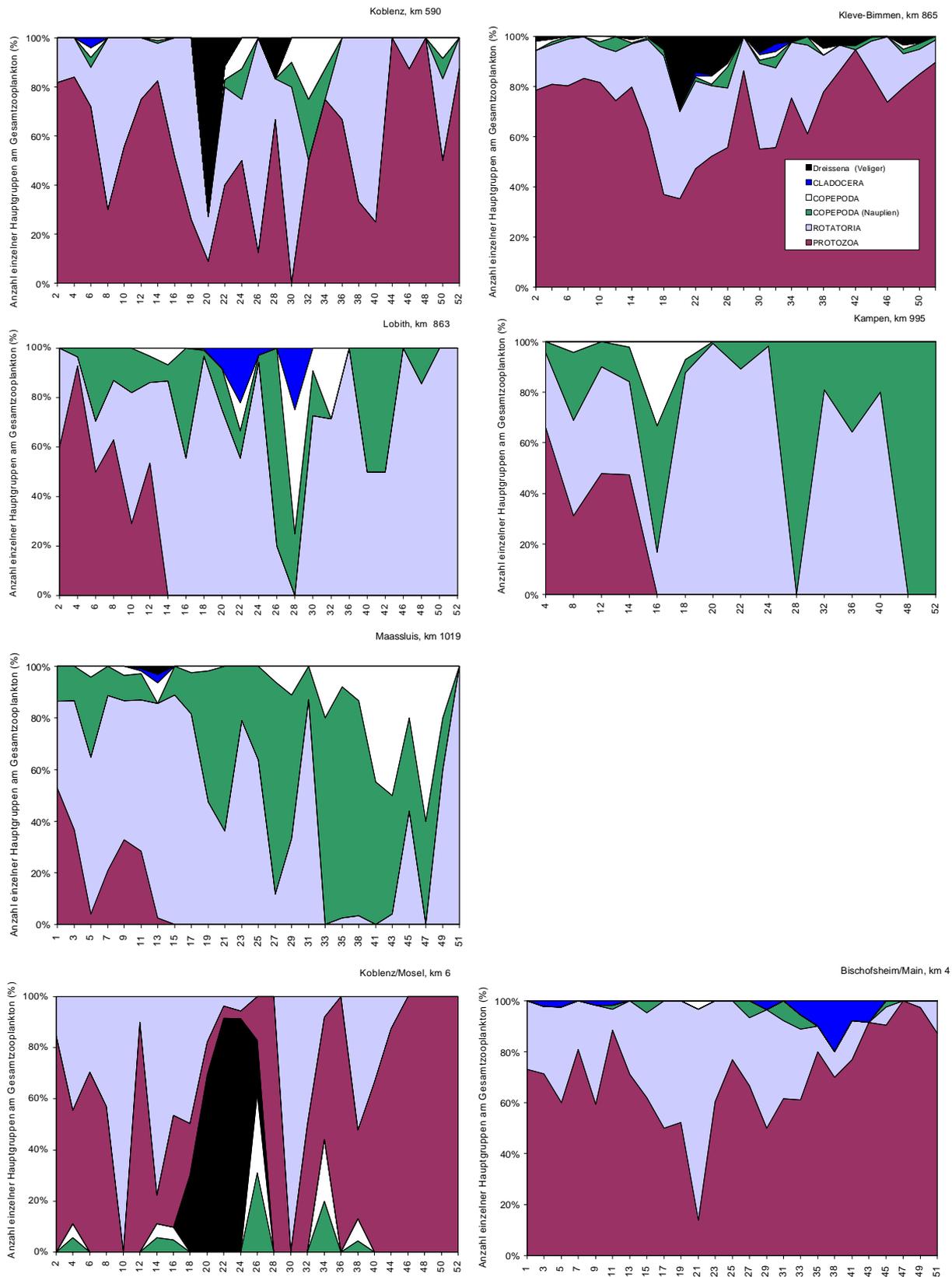


Abb. 10: Verteilung der Zooplanktonhauptgruppen im Rhein, Main und Mosel im Jahr 2000

Ein ähnliches Bild zeigte sich an der Station **Kampen**. Auch hier trat das Maximum (67 Individuen/l) im Mai auf und wurde durch Rotatoria gebildet. Zweithäufigste Grup-

pe waren wiederum die Protozoen, die wie auch bei Lobith nur im Winter und Frühjahr auftraten. Cladoceren sowie *Dreissena polymorpha* traten nicht auf, und Copepoden nur in geringer Zahl.

Bei **Maassluis** dominierten die Rotatoria, gefolgt durch Protozoa. Ein Zooplankton-Maximum trat hier im März/April auf (51 Ind./l). Copepoden (Nauplien und adulte) wurden (in geringer Zahl) das ganze Jahr über gezählt. An dieser Station wurden im März Cladocera und Veliger-Larven von *Dreissena polymorpha* nachgewiesen.

An den letzteren drei Stationen konnten nur geringe Individuendichten festgestellt werden, und außer den Gattungen von *Keratella* spp. und *Arcella* spp. tauchte keine Art bzw. Gattung in nennenswerten Anzahlen auf.

Die mit Abstand höchsten Individuenzahlen (1132/l) traten im Mai bei **Koblenz** in der **Mosel** auf (Abb. 10) was auf die Tatsache von höheren Verweilzeiten zurückzuführen sein kann, da es sich bei der Mosel um einen gestauten Fluss handelt. Diese Beobachtung stimmt mit der hohen Phytoplanktonbiomasse als Nahrungsgrundlage und der geringen Fließgeschwindigkeit überein, die vorteilhaft für die Entwicklungszeit der Rotatorien ist. An der Station **Bischofsheim** im **Main** waren ebenfalls Rotatorien dominierend. Die maximale Individuenzahl lag bei 395 pro Liter.

4.5. Vergleich der Artenzusammensetzung in den Jahren 1995 und 2000

Phytoplankton: Die Artenzusammensetzung des Phytoplanktons wird als guter Indikator für die Wasserqualität angesehen. Im Vergleich zum Beginn des letzten Jahrhunderts traten kaum wesentliche Veränderungen in der Zusammensetzung der Algenhauptgruppen auf, obwohl sich der Nährstoffgehalt stark veränderte (IBELINGS et al. 1998). Hin-gegen konnte eine Veränderung für einzelne Arten im Rhein beobachtet werden (BACKHAUS & KEMBALL 1978, FRIEDRICH & MÜLLER 1984, IBELINGS et al. 1998, NIX-DORF et al. 2000). Das Auftreten von *Skeletonema subsalsum* wird z.B. durch einen hohen Chloridgehalt erklärt. Die Bacillariophyceae waren meistens an den mittel- und niederrheinischen Stationen vorherrschend. Sie werden auch als flusstypische Arten angesehen (WEHR & DESCY 1998). Leider wurde an den meisten Probennahmeorten nicht zwischen anderen typischen Potamoplanktonarten wie z.B. *Aulacoseira granulata*,

Cyclotella meneghiniana, *Skeletonema potamos* und *Stepanodiscus hantzschii* differenziert.

Die Analyse der Artenzusammensetzung ergab eine Aufteilung des Rheins in verschiedene Flussabschnitte. Die hohen Abundanzen von Cyanobakterien im *Hochrhein* sind möglicherweise durch Eintrag aus dem Bodensee und den Seitenarmen oder durch die Lage der Probennahmestationen zu erklären (z.B. Stauregulierung). Der *Mittlerhein* wird durch den Eintrag von Neckar und Mosel beeinflusst, die durch viel höhere Planktonabundanzen als der Rhein gekennzeichnet sind. Der *Nieder- und Deltarhein* unterscheidet sich als Tieflandgewässer von den anderen Abschnitten. Diese Unterschiede, wie eine eventuelle Änderung des Schwebstoffgehaltes, der euphotischen Zone oder eine geringere Fließgeschwindigkeit des Wassers beeinflussen die Menge des Phytoplanktons, z.B. indem es bei einem hohen Schwebstoffgehalt und einer geringeren Fließgeschwindigkeit zu erhöhten Absinkprozessen kommen kann.

Zooplankton: Der im Vergleich zu 1990 auch im Jahr 1995 festgestellte Rückgang der Abundanzen (Jahresmittelwert) von Protozoa und Rotatoria - und in geringeren Maße auch Copepoda - setzte sich im Jahr 2000 fort (Tab. 5). Eine Ausnahme bildete die Station **Koblenz/Mosel**, an der die Zahl der Rotatoria wieder anstieg.

Tab. 5: Mittelwerte der Zooplanktonhauptgruppen in den Untersuchungsjahren 1995 und 2000 (- keine Messungen). Es wurden Proben im Zeitraum vom 14.3.-04.10.1995 bzw. 26.02.-11.10.2000 (im Jahr 2000, n=16) ausgewertet.

km	Messstelle	Protozoa		Rotatoria		Cladocera		Copepoda		Dreissena	
		Ind/l	Ind/l	Ind/l	Ind/l	Ind/l	Ind/l	Ind/l	Ind/l		
Rhein		1995	2000	1995	2000	1995	2000	1995	2000	1995	2000
590	Koblenz	43	13	16	12	0	0	1	0	1	1
865	Bimmen	120	63	52	33	1	0	2	1	5	10
1019	Maassluis	47	-	47	9	1	0	14	4	139	0
Nebenflüsse											
4	Main/Bischofsheim	-	74	-	48	-	1	-	1	-	-
6	Mosel/Koblenz	37	25	28	47	0	0	4	2	-	77

Hier war auch ein starker Anstieg von Veliger-Larven der Dreikantmuschel *Dreissena polymorpha* zu verzeichnen, ebenso wie in geringerem Maße bei **Koblenz** und **Kleve-**

Bimmen. Bei Maassluis hingegen trat diese Muschel nicht mehr auf. Der Rückgang der Zooplanktondichten ist wahrscheinlich durch den weiteren Rückgang des Phytoplanktons (Chlorophyll-a) zu erklären (s.a. IKS 1997).

4.6. Beurteilung der Daten in Bezug auf die EU-Wasserrahmenrichtlinie

Europäische Gewässer müssen im Rahmen der EU-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) einem Monitoring und einer Qualitätsbeurteilung unterzogen werden. Die Frage ist, inwieweit die Parameter Chlorophyll-a und bestimmte Phytoplanktonindikatorarten in die Bewertung einbezogen werden können, da das Phytoplankton mit der „fließende Welle“ transportiert wird. In diesem Zusammenhang wurden bereits verschiedene Beurteilungssysteme vorgeschlagen (NIXDORF et al. 2000, KOEMAN & BIJKERK 2001). In NIXDORF et al. (2000) werden die Vor- und Nachteile verschiedener Parameter ausführlich diskutiert. Die Autoren empfehlen eine Klassifizierung aufgrund der taxonomischen Zusammenstellung bezogen auf das Biovolumen, verbunden mit Parametern wie Sichttiefe, Chlorophyll-a, Phosphatgehalt und hydrodynamischen Parametern.

4.7. Gütebewertung anhand des Chlorophyll-a Gehaltes

In Anlehnung an die EU-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) präsentierten KOEMAN & BIJKERK (2001) den Vorschlag, den biologischen Zustand des Rheins anhand des Chlorophyll-a Gehaltes einzuschätzen. Von diesem Vorschlag ausgehend wurde für den vorliegenden Bericht der sommerliche Durchschnitt (April bis September) des Chlorophyll-a Gehaltes im Jahr 2000 berechnet. Nach KOEMAN & BIJKERK (2001) entspricht ein Chlorophyll-a Gehalt von weniger als 5 µg/l der Güteklasse 1 (sehr guter ökologischer Zustand); die Klasse 2 (gut) wird bei 5-10 µg/l Chlorophyll-a erreicht; Klasse 3 mit 11-25 µg/l ist mittelmässig; Klasse 4 mit 26-40 µg/l gilt als schlecht; Klasse 5 mit mehr als 40 µg/l ist als sehr schlecht einzustufen. Aus den Werten ergab sich für die Messstellen bis einschließlich **Koblenz** im Jahr 2000 die Klasse 1. Flussabwärts von

dieser Station sowie an den Stationen **Mannheim/Neckar** und **Koblenz/Mosel** wurden nur noch die Klassen 2 bzw. 3 erreicht (Tab. 6).

Tab. 6: Wassergüteklassen nach KOEMAN & BIJKERK (2001)

Messstelle	Strom-km	Chl-a (µg/l)*	Güteklasse
Reckingen	91	4,52	1
Weil	171	4,91	1
Vogelgrün	225	4,48	1
Karlsruhe	359	3,69	1
Mannheim	426	4,05	1
Koblenz	590	4,53	1
Bad Honnef	640	5,65	2
Düsseldorf	732	8,24	2
Walsum	792	10,64	3
Lobith	863	9,17	2
Kleve-Bimmen	865	14,30	3
Kampen	995	14,38	3
Maassluis	1019	6,08	2
Aare/Felsenau	1	4,85	1
Neckar/ Mannheim	3	5,12	2
Mosel/ Koblenz	6	16,73	3

Im IKSr Bericht von 1995 (IKSR 1997) wurde das System nach LAWA (2000) zur Beurteilung herangezogen (Tab. 7). Dieses Beurteilungssystem beruht auf der Berechnung des Mittelwertes der Chlorophyll-a Messwerte von Anfang März bis Ende Oktober in einem Beprobungszeitraum von 3 Jahren, um hydrologische Unterschiede in den verschiedenen Jahren zu berücksichtigen. In Tabelle 7 werden einige Stationen aufgeführt, um die Qualität der Jahre 1995 und 2000 zu vergleichen. Die LAWA Klassifizierung wies die Stationen **Karlsruhe**, **Koblenz** und **Bad Honnef** als mesotroph aus; nur der *Niederrhein* (Station **Kleve-Bimmen**) wurde als eutroph eingestuft. Nach dieser

Beurteilung hätte sich die Wassergüte an den Stationen **Koblenz** und **Bad Honnef** im Vergleich zu 1995 verbessert.

Tab. 7: Klassifikation der Trophie des Rheins nach LAWA-Methode. Datenbasis sind 2-wöchentliche Chlorophyll-a-Messwerte der Vegetationsperioden (März – Oktober) der Jahre 1993-1995 sowie 1998-2000.

Probestelle	Chlorophyll-a 1993-1995		Trophieklasse 1995	Chlorophyll-a 1998-2000		Trophieklasse 2000
	90- Perzentil	Mittel		90- Perzentil	Mittel	
Karlsruhe	12,2	5,3	I-II mesotroph	6,5	3,7	I-II mesotroph
Koblenz	35,5	15,2	II eutroph	14,3	5,5	I-II mesotroph
Bad Honnef	33,7	12	II eutroph	15,8	6,2	I-II mesotroph
Kleve- Bimmen	61,1	22,8	II eutroph	32,3	15,8	I-II eutroph

Die beiden Systeme sind mit die ersten Ansätze, die sich der Beurteilungsthematik nähern. Sie sind jedoch aufgrund der Unterschiede des Bewertungszeitraums, aber auch aufgrund der Grenzen zwischen den einzelnen Güteklassen schlecht miteinander zu vergleichen. Außerdem umfasst das LAWA System mehr Klassen als das von KOEMAN & BIJKERK (2001) vorgeschlagene. Letzteres stimmt jedoch besser mit dem Fünf-Klassen-Beurteilungssystem der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie überein, während das LAWA System von sieben auf fünf Klassen reduziert werden müsste. Im Zusammenhang mit der Wahl eines „Phytoplankton“-Beurteilungsparameters für den ökologischen Zustand wurde der zeitliche Verlauf der Maximalwerte von Chlorophyll-a, Biovolumen und Zellzahl an den verschiedenen Stationen näher betrachtet. Es fällt auf, dass die Maxima der drei Parameter an den hoch- und oberrheinischen Stationen bis an die Station **Mannheim** in einem unterschiedlichen Zeitraum auftraten. Erst ab der Station **Koblenz** fielen die Maxima aller drei Parameter auf den gleichen Probennahmetag. Weiter flussabwärts traten die Peaks von Biovolumen und Zellzahl am gleichen Tag auf, aber die maximalen Chlorophyll-a Werte wurden oftmals an ~~unterschiedlichen Tagen~~ **unterschiedlichen Tagen** festgestellt. In **unterschiedlichen Tagen** drei Parameter im Gegensatz zu den hochrheinischen Stationen im gleichen Monat festgestellt werden. Durch diese Diskrepanzen wird deutlich, dass auf eine sorgfältige und auf die Art der gewünschten Aussage bezogene Auswahl der Parameter geachtet werden muss. Ein hoher Chlorophyll-a Gehalt kann z.B.

mit einem hohem Biovolumen und relativ niedriger Zellzahl einhergehen, wenn es sich um eine Dominanz von großen Kieselalgen handelt. Ebenso kann ein hoher Chlorophyll-a Gehalt zusammen mit einer großen Anzahl Cyanobakterien, aber mit relativ kleinem Biovolumen auftreten.

Bis zum jetzigen Zeitpunkt wurde der Chlorophyll-a Wert zusammen mit chemischen Parametern als klassifizierender Parameter eingesetzt. Der Chlorophyll-a Gehalt hat den Vorteil, dass er schnell und mit geringem Aufwand gemessen werden kann. Messungen mit dem HPLC System können durch die Analyse verschiedener Markerpigmente einen Hinweis auf die Zusammensetzung der Algenpopulation auf Hauptgruppenniveau geben (WILTSHIRE & SCHRÖDER 1994). Jedoch ist der Chlorophyll-a Gehalt per Algenzelle abhängig von der Art und ihrem physiologischen Zustand (DEVENTER 1993). Die höchsten Chlorophyll-a Gehalte pro Biovolumen wurden an den meisten Stationen in den Wintermonaten ermittelt. Dies kann durch Schwachlichtadaptation der Algen, d.h. einen höheren Chlorophyll-a Gehalt der Zelle, um das wenige vorhandene Licht optimal auszunutzen, bedingt sein. Wegen seiner Variabilität ist der Chlorophyll-a Gehalt als Biomasseparameter weniger gut geeignet als z.B. das Biovolumen. Außerdem kann eine Wassergütebeurteilung anhand des Chlorophyll-a Gehaltes nicht ausreichend sein, da die Zusammensetzung des Planktons keine Berücksichtigung findet - z.B. kann eine wünschenswert niedrige Biomasse durch Arten bestimmt werden, die für eine weniger gute Wasserqualität kennzeichnend sind. Daher ist die Analyse der Artenzusammensetzung und der Biomasse einzelner Arten für die Bestimmung der Biomasse sollte laut NIXDORF et al. (2000) das Biovolumen und nicht die Zellzahlbestimmung herangezogen werden, da die Gesamtbioasse von wenigen großen oder sehr vielen kleinen Algen gebildet werden kann (s. auch Abb. 8a & b). Sowohl die Artenanalyse und die Bestimmung des Biovolumens sind sehr zeitaufwendig. Wenn jedoch das Biovolumen der einzelnen Algenarten ermittelt worden ist, ist der Zeitaufwand bei der computerunterstützten Zählung nicht groß. Allerdings kommt dem Personal, welches das Phytoplankton analysiert, eine hohe Bedeutung zu.

4.8. Gütebewertung anhand indikativer Phytoplankter

Für den Fall, dass spezielle Phytoplanktonindikatorarten herangezogen werden sollen, ist eine Festlegung auf Leitarten sowie die Vereinheitlichung und Kalibrierung der Methoden unbedingt notwendig. Ein System wurde von KOEMAN & BIJKERK (2001) vorgestellt und am Beispiel des niederländischen Rheingebietes besprochen.

Die für Flüsse typische Artengemeinschaft wird meistens durch Diatomeen dominiert (REYNOLDS & DESCY 1996, WEHR & DESCY 1998 in NIXDORF et al. 2000). Daher beruht das von KOEMAN & BIJKERK (2001) zur Beurteilung der Wasserqualität vorgeschlagene System auf Diatomeenarten. Jedoch waren an den aufgeführten Probennahmeorten von den von KOEMAN & BIJKERK (2001) benannten Arten nur *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis*, *Skeletonema potamos*, *S. subsalsum* und *Tabellaria fenestrata* in niedrigen Abundanzen vertreten. Außerdem wurden im Rahmen der IKSР-Bestandsaufnahme an den meisten Probennahmestellen nicht zwischen den Arten der typischen Potamoplanktongattungen wie *Aulacoseira*, *Cyclotella* und *Stephanodiscus* differenziert, die einen wesentlichen Teil des Bewertungssystems ausmachen. Die beiden letzteren Gattungen wurden in einem Komplex zusammen gefasst. Daher konnte das von den oben genannten Autoren vorgeschlagene System nicht angewandt werden.

Auf dem im März 2001 durchgeführten IKSР Workshop wurde kontrovers über die Definition von Potamoplankton diskutiert, d.h. über die Frage „ab wann man von echtem Potamoplankton sprechen kann“. Potamoplankton, d.h. Arten, die ausschließlich oder vornehmlich in Flüssen vorkommen (REYNOLDS & DESCY 1996), ist durch ein großes Oberflächen/Volumen - Verhältnis und Photoadaptation gekennzeichnet, um eine rasche Zellteilung und möglichst hohe Lichtaufnahme zu gewährleisten. Diese Voraussetzungen sind am besten bei den zentralen Diatomeen ausgeprägt, daher sind sie meist vorherrschend (WEHR & DESCY 1998). Weiterhin ist die Strömungsgeschwindigkeit und die Fließ- bzw. Verweilzeit des Wasserkörpers für die Entwicklung von Potamoplankton, d.h. die Reproduktion der Organismen, eine wichtige bestimmende Größe. Es wurde vorgeschlagen, dass erst bei einer Verweilzeit von mindestens drei Tagen von einer Flussplanktongemeinschaft die Rede sein kann. Es wurde auch die Frage diskutiert, ob sich Phytoplanktonindikatorarten überhaupt für eine Beurteilung eignen, da die Artenzusammensetzung durch viele – abiotische und biotische - Faktoren beeinflusst werden

kann. Nach LAWA (1998) sind Flüsse planktondominiert, wenn ihre Primärproduktion mindestens der Trophieklasse II (eutroph, Chlorophyll-a Mittelwert $> 7 \mu\text{g/l}$) entspricht. Veränderungen in der Artenzusammensetzung und –häufigkeit lassen sich nicht nur auf die “Eutrophierungsgeschichte” zurückführen, sondern sind auch durch morphologische und hydrologische Parameter und Änderungen in der organischen Schadstoffbelastung bedingt. Außerdem muss zwischen verschiedenen Flussabschnitten (alpin oder von Mittelgebirgen geprägter Fluss, Tieflandgewässer, etc.) und unterschiedlichen Fließzeiten in diesen Bereichen unterschieden werden (s. auch Tab. 2 in NIXDORF et al. (2000)).

Die in diesem Bericht vorgestellten und ihm zugrundeliegenden Daten stellen eine Grundlage zur Charakterisierung der Wassergüte im Rahmen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie dar. Bewertungsansätze zur Ermittlung der Gewässergüte auf der Basis des Phytoplanktons sind noch nicht vollständig ausgearbeitet (Nixdorf et al. 2000). Jedoch sollte ein Bewertungssystem auf der Basis von Chlorophyll-a Gehalten, Artenzusammensetzung und Biovolumen des Phytoplanktons sowie der Gesamtposphorkonzentration, Sichttiefe und fließgewässerspezifischen hydrologischen Einflussfaktoren aufgebaut sein.

5. Literatur

- ADMIRAAL, W., BREEBAART, L., TUBBING, G.M.P., VAN ZANTEN, B., DE RUIJTER VAN STEVENINCK, E.D. & BIJKERK, R. (1994): Seasonal variation in composition and production of planktonic communities in the lower river rhine. – *Freshw. Biol.* 32: 519-531.
- BACKHAUS, D. & KEMBALL, A. (1978): Gewässergüteverhältnisse und Planktonentwicklung im Hochrhein, Oberrhein und Neckar.- *Arch. Hydrobiol.* 82: 166-206.
- DEVENTER, B. (1993): Der Einfluss von Aufbereitungsmethoden und Lagerungsbedingungen sowie Licht- und Nährstoffmangel auf die Pigmentverteilung verschiedener Planktonarten.- *Ber. Zentr. F. Meeres- u. Klimaforsch. Reihe E, Nr. 4.*
- FRIEDRICH, G. & MÜLLER, D. (1984): Rhine. In: *Ecology of European Rivers*. B.A. Whitton (Ed.) 644 s. Offord, pp.265-315.

- HÖHN, E., CLASEN, J., SCHARF, W., KETELAARS, H.A.M., NIENHÜSER, A.E., HORN, H., KERSKEN, H. & EWIG, B. (1998): Erfassung und Bewertung von Planktonorganismen. ATT-Technische Information Nr. 7., 2. völlig neu bearbeitete Aufl., Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren, AK-Biologie, Siegburg. 151. S.
- IBELINGS, B., ADMIRAAL, W., BIJKERK, R., IETSWAART, T. & PRINS, H. (1998): Monitoring of algae in Dutch rivers: does it meet its goals? – J. Appl. Phycol. 10: 171-181.
- IKSR (INTERNATIONALE KOMMISSION ZUM SCHUTZE DES RHEINS) (1997): Plankton im Rhein 1995.
- KOEMAN, R. & BIJKERK, R. (2001): Bericht über den IKSR/CIPR workshop „fytoplankton in rivieren“, Bonn, 28-29 maart 2001.
- LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (LAWA) (1998): Gewässerbewertung - Stehende Gewässer. Vorläufige Richtlinie für eine Erstbewertung von natürlich entstandenen Seen nach trophischen Kriterien. Kulturbuchverlag, Berlin.
- LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (LAWA) (2002): Methode zur Klassifikation der Trophie planktonführender Fließgewässer-Ergebnisse der Erprobungsphase. - Bearbeitet vom LAWA Unterarbeitskreis „Planktonführende Fließgewässer“, Saarbrücken, 54 pp.
- LE ROUZIC, B., BERTRU, G. & BRIENT, L. (1995): HPLC analysis of chlorophyll a breakdown products in interpret microalgae dynamics in a shallow bay.- Hydrobiol. 302: 71-80.
- NIXDORF, B., U. RIEDMÜLLER, U. MISCHKE & E. HOEHN (2000): Klassifizierungsverfahren für Fließgewässer anhand des Phytoplanktons. Teil II der Literaturstudie über ‘Ökologische Gewässerwertung – Phytoplankton’ im Auftrag der ATV/DVWK und LAWA-AG ‘Fließende Gewässer.
- POHLMAN, M. & FRIEDRICH, G. (2001): Bestimmung der Phytoplanktonvolumina – Methodik und Ergebnisse am Beispiel Niederrhein.- Limnol. 31: 229-238.
- REYNOLDS, C.S. & DESCY, P.-P. (1996): The production, biomass and structure of phytoplankton in large rivers.- Arch. Hydrobiol., Suppl. 113: 161-187.
- RICHTLINIE 2000/60/EG des europäischen Parlamentes und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.

- RIZA (2000): Het kwantitatief bepalen van zoöplankton in oppervlaktewater. Werkvoorschrift W 8140 2.111.
- SUBBA RAO, D.V. (1988): Species specific primary production measurements of arctic phytoplankton.- Br. Phycol. J. 23: 273-282.
- UTERMÖHL, H. (1958): Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitt. Int. Ver. Limnol. **9**, 1-38
- TUBBING, G.M.J., ADMIRAAL, W., BACKHAUS, D., FRIEDRICH, G., DE RUYTER VAN STEVENINCK, E.D., MÜLLER, D. & KELLER, I. (1994): Results of an international plankton investigation on the river Rhine.- Wat. Sci. Techn. 3: 9-19.
- WEHR, J.D. & DESCY, J.-P. (1998): Use of phytoplankton in large river management.- J. Phycol. 34: 741-749.
- WILTSHIRE, K.H. & SCHRÖDER, F. (1994): Pigment patterns in suspended matter from the tidal river Elbe, Northern Germany.- Neth. J. Aquat. Ecol. 28: 255-265.

6. Anhang

Tab. 8: Phytoplankton-Volumenliste IKSr 2000

Taxon	Volumen (μm^3)	Quellen
CYANOPHYTA		
CYANOPHYCEAE		
Chroococcales		
Chroococcus spp.	250	K
Merismopedia spp.	0,7	
Microcystis spp.	47,7	
sonstige Chroococcales	14,1	
Hormogonales		
Anabaena spp.	41,8	
Aphanizomenon spp.	80	K
Limnothrix spp.	35,2	
Oscillatoria spp.	200	K
Planktothrix agardhii / rubescens	40,8	
Pseudanabaena spp.	13,7	
Spirulina spp.	3,1	ATT
sonstige Hormogonales	2	K
CHROMOPHYTA		
CHRYSOPHYCEAE / HAPTOPHYCEAE		
Chrysococcus spp.	134,0	
Dinobryon spp.	383,2	
Erkenia subaequiciliata / Chrysochromulina parva	73,8	
Mallomonas cf. akrokomos	154,3	
Mallomonas spp.	1195,0	
Synura / Syncrypta spp.	640,0	
sonstige Chrysophyceae aloricat	100	K
sonstige Chrysophyceae loricat	53,6	
sonstige Haptophyceae	73,8	
XANTHOPHYCEAE		

Goniochloris mutica	321,4	
Tribonema spp.	32,6	
sonstige Xanthophyceae	200	
BACILLARIOPHYCEAE		
Centrales		
Acanthoceras zachariasii	584,2	
Actinocyclus normanii	3926,6	
Aulacoseira granulata, D. < 5 µm	292,4	
Aulacoseira granulata, D. > 5 µm	1063,7	
Aulacoseira spp.	829,5	
Melosira varians	4671,5	
Rhizosolenia spp.	65	
Skeletonema potamos	124,0	
Skeletonema subsalsum	200,0	
Cyclotella-Stephanodiscus-Cyclostephanos-Thalassiosira Komplex D. < 5 µm	65,8	
Cyclotella-Stephanodiscus-Cyclostephanos-Thalassiosira Komplex D. 5 < 10 µm	271,6	
Cyclotella-Stephanodiscus-Cyclostephanos-Thalassiosira Komplex D. 10 < 15 µm	815,0	
Cyclotella-Stephanodiscus-Cyclostephanos-Thalassiosira Komplex D. ≥ 15 µm	4195,3	
Pennales		
Asterionella formosa	471,0	
Cocconeis spp.	1276,0	
Diatoma tenuis	1264,5	
Diatoma vulgare	9325,5	
Diatoma spp.	950	
Fragilaria crotonensis	1072,0	
Fragilaria ulna - Sippe, L. < 100 µm	713,6	
Fragilaria ulna - Sippe, L. 100 - 200 µm	2792,7	
Fragilaria ulna - Sippe, L. > 200 µm	5334,5	
Fragilaria spp.	950	
Gyrosigma spp.	6850	
Navicula gregaria	388,0	
Navicula lanceolata	2334,0	
Navicula spp., L. < 25 µm	301,2	

Navicula spp., L. > 25 µm	894,8	
Nitzschia acicularis - Typ	281,0	
Nitzschia spp., L. < 25 µm	209,0	
Nitzschia spp., L. 25 - 50 µm	581,5	
Nitzschia spp., L. 50 - 100 µm	902,0	
Nitzschia spp., L. > 100 µm	8400	
Rhoicosphenia abbreviata	1659	
Surirella spp.	1718,5	
Tabellaria fenestrata / flocculosa	1888,7	
sonstige Pennales, L. < 25 µm	355,6	
sonstige Pennales, L. 25 - 50 µm	677	
sonstige Pennales, L. > 50 µm	13200	
DINOPHYCEAE		
Ceratium hirundinella	45000	K
Peridinium spp.	1830	
sonstige Dinophyceae	5000	K
CHLOROPHYTA		
PRASINOPHYCEAE		
Nephroselmis spp.	155	
Tetraselmis spp.	360,5	
sonstige Prasinophyceae	200	
CHLOROPHYCEAE		
Volvocales		
Carteria spp.	780	
Chlamydomonas spp., L. 10 µm	170,0	
Chlamydomonas spp., L. > 10 - 15 µm	694,5	
Chlamydomonas spp., L. > 15 µm	2099,5	
Eudorina elegans	904	
Pandorina morum	147,3	
Pteromonas spp.	590	
sonstige Volvocales einzellig, L. < 10 µm	100	K
sonstige Volvocales einzellig, L. > 10 µm	671	
sonstige Volvocales Kolonie, L. < 10 µm	287,0	

sonstige Volvocales Kolonie, L. > 10 µm	750	K
Dunaliellales		
Spermatozopsis sp.	6,1	
Chlorococcales		
Actinastrum hantzschii-Formenkreis	53,0	
Ankistrodesmus spp.	52	
Chlorella spp.	30	K
Coelastrum spp.	97,3	
Crucigenia spp.	47,6	
Crucigeniella spp.	32,9	
Dictyosphaerium pulchellum	73,4	
Dictyosphaerium spp. / Dactylosphaerium spp.	11,9	
Kirchneriella spp.	45	
Lagerheimia spp.	51,8	
Micractinium pusillum	121,5	
Monoraphidium arcuatum	31,4	
Monoraphidium contortum	11,4	
Monoraphidium griffithii	102,1	
Monoraphidium spp.	11,9	
Neodesmus danubialis	11,1	
Oocystis spp., L. < 10 µm	156,7	
Oocystis spp. L. > 10 µm	492,0	
Pediastrum boryanum	48,2	
Pediastrum duplex	173,8	
Pediastrum tetras	104	
Pediastrum spp.	330	
Scenedesmus denticulatus u. opoliensis	151,0	
Scenedesmus spp., L. < 10 µm	37,1	
Scenedesmus spp., L. > 10 µm	86,2	
Schroederia spp. (incl. Pseudoschroederia und Ankyra)	136,1	
Tetraedron spp.	103,0	
Tetrastrum spp.	52,1	
palmelloide Chlorococcales, D. < 10 µm	136	
palmelloide Chlorococcales, D. > 10 µm	600	
sonstige Chlorococcales	40	
Chlorophyta, kugelig, einzell., D. < 3 µm	7,9	

Chlorophyta, kugelig, einzell., D. 3 - 6 µm	31	
Chlorophyta, kugelig, einzell., D. > 6 µm	156	
Chlorophyta, kugelig, kolon., D. < 3 µm	3,4	
Chlorophyta, kugelig, kolon., D. 3 - 6 µm	31	
Chlorophyta, kugelig, kolon., D. > 6 µm	156	
Ulotrichales		
Gloeotila spp.	14	
Koliella spp.	46,5	
sonstige Ulotrichales	17,4	
CONJUGATOPHYCEAE		
Desmidiales		
Closterium spp.	624,1	
Cosmarium spp.	3655	
Staurastrum spp.	12000	K
Zygnemales		
Mougeotia spp.	1055,0	
CRYPTOPHYTA		
CRYPTOPHYCEAE		
Cryptomonas spp., L. < 15 µm	357,0	
Cryptomonas spp., L. 15 -30 µm	1209,5	
Cryptomonas spp., L. > 30 µm	3550,0	
Rhodomonas minuta, incl. var. nannopl.	104,5	
Rhodomonas spp., L. < 10 µm	44,3	
sonstige Cryptophyceae	75,3	
EUGLENOPHYTA		
EUGLENOPHYCEAE		
Euglena spp.	2987	
Lepocinclis spp.	300	K
Phacus spp.	3030	
Trachelomonas spp.	1503,5	
sonstige Euglenophyceae	3000	

ATT= ATT-Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren e.V. Arbeitskreis. Biologie (1998), K= Kümmerlin, R. (1996, unveröffentlicht)

Tab. 9: Zellformen und zugehörige Volumenberechnungsformeln zur Bestimmung der Phytoplanktonbiomasse (aus HOEHN *et al.* 1998)

Symbol und Körperform	Berechnungsformel
K = Kugel	Volumen = $\pi/6 \cdot \text{lang} \cdot \text{lang} \cdot \text{breit}$
D = Dreh-Ellipsoid	Volumen = $\pi/6 \cdot \text{lang} \cdot \text{breit} \cdot \text{breit}$
E = Ellipsoid bei <i>Dinophyceen</i>	Volumen = $\pi/6 \cdot \text{lang} \cdot \text{breit} \cdot (\text{breit} \cdot 0.82)$
E = Ellipsoid bei anderen Gruppen (ohne <i>Dinophyceen</i>)	Volumen = $\pi/6 \cdot \text{lang} \cdot \text{breit} \cdot (\text{breit} \cdot 0.65)$
Q = Quader (Höhe=Breite)	Volumen = $\text{lang} \cdot \text{breit} \cdot \text{breit}$
q = Quader (Höhe<Breite):	Volumen = $\text{lang} \cdot \text{breit} \cdot (\text{breit} \cdot 0.33)$
Z = Zylinder (Höhe = Länge, Durchmesser = Breite)	Volumen = $\pi/4 \cdot \text{breit} \cdot (\text{breit}) \cdot \text{lang}$
z= Zylinder (Durchmesser = Länge, Breite, Höhe= 0.35*Durchmesser)	Volumen = $\pi/4 \cdot \text{breit} \cdot (\text{breit} \cdot 0.35) \cdot \text{lang}$
S = elliptische Säule	Volumen = $\pi/4 \cdot \text{lang} \cdot \text{breit} \cdot (\text{breit} \cdot 0.66)$
s = Discus	Volumen = $\pi/8 \cdot \text{lang} \cdot \text{breit} \cdot (\text{breit} \cdot 0.5)$
3=Dreiecks-Säule (Länge = Kantenlänge, Höhe = Breite)	Volumen = $(1/2 \cdot \text{lang} \cdot (1/2 \cdot \text{lang} \cdot \sqrt{3})) \cdot \text{breit}$
5=Dreiecks-Säule (Länge = Kantenlänge, Höhe = 1/2 Breite)	Volumen = $1/2 \cdot \text{lang} \cdot (1/2 \cdot \text{lang} \cdot \sqrt{3}) \cdot (\text{breit}/2)$
T=4Dreieckssäulen (<i>Crucigenia</i> -Coenobium, Höhe=2/3*Breite)	Volumen = $(\text{lang} \cdot \text{lang} \cdot (2/3 \cdot \text{breit}))/4$
k = Kegel	Volumen = $\pi/3 \cdot (\text{breit}/2)^2 \cdot \text{lang}$
H = Spindel	Volumen = $2 \cdot \pi/15 \cdot \text{breit} \cdot \text{breit} \cdot \text{lang}$
J = Doppelkegel	Volumen = $2/3 \cdot \pi \cdot ((1/2 \cdot \text{breit})^2) \cdot 1/2 \cdot \text{lang}$
2 = zwei Drehellipsoide	Volumen = $2 \cdot (\pi/6 \cdot \text{lang} \cdot (\text{breit}/2) \cdot (\text{breit}/2))$
F = Dreieckpyramide	Volumen = $1/3 \cdot (\text{lang} \cdot \text{breit} \cdot 0.5) \cdot (0.8 \cdot \text{breit})$
P = zwei Dreiecks-pyramiden	Volumen = $2 \cdot (1/3 \cdot (1/2 \cdot \text{breit} \cdot (\sin 60^\circ) \cdot \text{breit})) \cdot (\text{lang}/2)$
C = Eistüte (Cone)	Volumen = $\pi/12 \cdot \text{breit} \cdot \text{breit} \cdot ((\text{breit}/2) + \text{lang})$
d = "Doppelkugel"	Volumen = $(\pi/6 \cdot \text{lang} \cdot \text{breit} \cdot \text{breit}) + (\pi/6 \cdot \text{breit} \cdot \text{breit} \cdot \text{breit})$