



Phytoplanktonpigmente im Rhein und in verschiedenen Seen seines Einzugsgebietes

Februar 2003



Planktothrix rubescens (Cyanobakterium)



Tabellaria flocculosa (Kieselalge)



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Pigmente	5
2.1	Funktion.....	5
2.2	Methodik: Optimierung der Pigmentanalyse mittels HPLC	6
3	Untersuchungen im Zürich-, Züricher- und Walensee	10
3.1	Charakterisierung der drei Untersuchungsstellen	10
3.2	Primärproduktion in den drei Seen.....	11
3.3	Korrelation zwischen Chlorophyll a-Gehalt, totalem Carotinoid-Gehalt, Gesamt-Biomasse und Primärproduktionsraten (Messkampagne 1995).....	16
3.4	Regulation der Carotinoidsynthese unter verschiedenen Lichtverhältnissen.....	19
3.4.1	Fucoxanthingehalt und Biomasse der Chrysophyten.....	19
3.4.2	Gehalt an Myxoxanthophyll und Oscillaxanthin und Biomasse der Cyanobakterien	19
4	IAWR-Messkampagne im Rhein und in den grösseren Seen seines Einzugsgebietes	24
4.1	Probenahmestellen	24
4.2	Der Pigmentgehalt in Rhein- und Seeproben.....	24
4.3	Spezifische Carotinoide in verschiedenen Seen	26
5	Diskussion.....	33
5.1	Pigmentanalyse und Phytoplanktonbestimmung	33
5.2	Chlorophyll und Carotinoide	34
5.3	Physiologie (intrazelluläre Carotinoide als Indikator für intakte Phytoplanktonzellen).....	35
5.4	Ausblick	35
6	Literatur.....	36
7	Anhang: Resultate der IAWR-Messkampagne	38

Zusammenfassung

Mit einer neuentwickelten HPLC-Methode werden seit 1995 Phytoplanktonpigmente in drei Schweizer Voralpenseen (Zürich-, Züricher- und Walensee) untersucht. Diese Messungen ergänzen und vertiefen die seit über 30 Jahren durchgeführten klassischen Untersuchungen zur Verfolgung der Trophieverbesserungen dieser Seen und liefern Erklärungen, warum die Algenbiomasse nicht linear mit dem Phosphat-Gehalt zurückging. Es bestehen interessante Zusammenhänge zwischen Pigmenten, Algenbiomasse und Licht: die Carotinoid-Synthese ist lichtabhängig, die Algen bilden bei niedrigen Lichtintensitäten mehr Carotinoide pro Biomasse, um so noch Photosynthese leisten zu können. Das Maximum von Fucoxanthin pro Chrysophytenbiomasse liegt im mesotrophen Zürichsee bei ca. 10 m, im oligotrophen Walensee bei ca. 20 m. Die Lichtsammelfunktion der Carotinoide wird bestätigt: so kann z.B. das Cyanobakterium *Planktothrix rubescens* in Tiefen überleben, wo praktisch nur noch Grünlicht vorhanden ist, weil seine spezifischen Carotinoide vor allem im Grünbereich absorbieren. Die für die einzelnen Algengruppen spezifischen Carotinoide beschreiben die Biomasse besser als Chlorophyll a. Ausserdem lassen sie auch eine Aufteilung der Algenbiomassen auf die verschiedenen Algengruppen zu.

Mit diesen Kenntnissen wurden über ein Jahr Pigmentuntersuchungen an ca. 20 Stellen im Rhein und in Seen seines Einzugsgebietes durchgeführt. Mit den Carotinoiden als Parameter wird der Trophiezustand der Seen (Zürichsee, Obersee, Walensee, Bodensee und IJsselmeer) verglichen und der Zustand des Rheins entlang seines Laufes beschrieben. Zur Überprüfung des Gewässerzustandes empfiehlt sich die Durchführung einer ähnlichen Kampagne alle 5 bis 10 Jahre.

Eine für Wasserversorgungen interessante Anwendung ist die Verwendung des intrazellulären Pigment-Gehaltes als Indikator für intakte Phytoplanktonzellen. Er erlaubt so eine Aussage über die Schädigung von Algenzellen bei der Wasseraufbereitung und das Auftreten allfälliger Abbauprodukte von spezifischen Algengruppen.

Summary

A newly developed HPLC-method has been used to analyze phytoplankton pigments in three prealpine lakes (Zürich-, Züricher- and Walensee) in Switzerland. These analyses, performed since 1995, complement and extend the classical measurements that have been used to monitor the trophic state for more than 30 years. They also give clues why algal biomass is not decreasing linearly with the phosphate level. Interesting correlations have been found that link pigment content, algal biomass and light conditions. Carotenoid content is dependent on light intensity, algal cells contain more carotenoids at low intensities to improve their photosynthesis rates. The maximum content of fucoxanthin in Chrysophyta cells in the mesotrophic Zürichsee is found at a depth of 10 meters, whereas in the oligotrophic Walensee, cells with the highest fucoxanthin content are found in a depth of 20 meters. The study also underscores the light-harvesting function of carotenoids: *Planktothrix rubescens* e.g., a Cyanobacteria species, is able to survive at a depth where only light in the green range of the spectrum is present; this ability is due to the specific pigments of these cells since they absorb light almost exclusively in the green range. Furthermore, measurements of carotenoids that are characteristic for the different algae groups are a better parameter for biomass determination than the measurements of chlorophyll a. In particular, these carotenoids also allow to assign algae biomass to specific algae groups.

The knowledge gained from these studies was used to determine the pigment content of samples obtained from 20 different locations of the river Rhein and lakes from its catchment area. Taking carotenoids as parameter, the trophic state of Zürichsee, Zürich-Obersee, Walensee, Bodensee and IJsselmeer and different sections of the Rhine is described and compared. To monitor the trophic state a similar campaign every 5 to 10 years would be useful.

Finally, the content of intracellular pigments can be used as an indicator for the intactness of algae cells. In water treatment plants, pigment measurements therefore allow to determine the disruption grade of algae cells during the treatment process and to estimate the release of degradation products.

1 Einleitung

Seeunter- suchungen

Im Rahmen der Qualitätssicherung und Überwachung des Rohwassers untersucht die Wasserversorgung Zürich seit 1972 den Zürich-, Zürich-Ober- und Walensee. Bei diesen Seeuntersuchungen werden neben chemischen und physikalischen Parametern auch Zusammensetzung, Biomasse und Photosyntheseraten der Algenpopulation bestimmt [Jahresberichte der Wasserversorgung Zürich, ab 1976].

Auswirkungen des Gewässer- schutzes

Damit wurden die Erfolge der integralen Gewässerschutzmassnahmen im Einzugsgebiet dieser Seen verfolgt, die seit den siebziger Jahren zu einem starken Rückgang des Phosphorgehalts der Gewässer führten. Als Folge der Abnahme dieses wachstumsbegrenzenden Nährstoffes fand schon bald eine markante Veränderung der Artenzusammensetzung des Planktons statt. Eine wirkliche Abnahme der Phytoplanktonbiomasse konnte jedoch erst beobachtet werden, als die Vollzirkulationswerte des Phosphates unter etwa $5 \mu\text{g/L PO}_4\text{-P}$ sanken [Gammeter *et al.* 1996, 1997, 2002]. Für die Vertiefung des Verständnisses der komplexen Vorgänge in den Seen sowie für den Vergleich zwischen Seen bot sich die quantitative Erfassung der hauptsächlichlichen Pigmente (Chlorophylle und Carotinoide) des Phytoplanktons an.

Chlorophylle und Carotinoide werden zwar seit längerem in höheren Pflanzen intensiv untersucht, es gibt jedoch relativ wenige Studien über Algenpigmente in Seen.

Vorkommen von Pigmenten

Chlorophyll a kommt in allen Algen vor. Zusätzlich synthetisieren die einzelnen Algengruppen spezifische Carotinoide, die in anderen Gruppen nicht vorkommen [Rowan 1989, Cao *et al.* 1993, Züllig 1985]. Diese spezifischen Carotinoide dienen als Indikator-Carotinoide für die jeweiligen Algengruppen. Tab.1 zeigt die Zuordnung aller Pigmente, die im See gefunden wurden, zu ihren Gruppen. So wurden zum Beispiel Hinweise über die Zusammensetzung des Phytoplanktons vergangener Jahrzehnte gewonnen, indem die Carotinoide in See-Sedimenten mittels Dünnschichtchromatographie bestimmt wurden [Züllig 1985, 1989].

Der Gehalt an Chlorophyll a wird in vielen Labors mit dem Ziel bestimmt, einen Ersatz für die aufwendige mikroskopische Bestimmung des Phytoplanktons und dessen Biomasse nach der *Utermöhl*-Methode [Utermöhl 1958] zu erhalten. Aus Laborversuchen mit Algenkulturen weiss man jedoch, dass die Pigment-Synthese vom Licht und vom Nährstoffangebot abhängig ist [Krinsky 1971].

Zusammenhang von Pigmenten, Phytoplankton und Umweltfaktoren

Die vorliegende Studie befasst sich hauptsächlich mit den Phytoplanktonpigmenten aus Zürich-, Züricher- und Walensee. Dabei wurde vor allem der Pigmentgehalt unter verschiedenen Umweltbedingungen untersucht. So wurden insbesondere Zusammenhänge zwischen Licht, Primärproduktionsraten und Pigmenten in Seen verschiedenen Trophiegrades und verschiedener Planktonzusammensetzung analysiert; derartige Zusammenhänge wurden schon in Untersuchungen im Lago Maggiore [Lami *et al.* 1992] ansatzweise beschrieben. In einem ca. einjährigen Versuch wurden zusätzlich die Pigmente aus Bodensee, Bielersee, dem Rhein und dem IJsselmeer identifiziert und quantifiziert.

Algen	Indikator-Carotinoid	zusätzliche Carotinoide	Chlorophyll a	Zusätzliche Chlorophylle
Cyanobacteria	Myxoxanthophyll, Oscillaxanthin, Aphanizophyll	Zeaxanthin, β -Carotin, Canthaxanthin, Echinenon	Chlorophyll a	
Chlorophyta	Lutein, Violaxanthin, Neoxanthin	Violaxanthin, Neoxanthin, Zeaxanthin, α -Carotin, β -Carotin	Chlorophyll a	Chlorophyll b
Chrysophyta	Fucoxanthin, cis-Fucoxanthin	Diadinoxanthin, Diatoxanthin, α -Carotin	Chlorophyll a	Chlorophyll c1 Chlorophyll c2 Chlorophyll c3
Cryptophyta	Alloxanthin	α -Carotin	Chlorophyll a	Chlorophyll c2
Pyrrophyta	Peridinin	Diadinoxanthin, Diatoxanthin, α -Carotin, Echinenon	Chlorophyll a	Chlorophyll b Chlorophyll c1

Tab.1 Algengruppen und ihre Pigmente

2 Pigmente

2.1 Funktion

Carotinoide und Chlorophylle sind Pigmente mit verschiedenen Funktionen in Pro¹- und Eukaryonten. So dienen Carotinoide als Vorläufersubstanzen von Vitamin A (= Provitamin A) bei Tieren und als Antioxidantien in pflanzlichen und tierischen Organismen. Zusammen mit Chlorophyllen haben Carotinoide eine wichtige Funktion in der Photosynthese, sowohl in höheren Pflanzen als auch in Algen und phototrophen Bakterien. Alle drei Organismengruppen können die Strahlungsenergie des sichtbaren Lichtes nutzen, um mittels Photosynthese aus den einfachen anorganischen Verbindungen CO₂ und H₂O energetisch hochwertige, organische Kohlenhydrate (Glucose) zu synthetisieren. In diesem Prozess sind Chlorophylle und Carotinoide direkt für die Aufnahme der Lichtenergie verantwortlich. Chlorophyll a ist essentiell für die Photosynthese und befindet sich direkt am Photosynthese-Reaktionszentrum.

Photosynthese

Chlorophylle (Chlorophyll a, b, und c) und die mehreren hundert bekannten Carotinoide absorbieren Licht im sichtbaren Bereich (Abb.1). Die Absorptionsspektren der verschiedenen Pigmente sind jedoch sehr unterschiedlich. So absorbiert Chlorophyll a das Licht nur in zwei relativ engen Spektralbereichen mit Absorptionsmaxima bei 430 nm (blau) und 660 nm (rot). Carotinoide hingegen besitzen breitere Absorptionsspektren in anderen Wellenlängenbereichen; Fucoxanthin zum Beispiel absorbiert hauptsächlich im Blau-, Oscillaxanthin vorwiegend im Grünbereich. Die von den Carotinoiden gesammelte Lichtenergie muss anschliessend auf das Chlorophyll a übertragen werden, damit sie genutzt werden kann, deshalb werden sie auch Lichtsammelpigmente genannt. Die unterschiedlichen Absorptionsspektren der verschiedenen Carotinoide hängen von deren chemischer Struktur ab. Anhand der unterschiedlichen funktionellen Gruppen lassen sich die Carotinoide in Carotine und Xanthophylle unterteilen: Carotine sind ausschließlich Kohlenwasserstoffverbindungen, während Xanthophylle zusätzlich Sauerstoffatome enthalten (Abb.2).

Lichtabsorption

¹ Der Einfachheit halber werden in allen folgenden Ausführungen die planktischen Cyanobakterien als ein Teil des Phytoplanktons beschrieben.

Schutzfunktion Zusätzlich zur Lichtsammelfunktion besitzen Carotinoide noch eine wichtige Schutzfunktion, indem sie das Chlorophyll a vor photooxidativer Zerstörung bei zu hohen Lichtintensitäten bewahren [Krinsky 1971].

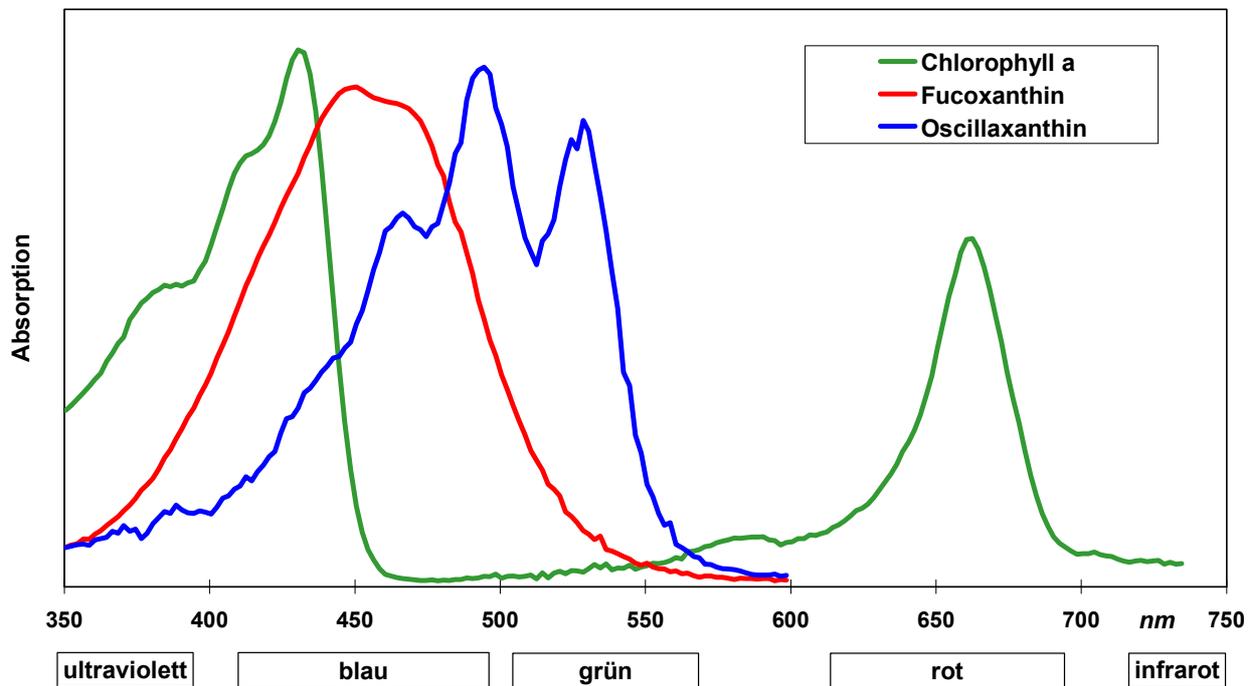


Abb.1 Absorptionsspektren einiger Pigmente (die Höhe der Absorption ist nicht massstäblich)

2.2 Methodik: Optimierung der Pigmentanalyse mittels HPLC

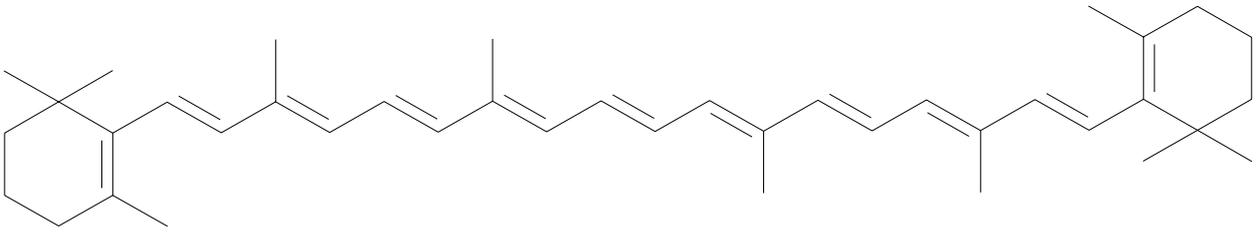
HPLC Chlorophylle und Carotinoide können mit verschiedenen chromatographischen Methoden analysiert werden. Meistens ist jedoch die Trennung von Carotinoiden mit ähnlicher chemischer Struktur schwierig, wie beispielsweise bei Lutein und Zeaxanthin. Es wurde deshalb bei der Wasserversorgung Zürich eine Methode entwickelt, die es erlaubt, mittels HPLC in einem Durchgang neben Chlorophyll a auch Chlorophyll b und c sowie 13 verschiedene Carotinoide zu bestimmen. Abb.3 zeigt ein mit dieser Methode erhaltenes Chromatogramm einer Probe aus dem Zürichsee.

Probenaufbereitung Um die intrazellulären Algenpigmente zu messen, werden 3 Liter Wasser mittels Glasfaserfilter Whatman GF/F filtriert und sofort bei -20°C aufbewahrt. Die Filter werden in ca. 10 mL (= Vol₀) 90% Aceton homogenisiert, nochmals filtriert und unter Stickstoffatmosphäre auf ungefähr das halbe Volumen (= ½ Vol₀) eingengt. Die Pigmente werden anschliessend mit einem quaternären HPLC bei einer Fluxrate von 1 mL/min getrennt (Gradienten siehe Tab.2). Die Bestimmung der einzelnen Pigmente erfolgt durch die Analyse ihrer Spektren zwischen 200 und 600 nm.

Extinktionskoeffizienten Soweit wie möglich wurden die Extinktionskoeffizienten der Pigmente durch die Analyse von Reinsubstanzen bestimmt. Bei Carotinoiden, von denen keine Standards beschafft werden konnten, wurde der Extinktionskoeffizient des "chemisch nächstverwandten" Carotinoides benutzt, d.h. des Carotinoides mit möglichst ähnlichen chemischen Eigenschaften [Cao *et al.* 1993].

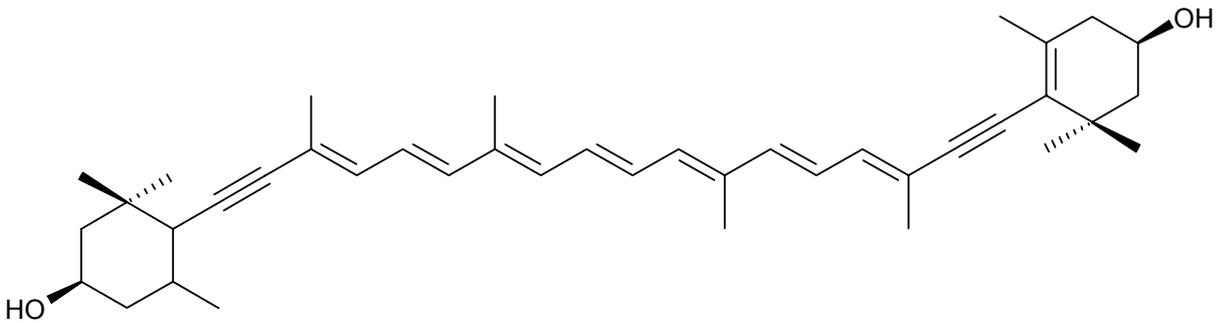
Carotinoide

Beispiel für Carotin

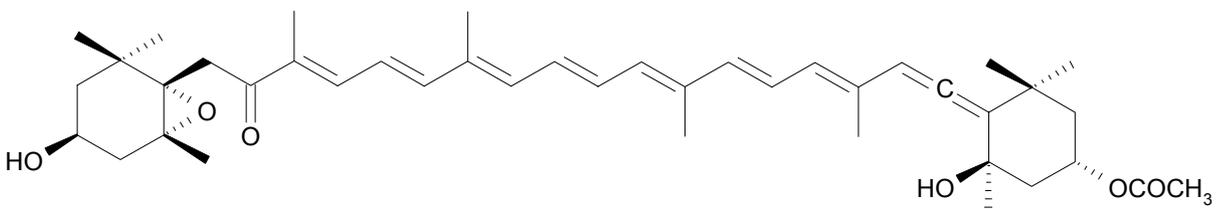


β -Carotin

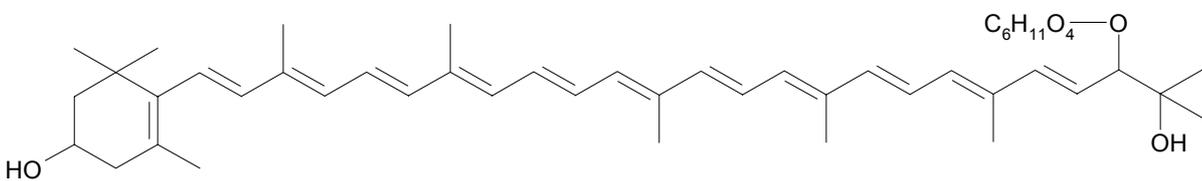
Xanthophylle



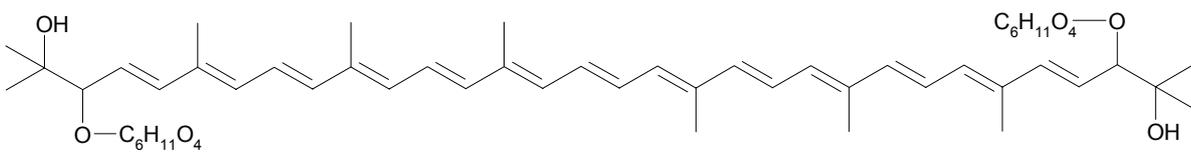
Alloxanthin



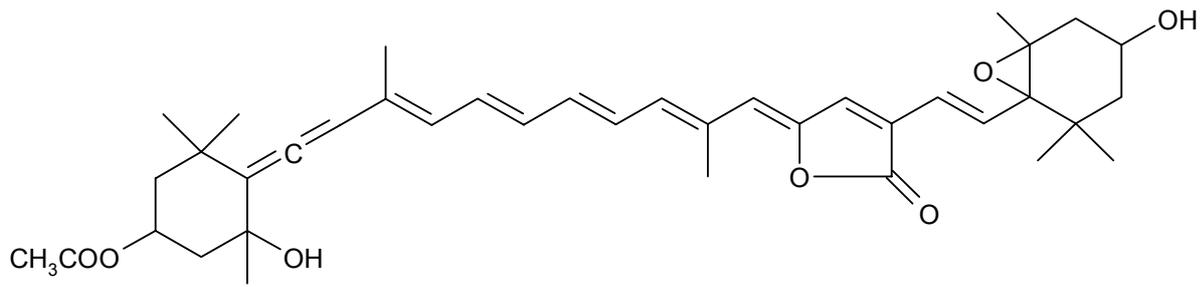
Fucoxanthin



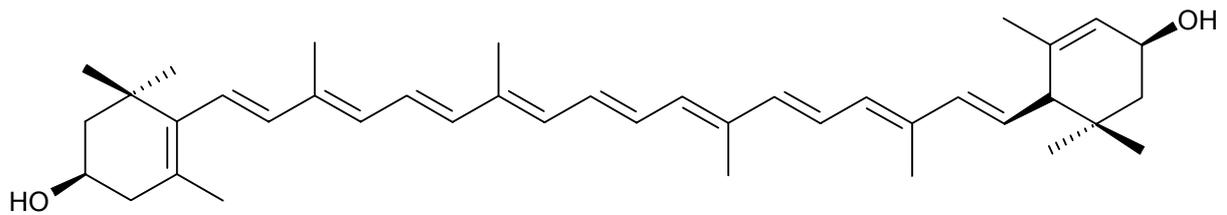
Myxoxanthophyll



Oscillaxanthin

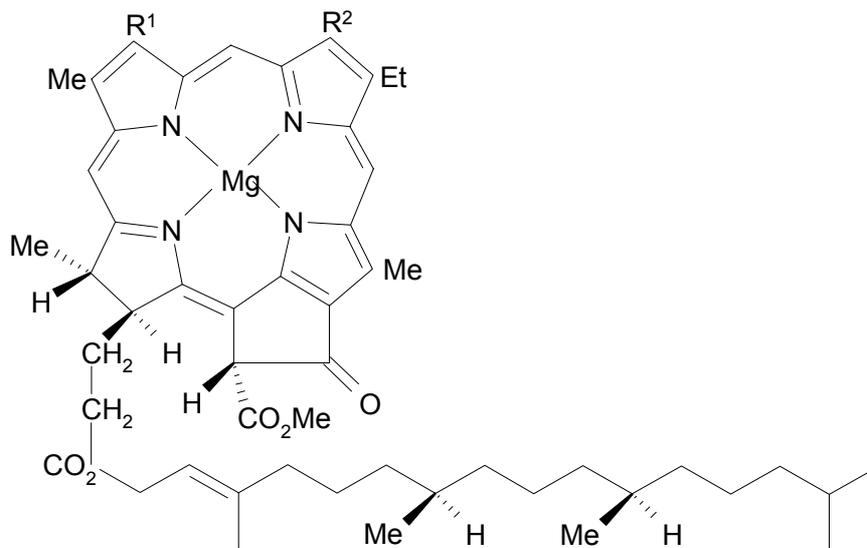


Peridinin



Lutein

Chlorophyll



Grundstruktur

Chlorophyll a: R^1 : $\text{CH}=\text{CH}_2$ R^2 : Me
 Chlorophyll b: R^1 : CH_2Me R^2 : CHO

Me = Methyl
 Et = Ethyl

Abb.2 Strukturformeln ausgewählter Pigmente

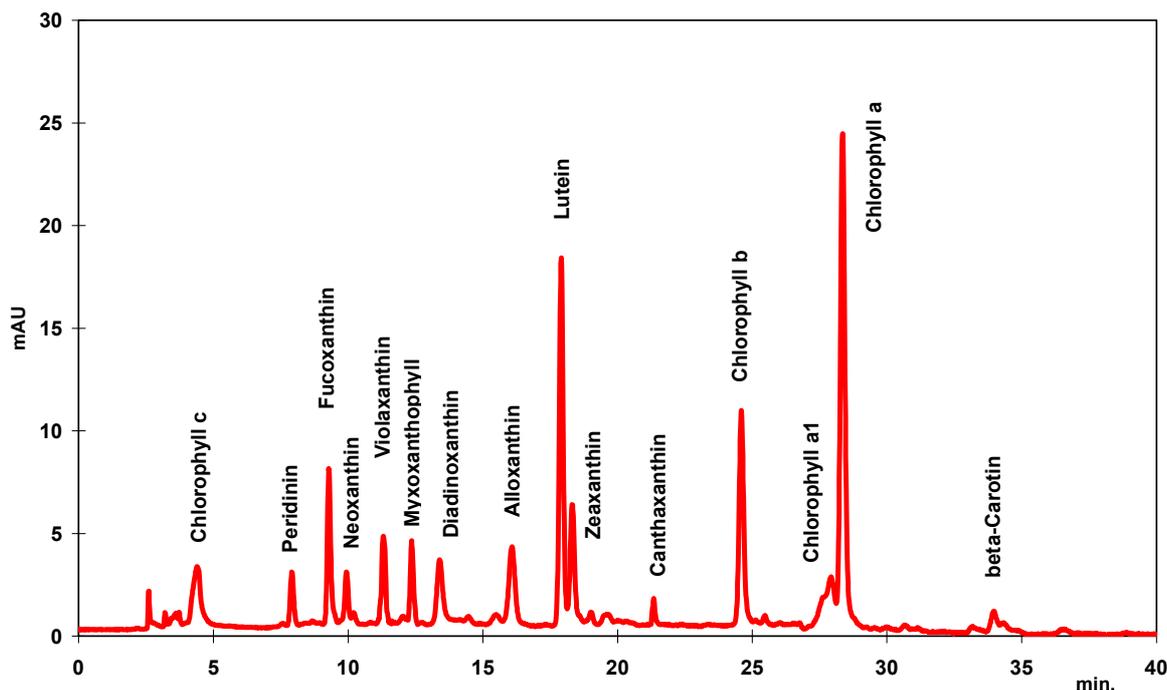


Abb.3 HPLC-Chromatogramm von Phytoplanktonpigmenten (Zürichsee, 05.08.95)

Die Primärproduktion der Algen wurde nach dem Verfahren von Steemann-Nielsen gemessen [Steemann-Nielsen 1952], seit 1985 nach einem modifizierten Verfahren mit Ansäuern und Ausblasen [Gächter *et al.* 1984]. Dabei werden die Wasserproben in Flaschen mit 0.1 mL NaH¹⁴CO₃ versetzt und für 4 Stunden in den entsprechenden Tiefen exponiert. Nach Ausblasen der freien Kohlensäure wird der in dieser Zeit aufgenommene markierte Kohlenstoff mittels eines Scintillationszählers bestimmt. Aus dem Verhältnis vom gesamt vorhandenen CO₂ zum markierten C ergibt sich die Produktionsleistung in mg C * m⁻³ * h⁻¹.

Primärproduktion
und Biomasse

Für die Berechnung der Algenbiomasse wurden die aus der Zählung erhaltenen Werte der einzelnen Algenarten mit deren spezifischem Biovolumen multipliziert.

HPLC-Gerät	Agilent HPLC-1050
Stationäre Phase	Nucleosil 100 C18, 250 mm, 4.6 mm, 5 µm
Mobile Phase	Gradient aus Wasser, Methanol, Acetonitril und Ethylacetat
Detektor	Agilent DAD (440, 450, 475, 538 nm)
Injektions-Volumen	100 – 500 µL

Zeittabelle (%):									
min.	Wasser	Ethylacetat	Acetonitril	Methanol	min.	Wasser	Ethylacetat	Acetonitril	Methanol
0	10	0	2.0	88.0	18	0	0	90.0	10.0
3	10	0	3.6	86.4	20	0	11	82.0	7.0
4	5	0	3.8	91.2	25	0	13	72.0	15.0
11	5	0	3.8	91.2	28	0	17	45.0	38.0
13	5	0	30.4	64.6	36	0	15	22.5	62.5
14	0	0	80.0	20.0	38	0	10	22.5	67.5
17	0	0	85.0	15.0	40	5	5	22.5	67.5
					46	10	2	2.0	88.0

Tab.2 HPLC: technische Daten und Zeittabelle

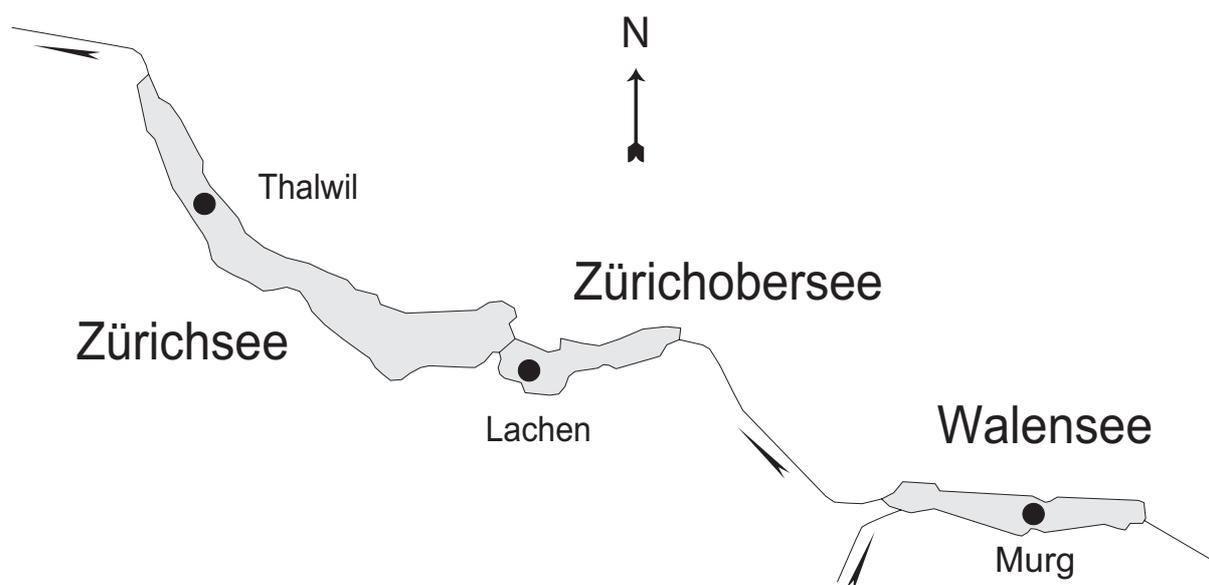


Abb.4 Geographische Lage der drei untersuchten Schweizer Seen

3 Untersuchungen im Zürich-, Zürichober- und Walensee

3.1 Charakterisierung der drei Untersuchungsstellen

Probenahmen, Säulenwerte

Für die Untersuchung dieser Zusammenhänge wurden Daten aus Walensee, Zürichobersee und Zürichsee verwendet. Die drei Seen liegen am Rand des Übergangs vom hügeligen Schweizerischen Mittelland zu den Voralpen und Alpen (Abb.4). Die Probenahmen erfolgten monatlich an den jeweilig tiefsten Stellen des Zürich- (Thalwil) und Walensees (Murg) und des westlichen Teils des Obersees (Lachen) in den Tiefen 0, 1, 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5, 15 und 20 m. Für die mittleren Werte pro Flächeneinheit wurden gewichtete Säulenwerte gerechnet, indem jede Tiefe mit ihrem Anteil an der Gesamtsäule multipliziert und die Summe anschließend durch die Gesamtlänge dividiert wurde. In Tab.3 sind einige limnologische Kennzahlen der untersuchten Seen aufgeführt.

Walensee

Der Walensee liegt auf einer topographischen Höhe von 419 m und ist sowohl im Norden wie im Süden von 2000 bis 2300 m hohen Bergketten umgeben. Er gehört zu den vielen nördlich gelegenen Alpenrandseen. Seine Längsachse verläuft fast genau in Ost-West-Richtung, wodurch der See den vorherrschenden Westwinden, aber auch dem besonders im Herbst und Frühjahr auftretenden Fallwind, dem Föhn, ausgesetzt ist. Diese Winde werden durch die umgebenden Berge kanalisiert und verstärkt und sind eine der Voraussetzungen zur jährlichen Vollzirkulation.

Zürichobersee

Der Zürichobersee ist gegen Westen offen und daher den aus dieser Richtung kommenden Winden ausgesetzt. Die Stärke dieser Winde ist normalerweise jedoch klein. Die theoretische Aufenthaltsdauer des Wassers in diesem See ist mit 59 Tagen vergleichsweise gering (Tab.3). Je nach Zuflussvolumen und Schichtungsverhältnissen schwankt die Erneuerungszeit zwischen 23 Tagen (Juni) und über 100 Tagen (Dezember). Aufgrund seiner geringen Tiefe zirkuliert der Obersee, und windgeschützte Buchten können dann zufrieren. Ab April bildet sich jeweils eine Temperaturschichtung aus, zwar ohne eigentliche Sprungschicht wie im unteren Zürichsee, aber stabil genug, um eine Unterscheidung von Oberflächen- und Tiefenwasser zu erlauben [Gammeter *et al.* 2002].

Der Zürichsee ist zwischen zwei Hügelketten eingebettet. Die Höhe der westlichen Erhebungen liegt in der unteren Hälfte des Sees um 800 Meter über Meer, was zur Folge hat, dass die vorherrschenden, aus Westen einfallenden Winde nur noch abgeschwächt auf den See einwirken können. Folge davon ist eine ausgesprochene Schichtung des Sees im Sommer mit den typisch niedrigen Sauerstoffverhältnissen im unteren Hypolimnion. In warmen Wintern kommt es zu keiner vollständigen Durchmischung des Sees.

	Zürichsee	Zürichobersee	Walensee	Bodensee- Obersee
Seeoberfläche A_0 (km ²)	65.06	20.25	24.23	476
Seevolumen (km ³)	3.30	0.47	2.42	47.6
Grösste Tiefe (m)	136	48	145	252
Mittlere Tiefe (Volumen / A_0 ; m)	51	23	100	100
Mittlerer Abfluss (m ³ / sec)	89.2	76.1	56.7	350
Theoretische Aufenthaltsdauer (d)	511	59	510	1450
Einzugsgebiet (km ²)	1'740	1'564	1'061	10'900
Umgebungsfaktor (Einzugsgebiet / A_0)	27	77	44	23
Höhe (m.ü.M.)	406	406	419	396

Tab.3 Limnologische Kennzahlen der untersuchten Alpenrand-Seen

3.2 Primärproduktion in den drei Seen

Durch die in der Einleitung erwähnten Gewässerschutzmassnahmen ging im Laufe der letzten 30 Jahre bei allen untersuchten Seen der Phosphatgehalt deutlich zurück: so sanken die Jahresmittelwerte (0 – Grund) im Walensee von 23 auf 2 µg/L PO₄-P, im Obersee von 32 auf 4 µg/L und im Zürichsee von 136 auf 28 µg/L (Abb.5). Der Bau der Kläranlagen begann zuerst im Einzugsgebiet des Zürichsees, so dass hier der Rückgang des Phosphatgehaltes früher erfolgte. Nach dem Bau einer Anlage für den grössten Teil des Einzugsgebietes des Walensees Ende der achtziger Jahre mit Einleitung der gereinigten Abwässer in den Ausfluss des Sees ging hier der Phosphatgehalt gegen die Bestimmungsgrenze zurück.

Trophieverbes-
serung

Die Primärproduktion (hier dargestellt als Jahressumme der Primärproduktion) reagierte allerdings stark verzögert auf die Verminderung des Phosphatgehaltes (Abb.6). Im Zürichsee ist ein markanter Rückgang der Primärproduktion bis heute ausgeblieben (von ca. 350 g C/m²-Jahr auf ca. 250 g), obwohl sich der Phosphat-Gehalt im Epilimnion von rund 90 µg/L auf unter 10 µg/L verringert hat. Im Walensee konnte ein Rückgang der Biomasse und der Primärproduktion erst festgestellt werden, nachdem der PO₄-P-Gehalt unter 5 µg/L abgesunken war.

Rückgang der
Primärproduktion

Die Abb.7 und Abb.8 zeigen die Jahresmittelwerte der Gesamtbiomasse und der Primärproduktionsraten der drei Seen in Abhängigkeit von der Tiefe im Zeitraum 1995 - 2001. Es fällt auf, dass die Primärproduktionsraten der drei Seen in gleichen Tiefen verschieden sind (Abb.8). In den tieferen Schichten des Walensees sind deutlich höhere Primärproduktionsraten festzustellen. Vergleicht man das Verhältnis Primärproduktionsraten zur Biomasse in verschiedenen Tiefen, so wird dieser Unterschied noch deutlicher sichtbar (Abb.9). Diese Werte nehmen im Walensee mit zunehmender Tiefe wesentlich langsamer ab als im Ober- und Zürichsee. So liegt der 0.5-Wert im Walensee unter 20 Meter, im Ober- und Zürichsee in etwa 11 – 12 Meter Tiefe. Das gewichtete Mittel dieses Verhältniswertes über die gesamte Wassersäule beträgt für den Walensee 2.12, für den

Verschiedene
Primärproduk-
tionsraten

Obersee 1.47 und für den Zürichsee 1.38, das heisst die Produktionsleistung der Algen im Walensee ist mehr als 1½ so hoch wie im Zürichsee.

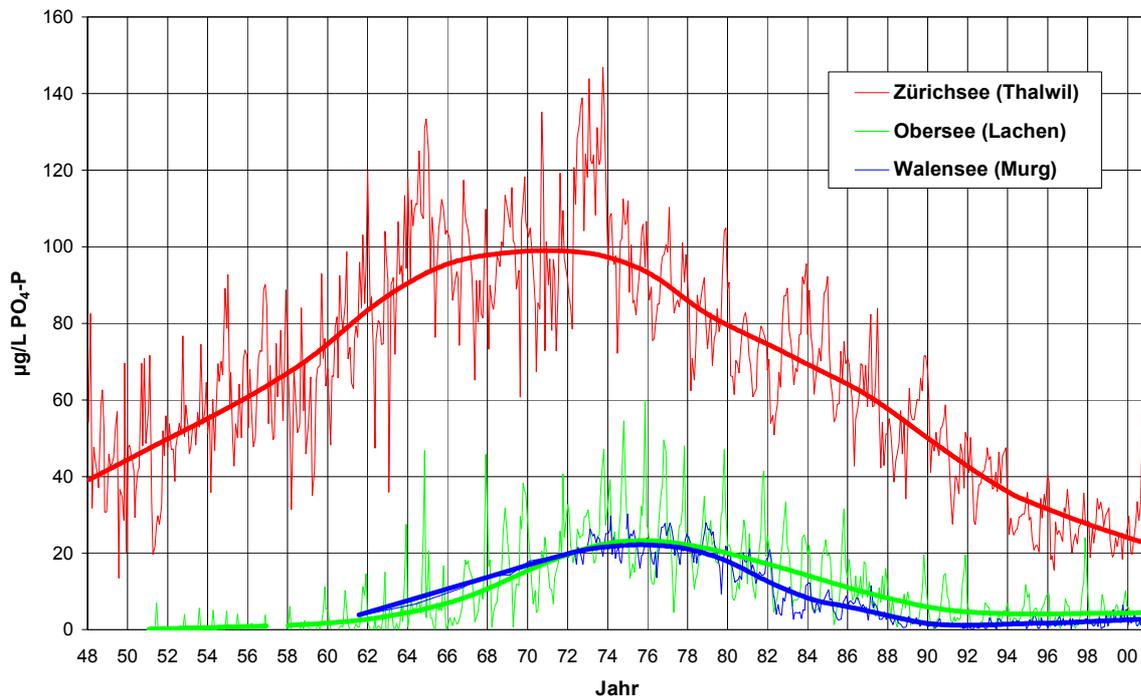


Abb.5 Verlauf des Phosphorgehaltes im Zürich-, Züricher- und Walensee

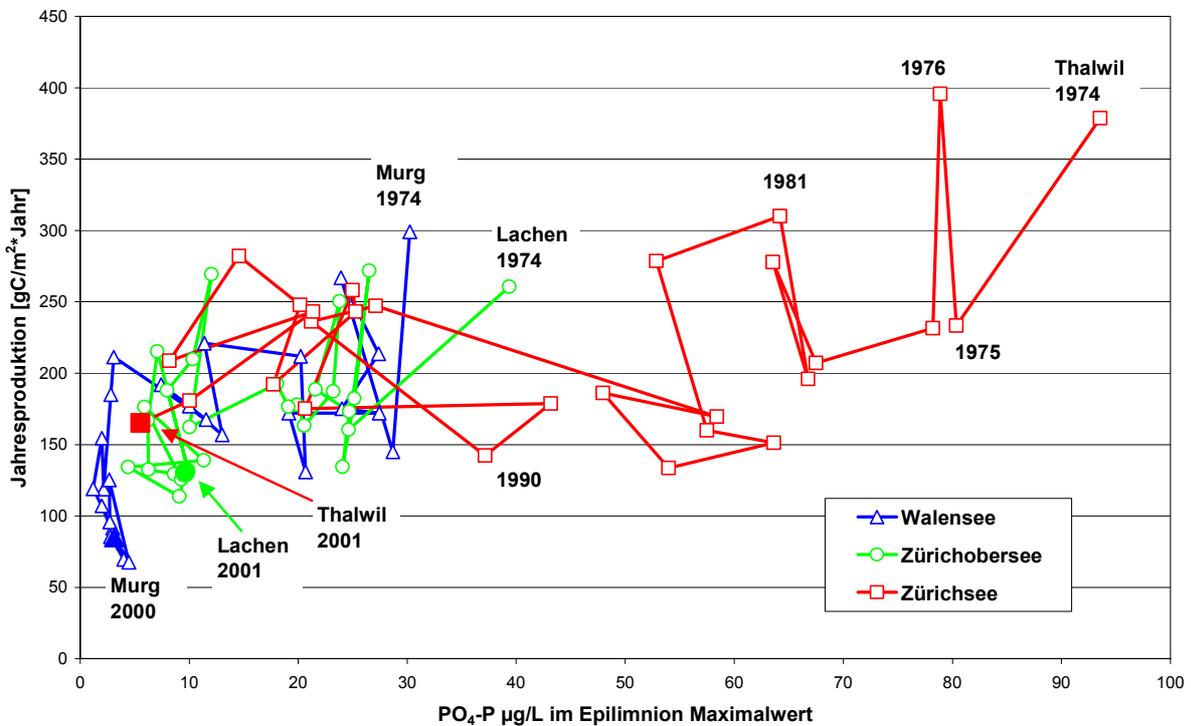


Abb.6 Zusammenhang zwischen Phosphatgehalt und Jahresproduktion (1974 – 2001)

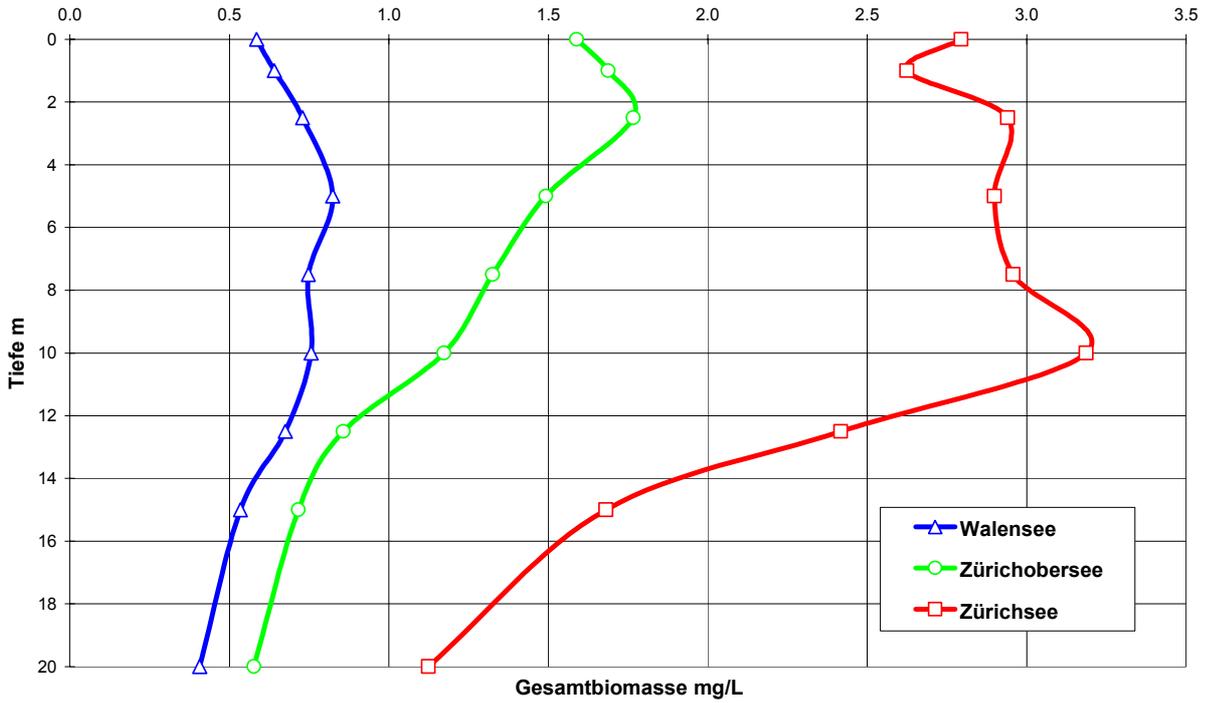


Abb.7 Mittlere Biomasse im Zürich-, Zürichober- und Walensee (1995 – 2001)

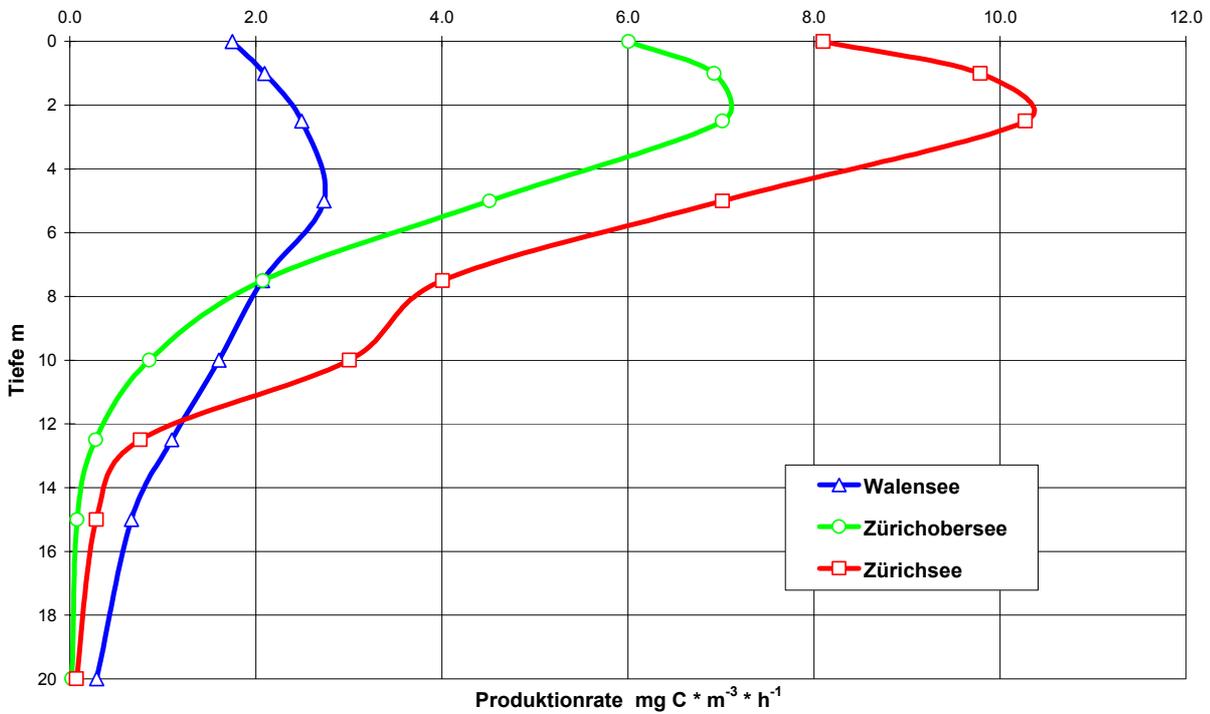


Abb.8 Mittlere Primärproduktionsrate im Zürich-, Zürichober- und Walensee (1995 – 2001)

Eigenbeschattung

Grund hierfür ist die unterschiedliche Eigenbeschattung durch das Phytoplankton (d.h. die Algen in den oberen Schichten "zehren" die Lichtenergie, so dass in den tieferen Schichten weniger davon zur Verfügung steht), die auch in den unterschiedlich tiefen Grenzen der Primärproduktionsraten zum Ausdruck kommt. Diese Grenze ist im allgemeinen dann erreicht, wenn die Lichtenergie auf 1% derjenigen an der Oberfläche abgefallen ist. Im Walensee liegt sie bei etwa 20 m, in den beiden anderen Seen bei etwa 10 m Tiefe (Abb.10). Im Walensee ist somit auch in grösseren Tiefen immer noch genügend Licht für die Aufrechterhaltung der Primärproduktion vorhanden.

Lichthemmung

Starke Lichtintensitäten verursachen bei den Algen Lichthemmungsreaktionen, die zu niedrigeren Primärproduktionsraten an der Oberfläche führen. Der Maximalwert der Primärproduktionsrate liegt im Walensee bei etwa 5 m, in den beiden anderen Seen bei etwa 2.5 m (Abb.8). Dies ist nicht nur die Folge der geringeren Eigenbeschattung, auch die geringere Bewölkung während der häufigen Föhnlagen führt hier zu höheren Lichtenergien in der photischen Zone (Abb.11).

Phytoplankton in den drei Seen

Im Züricher- und Walensee beherrschen die den Chrysophyten zugeordneten Bacillariophyceen (Kieselalgen) das Phytoplanktonbild. Im Zürichsee treten neben Kieselalgen vor allem Cyanobakterien der Art *Planktothrix rubescens* auf (Tab.4). Diese beschränken sich zu Zeiten der thermischen Schichtung im Sommer praktisch vollständig auf den Bereich der Sprungschicht, während sie vom Spätherbst bis Ende des Winters, also zu Zeiten der Zirkulation, den grössten Teil des nicht tierischen Planktons ausmachen [Thomas & Märki 1949]. *Planktothrix rubescens* ist ein phototroph lebendes, fädiges Bakterium, das sich optimal bei relativ schwachen Lichtintensitäten entwickelt. Die durch die Eigenbeschattung entstehenden schwachen Lichtintensitäten sind ihrerseits aber auch Ursache der kleineren Primärproduktionsraten im Zürichsee [Zimmermann 1969].

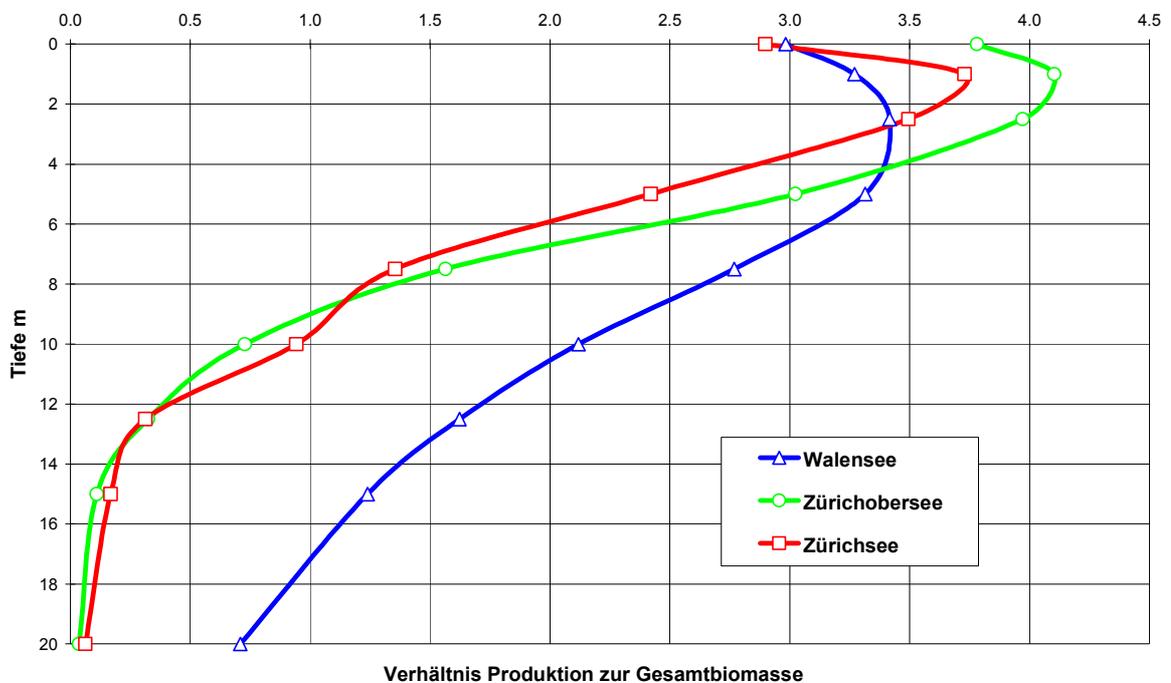


Abb.9 Verhältnis Primärproduktion zur Gesamtbioasse im Zürich-, Zürichober- und Walensee (1995 – 2001)

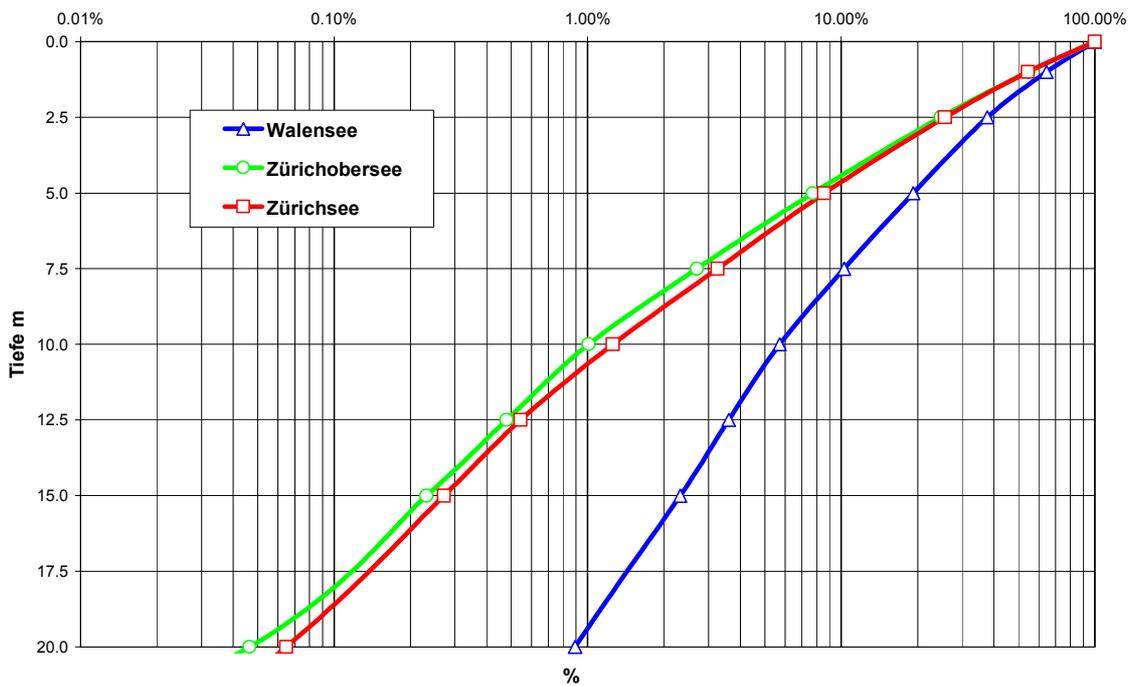


Abb.10 Mittlere Eindringtiefe des Lichtes (%) im Zürich-, Zürichober- und Walensee (1995 – 2001)

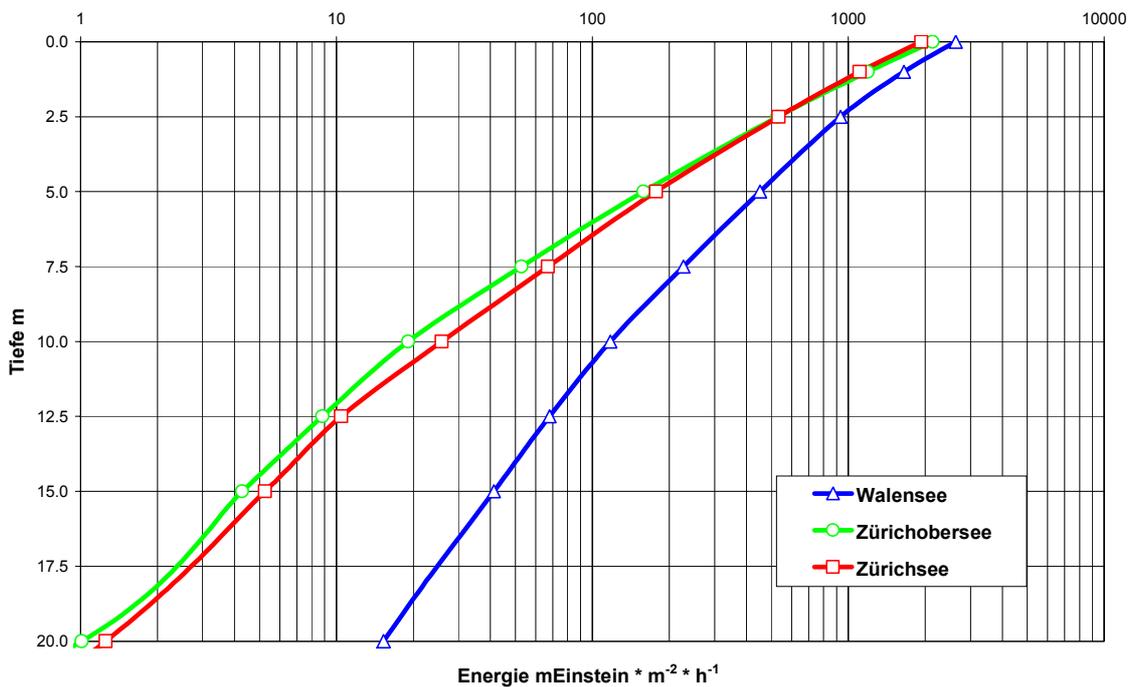


Abb.11 Mittlere Lichtenergie im Zürich-, Zürichober- und Walensee (1995 – 2001)

Dass Nährstoffe, wie z.B. Phosphor, bei gleicher Algenzusammensetzung einen Einfluss auf die Primärproduktionsraten haben, zeigt sich bei einem Vergleich zwischen Walen- und Obersee. In beiden Seen dominieren Chrysophyten, insbesondere Kieselalgen; aber der Maximalwert des Verhältnisses Primärproduktionsraten zu Biomasse ist im Obersee grösser als im Walensee (Abb.9). Es scheint, dass dabei Nährstoffe eine Rolle spielen: Obwohl der Phosphatgehalt im Obersee nur wenig grösser ist als im Walensee, tragen im Obersee seeinterne und -externe Nährstoffzufuhren dauernd Phosphor in die Produktionsschicht ein, der umgehend in die Phytoplanktonzellen eingebaut wird.

Nährstoffe

Prozentuale Anteile an der Gesamt-Biomasse

ganzes Jahr

	Cyanophyta	Chlorophyta	Chrysophyta	div.Flagellaten	Cryptophyta	Pyrrophyta
Thalwil						
0.0 m	40.2%	2.9%	33.0%	1.7%	14.6%	7.6%
1.0 m	37.6%	3.3%	33.9%	1.8%	15.3%	8.3%
2.5 m	37.8%	3.0%	34.1%	1.7%	15.4%	8.0%
5.0 m	36.1%	3.2%	37.4%	1.8%	14.7%	6.8%
7.5 m	44.1%	3.1%	33.0%	1.9%	12.2%	5.9%
10.0 m	58.4%	2.2%	25.8%	1.7%	7.8%	4.3%
12.5 m	59.6%	1.6%	24.7%	1.8%	8.0%	4.3%
15.0 m	57.5%	1.7%	25.7%	2.4%	8.3%	4.5%
20.0 m	50.6%	2.1%	31.6%	2.9%	8.1%	5.0%
Lachen						
0.0 m	0.6%	4.4%	63.8%	3.0%	21.5%	6.6%
1.0 m	0.5%	4.2%	63.6%	3.0%	22.1%	6.6%
2.5 m	0.4%	3.9%	67.3%	2.8%	19.6%	5.9%
5.0 m	0.7%	3.9%	69.0%	2.9%	19.0%	4.6%
7.5 m	1.0%	3.7%	69.7%	3.1%	18.0%	4.4%
10.0 m	0.8%	3.4%	70.9%	3.1%	17.5%	4.3%
12.5 m	0.7%	3.7%	65.5%	4.3%	20.8%	4.8%
15.0 m	0.7%	3.9%	64.9%	4.6%	21.9%	3.9%
20.0 m	0.5%	4.7%	66.3%	5.6%	17.8%	4.7%
Murg						
0.0 m	0.7%	4.1%	68.0%	5.1%	10.8%	10.9%
1.0 m	0.7%	4.2%	65.3%	4.7%	11.9%	12.8%
2.5 m	0.9%	3.8%	62.9%	4.1%	12.2%	15.6%
5.0 m	0.5%	3.7%	68.6%	3.4%	11.2%	11.9%
7.5 m	0.6%	3.5%	71.7%	3.2%	9.9%	10.9%
10.0 m	0.8%	2.9%	71.3%	2.8%	9.7%	10.9%
12.5 m	0.6%	3.3%	72.9%	3.3%	10.5%	8.4%
15.0 m	0.7%	3.1%	68.5%	4.0%	11.9%	11.2%
20.0 m	0.7%	3.9%	66.4%	4.3%	14.4%	9.5%

Tab.4 Prozentuale Anteile der Algengruppen an der Gesamtbiomasse (1995 – 2001)

3.3 Korrelation zwischen Chlorophyll a-Gehalt, totalem Carotinoid-Gehalt, Gesamt-Biomasse und Primärproduktionsraten (Messkampagne 1995)

Bei den Pigmentuntersuchungen benutzen wir die Carotinoide als Parameter zur Erklärung, wie weit deren Gehalt auf verschiedene Umweltbedingungen (Nährstoffe, Änderungen der Energie und der Wellenlänge des zur Photosynthese nutzbaren Lichtes) reagiert.

Photosynthetische Phänomene

Zuerst wurden die Korrelationen zwischen Chlorophyll a und Phytoplanktonbiomasse bzw. zwischen Gesamtcarotinoiden und Phytoplanktonbiomasse miteinander verglichen. Anschliessend folgte die Überprüfung, wieweit das Verhältnis von Primärproduktionsraten zu den Carotinoidgehalten zur Erklärung photosynthetischer Phänomene in Seen verwendet werden könnte. Zu diesem Zweck wurde während drei Monaten (Juli bis September 1995) drei Mal wöchentlich Proben aus 9 Tiefenstufen (0 – 20 m) dem Zürichsee entnommen. Für die Berechnungen wurden gewichtete Säulenmittel verwendet.

Algengruppen, Chlorophyll a, Carotinoide

In Abb.12 sind die Anteile der einzelnen Algengruppen an der Gesamtbiomasse dargestellt. Anfangs Juli bestand die Algenpopulation zu über 80 % aus Kiesel- und Goldalgen (Chrysophyta), von Anfang August bis Ende September wuchs der Anteil der Cyanobakte-

rien bis über 50%. Abb.13 zeigt die Werte von Chlorophyll a, der Summe der Carotinoide und der Algenbiomasse. Der Gehalt an Chlorophyll a erreichte anfangs Juli und Ende August zwei Mal ein Maximum mit je etwa 9 µg/L, wogegen die Biomasse beim ersten Maximum 4 mg/L, beim zweiten aber nur einen Wert um 2 mg/L erreichte. Dies bedeutet, dass Cyanobakterien bei gleichen Randbedingungen mehr als doppelt soviel Chlorophyll a synthetisieren wie Kieselalgen. Der Gesamtgehalt an Carotinoiden verläuft dagegen weitgehend proportional zur Biomasse. Daraus wird ersichtlich, dass die Carotinoide die Algenbiomasse besser beschreiben als Chlorophyll a.

Abb.14 zeigt den Verlauf der Primärproduktionsraten, des Gesamtgehaltes an Carotinoiden und die Lichtenergie während der drei Monate. Gut ersichtlich ist die Abhängigkeit der Primärproduktionsraten vom Licht, im allgemeinen aber auch die Proportionalität des Gesamtgehaltes an Carotinoiden zur Primärproduktion. Zumindest bei guten Lichtbedingungen verläuft die Carotinoidkurve ähnlich wie diejenige der Produktion. Bei schlechten Lichtbedingungen allerdings verläuft der Gehalt an Carotinoiden umgekehrt proportional zur Produktion. Dies lässt sich damit erklären, dass das Phytoplankton bei schwacher Lichteinstrahlung mehr Carotinoide synthetisiert, um die Photosyntheseraten zu erhöhen. Dieses Phänomen wurde schon früher bei reinen Algenkulturen gefunden [Kohata & Wantanabe 1988].

Primärproduktionsraten

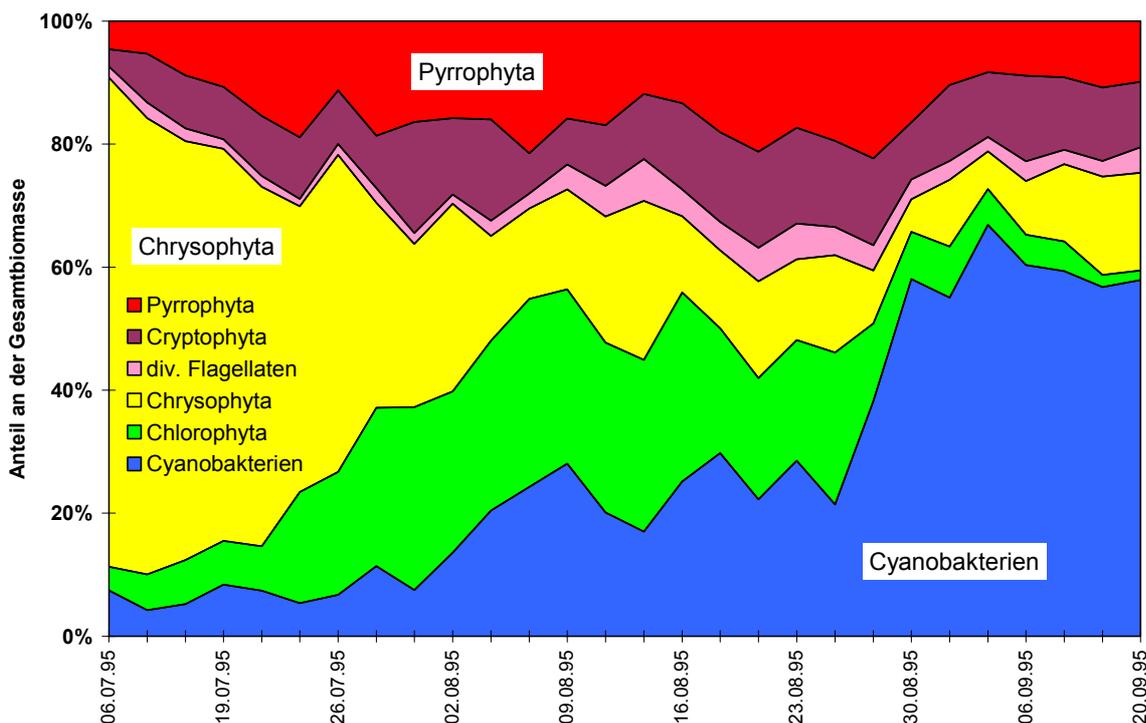


Abb.12 Zürichsee, Messkampagne 1995: Prozentuale Anteile der Algengruppen an der Gesamtbiomasse

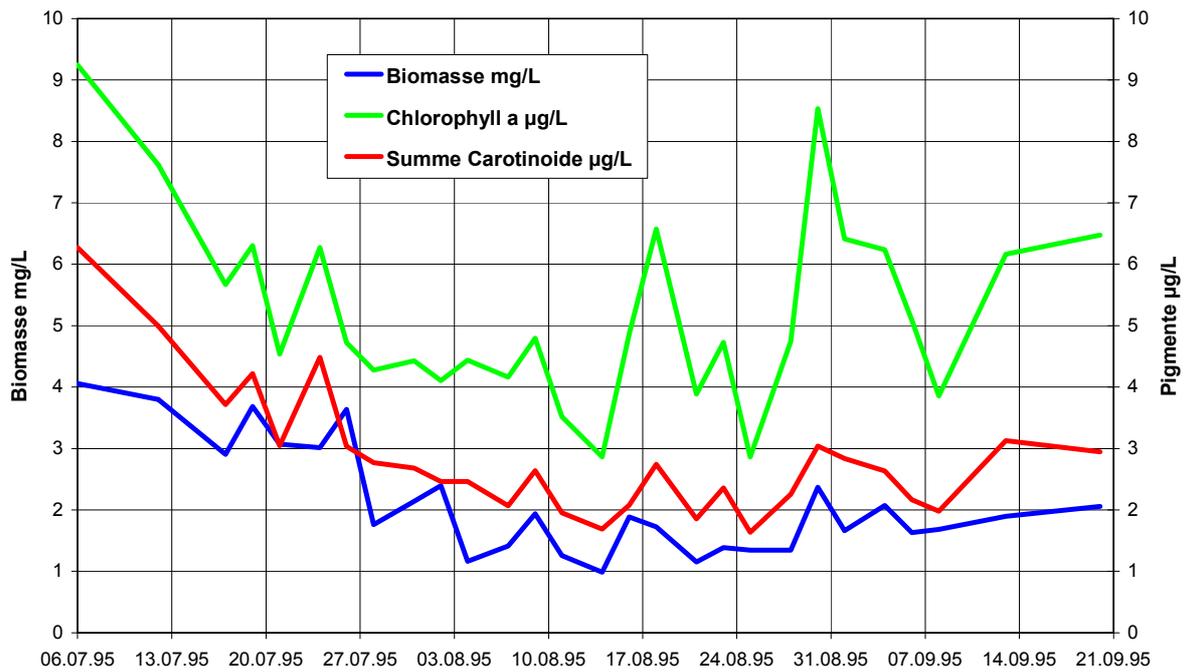


Abb.13 Zürichsee, Messkampagne 1995: Verlauf von Biomasse, Chlorophyll a und Gesamtcarotinoide

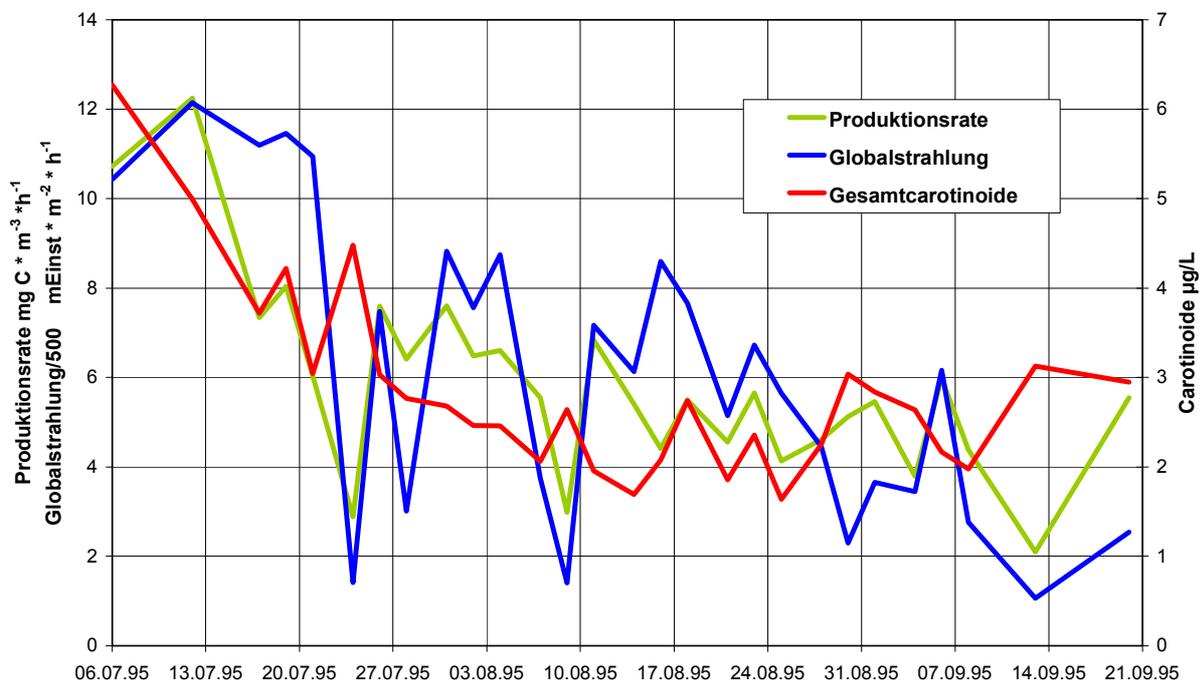


Abb.14 Zürichsee, Messkampagne 1995: Verlauf der Primärproduktionsraten, des Gesamtgehaltes an Carotinoiden und der Lichtenergie

3.4 Regulation der Carotinoidsynthese unter verschiedenen Lichtverhältnissen

Wie oben beschrieben, sind im Zürichsee Cyanobakterien (hauptsächlich *Planktothrix rubescens*) und im Ober- und Walensee Chrysophyten dominierend. Deshalb werden hier im folgenden die Indikator-Carotinoide dieser beiden Algengruppen im Detail diskutiert.

3.4.1 Fucoxanthingehalt und Biomasse der Chrysophyten

Während der dreimonatigen Untersuchungskampagne im Zürichsee wurden anfangs Juli hohe Primärproduktionsraten festgestellt; in diesem Zeitraum bildeten die Chrysophyten den Hauptanteil der Biomasse (Abb.12). Da, wie schon erwähnt, Chrysophyten relativ geringe Mengen an Chlorophyll a enthalten, wurde die Rolle des Chrysophyten-Indikator-carotinoids Fucoxanthin für die Lichtsammlung untersucht. Aus den Konzentrationsbestimmungen zu Beginn der Messkampagne, als die Chrysophyten zwischen 70% und 90% der Biomasse ausmachten, wurde errechnet, dass in Chrysophyten pro 100 Molekülen Chlorophyll a etwa 55 Moleküle Fucoxanthin enthalten sind. Gemäss Literaturangaben besitzen höhere Pflanzen pro 100 Molekülen Chlorophyll a etwa 40 Moleküle Carotinoide [Tevini & Häder 1985, S.123]. In höheren Pflanzen und Grünalgen erfolgt der Lichtenergietransfer von Carotinoiden zu Chlorophyll a nur mit einem Wirkungsgrad von etwa 40 - 50%. In Chrysophyten hingegen überträgt das Fucoxanthin die Lichtenergie fast verlustfrei auf das Chlorophyll a [Tevini & Häder 1985, S.140]. Dank des Fucoxanthins haben die Chrysophyten somit die Möglichkeit, trotz des relativ geringen Gehaltes an Chlorophyll a die Lichtenergie sehr effizient zu nutzen und eine hohe Primärproduktion zu erzielen.

Energietransfer

Im folgenden wurde untersucht, ob der Carotinoidgehalt in Algenzellen von oligo- und mesotrophen Seen verschieden ist. Chrysophyten sind sowohl im Zürich- als auch im Züricher- und Walensee immer vorhanden und stellen zeitweise einen grossen Anteil der Biomasse dar; deshalb wurde das Indikator-Carotinoide der Chrysophyten, Fucoxanthin, für einen Vergleich gewählt: Die Abb.15 zeigt die gemittelten Werte des Verhältnisses des Fucoxanthingehalts zur Chrysophytenbiomasse in 9 Tiefenstufen während der Jahre 1995 - 2001. In allen drei Seen nimmt der relative Fucoxanthingehalt mit der Wassertiefe so lange kontinuierlich zu, bis die Lichtenergie nur noch einen Wert von etwa $20 \text{ mE/m}^2 \cdot \text{h}$ erreicht hat, was etwa 1% der auf der Oberfläche auftreffenden Lichtenergie entspricht. Diese Tiefe liegt im Zürichsee und im Obersee bei etwa 10 m, im Walensee bei etwa 20 m (Abb.10, Abb.11). Werte unterhalb von $20 \text{ mE/m}^2 \cdot \text{h}$ bewirken jedoch keine weitere Zunahme des Fucoxanthingehalts. Diese Resultate zeigen nochmals eindrücklich, dass das Phytoplankton bei schwachem Licht mehr Carotinoide synthetisiert, um auf diese Weise mehr Lichtenergie zu absorbieren.

Fucoxanthin,
Wassertiefe und
Lichtenergie

Dank häufiger Föhnlagen, die immer mit geringer Wolkenbedeckung einhergehen, trifft auf den Walensee im Jahresmittel etwa 20% mehr Lichtenergie als auf den Zürich- und Zürichersee (Abb.11). Dies und die geringere Eigenbeschattung infolge der geringeren Planktondichte führen dazu, dass die Chrysophyten in den obersten 10 m des Walensees weniger Fucoxanthin bilden als in den beiden anderen Seen, da genügend Licht für die Primärproduktion vorhanden ist (Abb.15).

3.4.2 Gehalt an Myxoxanthophyll und Oscillaxanthin und Biomasse der Cyanobakterien

Im Zürichsee ist der Anteil an Cyanobakterien und vor allem der an *Planktothrix (Oscillatoria) rubescens* hoch. *P.rubescens* schichtet sich im Sommer im Bereich der Sprungschicht ein. Abb.16 zeigt die mittleren Primärproduktionsraten des Zürichsees (1995 – 2001) in den Winter- (November bis März, See ungeschichtet) und den Sommermonaten (April bis Oktober, See geschichtet). Die punktierte Linie der Sommerkurve zeigt den Ver-

*Planktothrix
rubescens*

lauf in einem See (z.B. Zürichobersee), in dem keine *P.rubescens* vorkommen. In der Kurve des Zürichsees beobachtet man bei etwa 10 m Tiefe eine "Schulter" mit erhöhten Primärproduktionsraten. Diese stammt von *P.rubescens*, die sich im Bereich der Temperatursprungschicht zu hohen Konzentrationen eingeschichtet hat (Tab.5). Die Primärproduktionsraten in den oberen Schichten, in denen die angebotene Lichtenergie gross ist, stammen hauptsächlich von anderen Algengruppen. Mit Beginn der thermischen Teilzirkulation nimmt im Spätherbst diese Einschichtung ein Ende, und *P.rubescens* wird während der winterlichen Zirkulationsphase bis weit ins Hypolimnion fast gleichmässig verteilt; die Primärproduktionsraten folgen nun mit zunehmender Tiefe wieder der jeweiligen Lichtintensität.

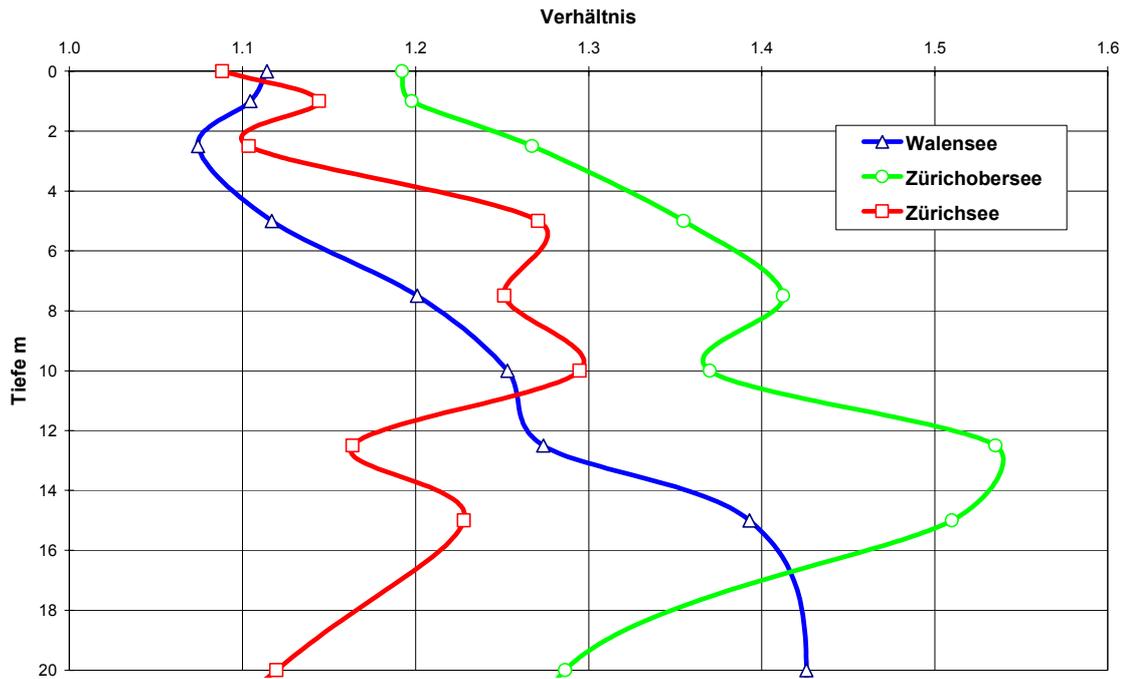


Abb.15 Verhältnis von Fucoxanthin zur Biomasse der Chrysophyten im Zürich-, Zürichober- und Walensee (1995 – 2001)

Sommer	Cyanophyta	Chlorophyta	Chrysophyta	div.Flagellaten	Cryptophyta	Pyrrophyta
0.0 m	21.1%	3.9%	45.4%	1.8%	17.6%	10.2%
1.0 m	18.9%	4.4%	45.9%	1.8%	18.4%	10.6%
2.5 m	20.5%	3.8%	45.7%	1.7%	18.2%	10.3%
5.0 m	19.0%	4.0%	49.5%	1.8%	17.4%	8.4%
7.5 m	27.5%	4.1%	44.6%	2.0%	14.4%	7.4%
10.0 m	50.5%	2.6%	32.5%	1.6%	8.1%	4.8%
12.5 m	48.0%	2.1%	34.0%	1.9%	8.7%	5.4%
15.0 m	40.8%	2.3%	38.4%	2.7%	10.1%	5.8%
20.0 m	29.1%	2.9%	48.8%	3.3%	9.1%	6.9%
Winter	Cyanophyta	Chlorophyta	Chrysophyta	div.Flagellaten	Cryptophyta	Pyrrophyta
0.0 m	79.7%	0.9%	7.4%	1.6%	8.3%	2.1%
1.0 m	78.2%	0.9%	7.6%	1.7%	8.5%	3.2%
2.5 m	77.7%	1.1%	7.7%	1.8%	9.0%	2.8%
5.0 m	78.6%	1.1%	7.5%	1.8%	8.1%	3.0%
7.5 m	80.7%	0.9%	7.5%	1.5%	7.1%	2.6%
10.0 m	79.3%	1.1%	7.9%	1.9%	7.0%	2.9%
12.5 m	79.5%	0.9%	8.6%	1.7%	6.9%	2.4%
15.0 m	79.2%	1.0%	9.1%	1.9%	5.9%	2.9%
20.0 m	74.5%	1.2%	12.5%	2.4%	7.1%	2.9%

Tab.5 Prozentuale Anteile der Algengruppen an der Gesamtbioasse im Sommer und Winter, Zürichsee, (1995 – 2001)

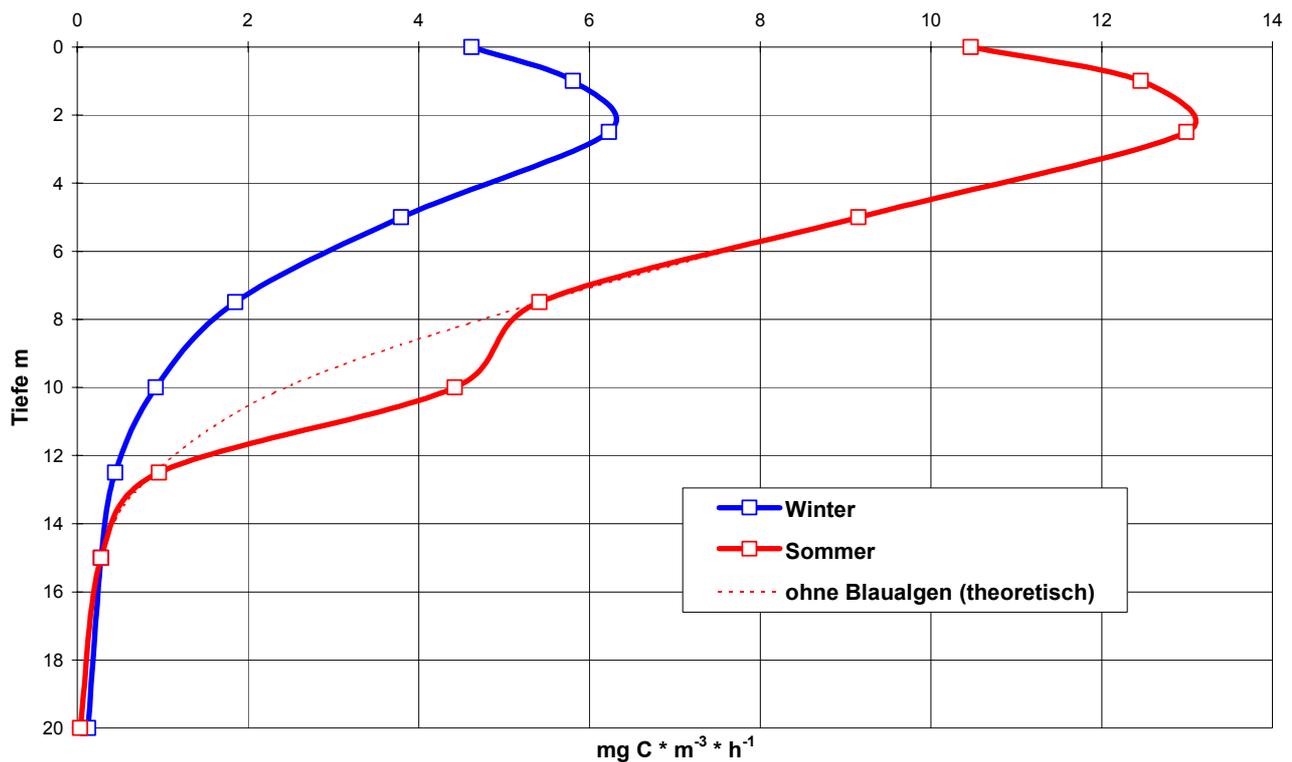


Abb.16 Mittlere Primärproduktionsraten im Zürichsee (1995 – 2001)

In den meisten Voralpenseen dringt der grüne Anteil des Sonnenlichtes am tiefsten in das Wasser ein, während die Rot- und Blauanteile schon in wesentlich geringeren Tiefen praktisch vollständig absorbiert sind (Abb.17). Da Chlorophyll a aber nur Blau- und Rotlicht absorbiert (Abb.1), stellt sich die Frage, warum *P.rubescens* in diesen Tiefen trotzdem photosynthetisieren kann.

Eindringtiefe der Lichtanteile

Beinahe alle Algengruppen der untersuchten Seen besitzen Carotinoide, die nur im langwelligeren Blaubereich absorbieren können. Ausnahmen sind das Indikator-Carotinoid der Cyanobakterien, Myxoxanthophyll, und zusätzlich das für *P.rubescens* spezifische Oscillaxanthin. Diese absorbieren nicht nur im Blau-, sondern zusätzlich auch noch im Grünbereich.

Grünlichtabsorption

Mittelt man für die sechs Untersuchungsjahre den biomassenbereinigten Gehalt der einzelnen im Sommer erhobenen Tiefenproben des Zürichsees an Myxoxanthophyll und Oscillaxanthin (Abb.18), so zeigt sich, dass deren spezifischer Gehalt im Tiefenbereich zwischen 7.5 und 12.5 m relevant erhöht ist. Daraus kann abgeleitet werden, dass *P.rubescens* durch vermehrte Bildung von Myxoxanthophyll und Oscillaxanthin auch in Tiefen überleben kann, in denen praktisch nur grünes Licht vorhanden ist. Damit ist erwiesen, dass bei *P.rubescens* die Bildung von Carotinoiden von der Intensität und Wellenlänge des Lichtes der jeweiligen Umgebung abhängt.

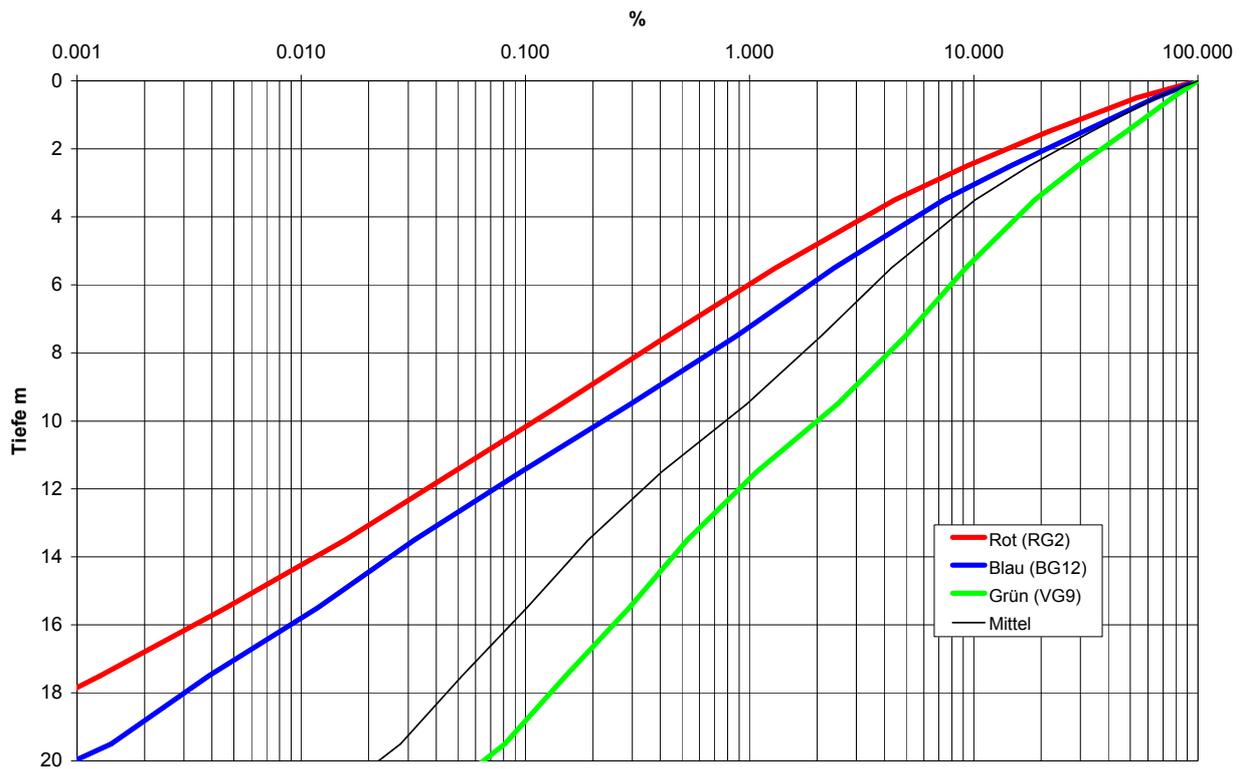


Abb.17 Mittlere Eindringtiefe der einzelnen Lichtanteile im Zürichsee (1997 – 2001)

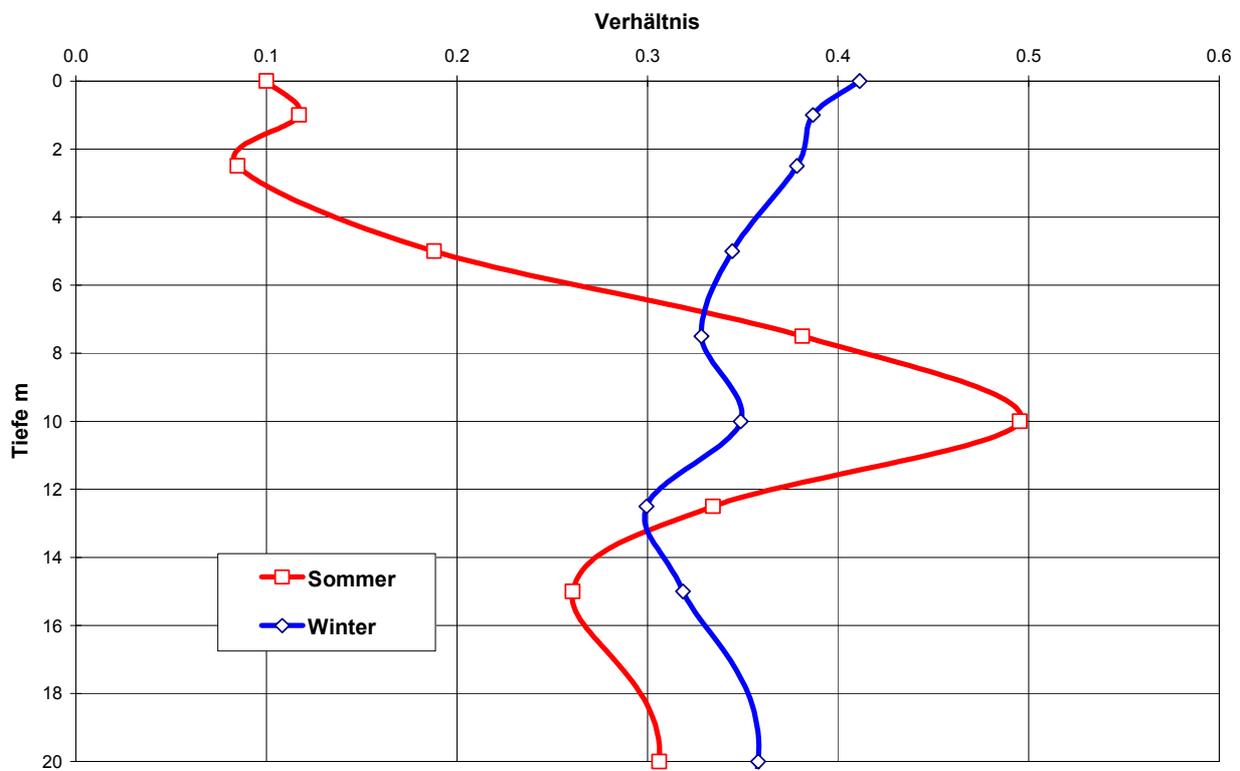


Abb.18 Verhältnis von Blaualgenpigmenten zur Blaualgenbiomasse im Zürichsee (1995 – 2001)



Abb.19 Probestellen IAWR-Messkampagne

4 IAWR-Messkampagne im Rhein und in den grösseren Seen seines Einzugsgebietes

4.1 Probenahmestellen

Da die Pigmentanalysen in den drei "Zürcher"-Seen viel zusätzliche Informationen lieferten, lag es nahe, diese Methode auch auf das von der IAWR untersuchte gesamte Rheineinzugsgebiet anzuwenden. Dazu wurden 1997 und 1998 an etwa 20 Stellen im Rhein und in Seen seines Einzugsgebietes (Abb.19) während 1½ Jahren monatlich Proben erhoben und die Pigmente des darin enthaltenen Phytoplanktons bestimmt. Um einen Vergleich mit den Mischproben vom Bodensee zu ermöglichen (mit der Ausnahme der Oberflächenproben der Stelle Frasnacht), wurden von den Messungen im Zürich-, Zürichober- und Walensee gewichtete Säulenmittel von 0 – 20 m gerechnet. Die Proben aus dem Rhein und dem IJsselmeer wurden in etwa 1 Meter Tiefe entnommen. In den Tabellen A1 – A18 im Anhang sind die Resultate zusammengestellt.

Bodensee Der Bodensee liegt auf einer topographischen Höhe von 395 m. Er ist das zweitgrösste Binnengewässer Westeuropas und in zwei Teile gegliedert: in den Obersee mit einer Fläche von 476 km² und den Untersee mit einer Fläche von 63 km² (Tab.3). Der Föhn erreicht meist nur den oberen Teil des Sees [Kiefer 1955].

IJsselmeer Das IJsselmeer entstand nach dem Bau eines Abschlussdeiches 1932 aus der ehemaligen "Zuidersee", einem Brackwassersee mit Verbindung zur Nordsee. Die Wasserzufuhr erfolgt grösstenteils über die IJssel (70%), die etwa 15-17% des in Lobith ankommenden Rheinwassers ableitet. Durch den Abschluss von der Nordsee veränderte sich das Brackwassergebiet in einen Süsswassersee. Mit dem Bau von Poldern und einem Deich zwischen dem neuen Polder und dem Festland wurde die Wasserfläche der Zuidersee in drei ungleich große Flächen geteilt: IJsselmeer, Markermeer und Randmeer. In diesen drei Seen wird das Phytoplankton von Kieselalgen und Grünalgen beherrscht, wobei im Sommer auch ein Übergang von Grünalgen zu Blaualgen beobachtet wird.

In Tab.6 sind die limnologischen Daten zu IJssel- und Markermeer aufgeführt. Die längere Sommerverweilzeit des IJsselmeers wird durch höhere Verdunstung und geringere Zufuhr von Rheinwasser über die IJssel erklärt.

Name	Oberfläche km ²	Mittlere Tiefe m	Mittlere Verweilzeit in Monaten	
			Sommer	Winter
IJsselmeer	1182	4.4	5.1	3.5
Markermeer	733	3.5	11.8	15.1

Tab.6 Limnologische Kenndaten IJsselmeer

4.2 Der Pigmentgehalt in Rhein- und Seeproben

Carotinoide Abb.20 zeigt die vom Beobachtungszeitraum errechneten Mittelwerte des Gehaltes an spezifischen Carotinoiden oder Carotinoidgruppen mit ihren zugehörigen Algengruppen. Die Proben aus dem Boden- und Walensee enthalten Carotinoide von Grün-, Kiesel-, Feueralgen und Cryptophyten, wobei die Carotinoide von Kieselalgen den Hauptanteil bil-

den. Im Zürichsee finden sich zusätzlich noch Carotinoide von Cyanobakterien, deren Menge beinahe so hoch ist wie die Menge an Kieselalgen carotinoiden. In den Proben der Stelle Karlsruhe waren - in deutlich geringeren Mengen - beinahe nur noch Carotinoide von Kieselalgen vorhanden. Grund dafür ist wohl der fließende Rhein mit seinen vielen Turbulenzen, in denen die meisten Phytoplankter nicht überleben können. Kieselalgen scheinen dagegen dank ihrer dicken Zellwände diesen Bedingungen zu trotzen. Darüber hinaus stammt sicher ein Teil der Carotinoide auch aus abgerissenen sessilen Kieselalgen.

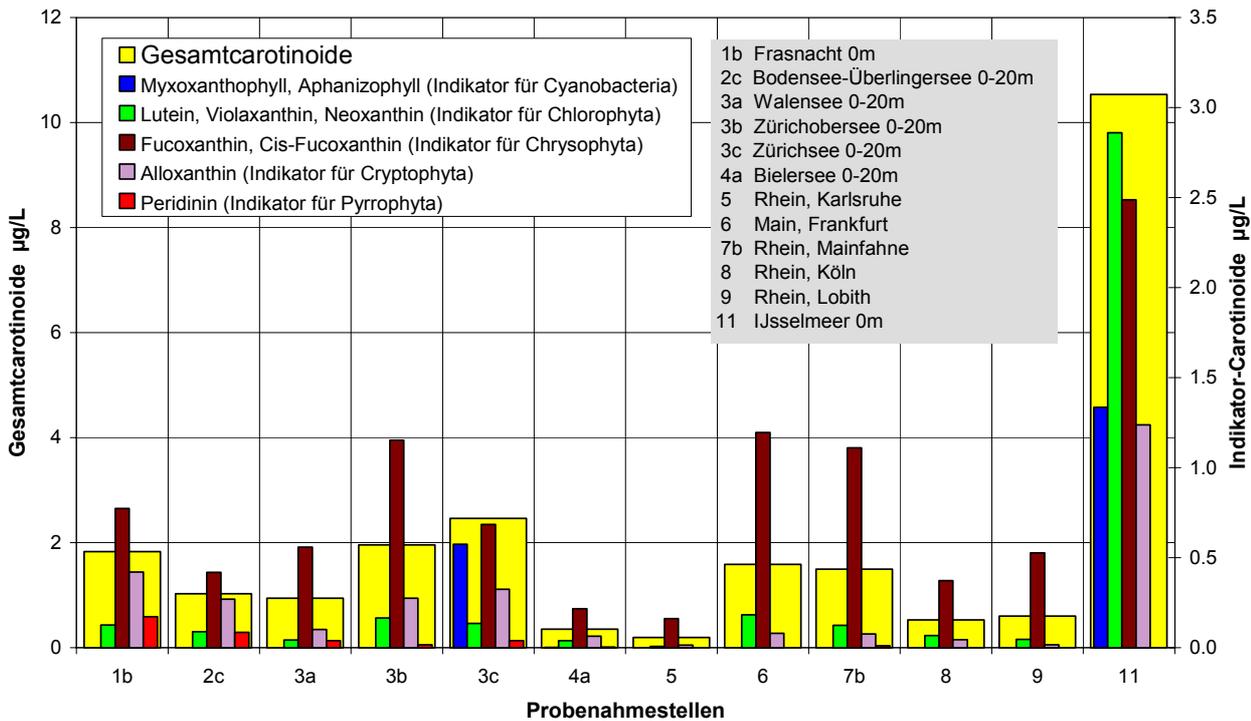


Abb.20 IAWR Messkampagne 1997 – 1998: Mittelwerte der Indikator-Carotinoide

Auffallend ist, dass in den Proben der Mainfahne unterhalb der Mündung des Mains in den Rhein wieder vermehrt Carotinoide von verschiedenen Algenstämmen festgestellt wurden. Der Grund dafür kann im meist langsam fließenden Main vermutet werden, der in einem gewissen Grad Seecharakter hat. Deshalb gibt es im Main neben Kieselalgen auch verschiedene andere Algenstämme (vgl. Stelle Frankfurt, Tab. A12), und die in den Rhein geschwemmten Algen bewirken in der Mainfahne eine Zunahme der entsprechenden Carotinoide. Mit zunehmender Distanz zu dieser Mündung nehmen die Carotinoide bis Lobith wieder ab. Hier werden fast nur noch die von Kiesel- und Grünalgen stammenden Carotinoide gefunden.

Im IJsselmeer ist der Gehalt an Carotinoiden eine Größenordnung höher als in allen oberliegenden Gewässern. Sie stammen vom Phytoplankton aller Stämme, einschließlich der Blaualgen.

In Abb.21 sind die Mittelwerte der Gehalte von Chlorophyll a während des Beobachtungszeitraums dargestellt. Der Verlauf dieser Werte deckt sich in etwa mit demjenigen der Carotinoide. Vom Bodensee bis Karlsruhe nimmt der Gehalt an Chlorophyll a ab; bei

Chlorophyll a

der Mainfahne wird der Rhein durch das Mainwasser wieder mit Algen bevölkert. Bis der Rhein Lobith erreicht, liegen die Gehalte an Chlorophyll a wieder auf ähnlich tiefem Niveau wie bei Karlsruhe.

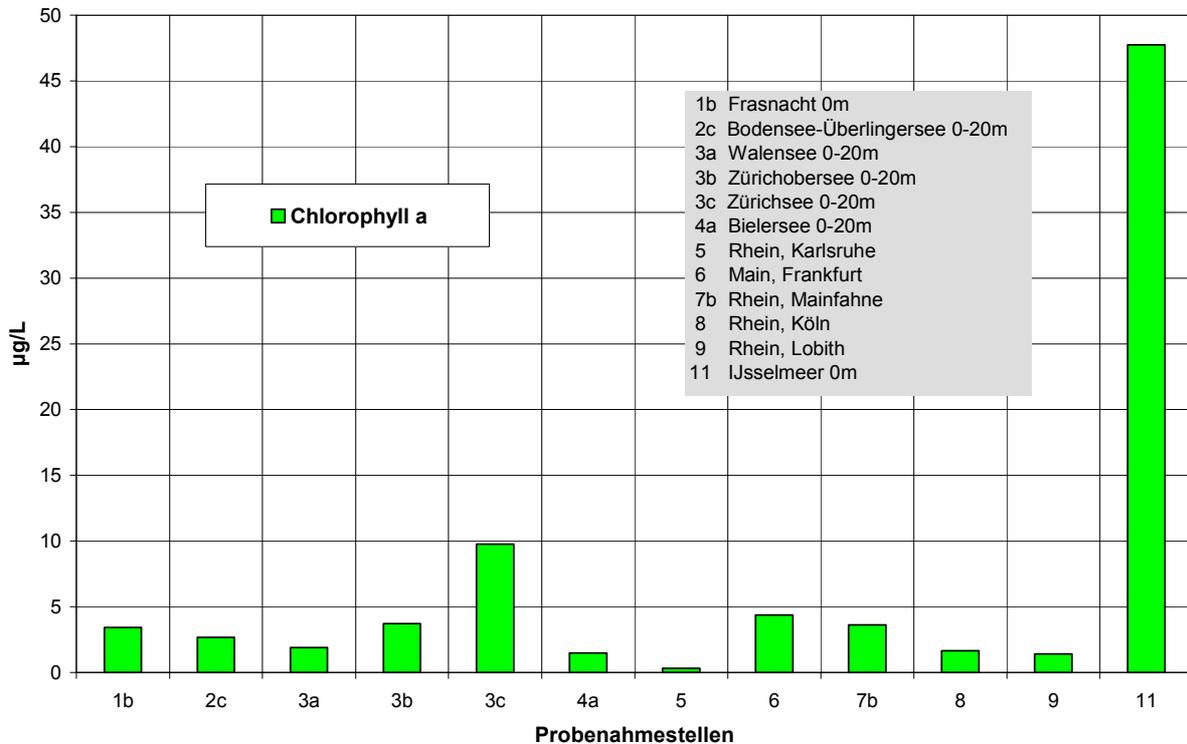


Abb.21 IAWR-Messkampagne 1997 – 1998: Mittelwerte von Chlorophyll a

4.3 Spezifische Carotinoide in verschiedenen Seen

Da der Totalgehalt an Carotinoiden die gesamte Phytoplanktonbiomasse besser beschreibt als das Chlorophyll a allein, wurden die Gesamtcarotinoide vom Walensee (März 1995 bis Dezember 1999, Abb.22a, Abb.22b), dem Bodensee-Überlingersee (Mai 1997 bis Dezember 1998, Abb.23a, Abb.23b), dem Zürichsee (März 1995 bis Dezember 2001, Abb.24a, Abb.24b) und dem IJsselmeer (Mai 1997 bis Dezember 1998, Abb.25a, Abb.25b) ausgewertet und miteinander verglichen.

In den jeweiligen Abbildungen-*a* werden die Gehalte an Gesamtcarotinoiden, in den Abbildungen-*b* die Prozentanteile der gruppenspezifischen Carotinoide dargestellt. Wie in Kapitel 3.3 erwähnt, sind die Gehalte der gruppenspezifischen Carotinoiden etwa proportional zur Biomasse der entsprechenden Planktongruppen.

Walensee

Der Phosphor ist im Walensee seit anfangs der neunziger Jahre in solch geringen Konzentrationen vorhanden, dass er immer wachstumsbegrenzend ist. Deshalb ist auch der Gehalt an Gesamtcarotinoiden im Vergleich zu den anderen drei Seen am niedrigsten und fluktuiert nur wenig (Abb.22a). Der Anteil der gruppenspezifischen Carotinoide der Cryptophyten (Alloxanthin) und Chrysophyten (Fucoxanthin) ist über die ganze Zeitspanne beinahe konstant (Abb.22b). Der Hauptanteil besteht immer aus den Carotinoiden der

Chrysophyten, im Mittel 60%, bei Schwankungen zwischen 40% und 75%. In den Sommermonaten sind noch die Carotinoide von Chlorophyten (Lutein) und im Spätherbst diejenigen der Pyrrophyten (Peridinin) anwesend (Anhang Tab. A7).

Im Bodensee-Überlingersee liegt der durchschnittliche Gesamtgehalt an Carotinoiden nur wenig höher als im Walensee (Abb.23a), die Fluktuationen zwischen den Monaten sind jedoch eher grösser. Auch die Unterschiede in der saisonalen Verteilung der gruppenspezifischen Carotinoide sind ausgeprägter (Abb.23b). Wie im Walensee besteht der Hauptanteil aus dem Fucoxanthin der Chrysophyten, im Mittel 45%; nebst dem sommerlichen Auftreten vom Lutein der Chlorophyten finden sich in den Herbstmonaten bis zu 30% an Peridinin der Pyrrophyten (Anhang Tab. A5).

Bodensee

Im Zürichsee ist der Gehalt an Carotinoiden höher als im Walen- und Bodensee (Abb.24a); auch ist die Spanne zwischen den saisonal bedingten Extremwerten relevant grösser. Es fällt auf, dass die Carotinoide der Cyanobakterien in den Herbst- und Wintermonaten stark vertreten sind (Anhang Tab. A9). Diese bestehen neben Myxoxanthophyll hauptsächlich aus Oscillaxanthin, dem spezifischen Carotinoid des Cyanobakteriums *Planktothrix rubescens*, das im Zürichsee während der letzten hundert Jahre meist dominant vertreten war.

Zürichsee

Im IJsselmeer ist der Gehalt an Carotinoiden sehr viel höher als in den drei anderen Seen; die beiden Maxima im Februar und August 98, welche die übrigen Werte um mehr als das Doppelte übertrafen, sind typisch für Gewässer mit hohen Nährstoffangeboten (Abb.25a, beachte Achsenskalierung). Auch aus den Prozentanteilen der gruppenspezifischen Carotinoiden am Gesamtgehalt der Carotinoiden (Abb.25b) erkennt man, dass das IJsselmeer eine Tendenz zu "Algenblüten" aufweist, d.h. dass während einer meist kurzen Zeitspanne eine Algengruppe dominiert: Im August 97 lag der Anteil der Cyanobakterien-Carotinoide bei etwa 50%, im August 98 dagegen unter der Nachweisgrenze; demgegenüber stieg der Anteil der Chlorophyten-Carotinoide auf über 50% (Anhang Tab. 18). Die Cryptophyten dominierten im Mai 97 (40%), ein Jahr später war ihr Anteil nur noch bei weniger als 10%. Interessanterweise findet sich im IJsselmeer kaum Oscillaxanthin, dafür aber Aphanizophyll, das spezifische Carotinoid der Blaualge *Aphanizomenon sp.*. Im Gegensatz zu *Planktothrix* ist das N₂-fixierende Cyanobakterium *Aphanizomenon* oft dominant in phosphatreichen Gewässern, wo Stickstoff limitierend werden kann [Sandgren 1988, S.265]. *P.rubescens* bevorzugt eher mesotrophe Gewässer. So konnte sie zum Beispiel im Zürichsee nur noch vereinzelt nachgewiesen werden, als der mittlere Phosphorgehalt während etwa 10 Jahren über 90 µg/L PO₄-P lag [Zimmermann 1976, Schanz & Thomas 1981]. Es stellt sich nun die Frage, warum in den untersuchten Seen die Fluktuationen und Verteilungsmuster so verschieden sind.

IJsselmeer

Die Langzeitbeobachtungen der Wasserversorgung Zürich zeigen, dass der Phosphor erst dann limitierender Faktor für das Planktonwachstum ist, wenn der Gehalt an Gesamtphosphor unter 10 µg/L P und das Phosphat unter 5 µg/L P liegt. In Abb.26 ist die Biomasse des Phytoplanktons (1976 – 2000) in Abhängigkeit zum Gesamtphosphor sowie der Gesamtcarotin-Gehalt (1995 – 2000) in Zürich-, Züricher-, Walen- und Bodensee dargestellt. Es fällt auf, dass im Bodensee bei gleichen Gesamtphosphorwerten niedrigere Biomassenwerte auftreten. Der Grund dafür liegt offensichtlich in der Auswertung der Proben: im Gegensatz zu den Proben der von der Wasserversorgung Zürich analysierten Seen werden in den Proben des Bodensees die Kieselalgen nur dann der Biomasse zugezählt, wenn der Zellinhalt noch sichtbar ist. Für das IJsselmeer fehlen Biomassenangaben; zur Abschätzung der Biomasse standen nur Messergebnisse von Chlorophyll a zur Verfügung.

**Phosphat unter
5 µg/L**

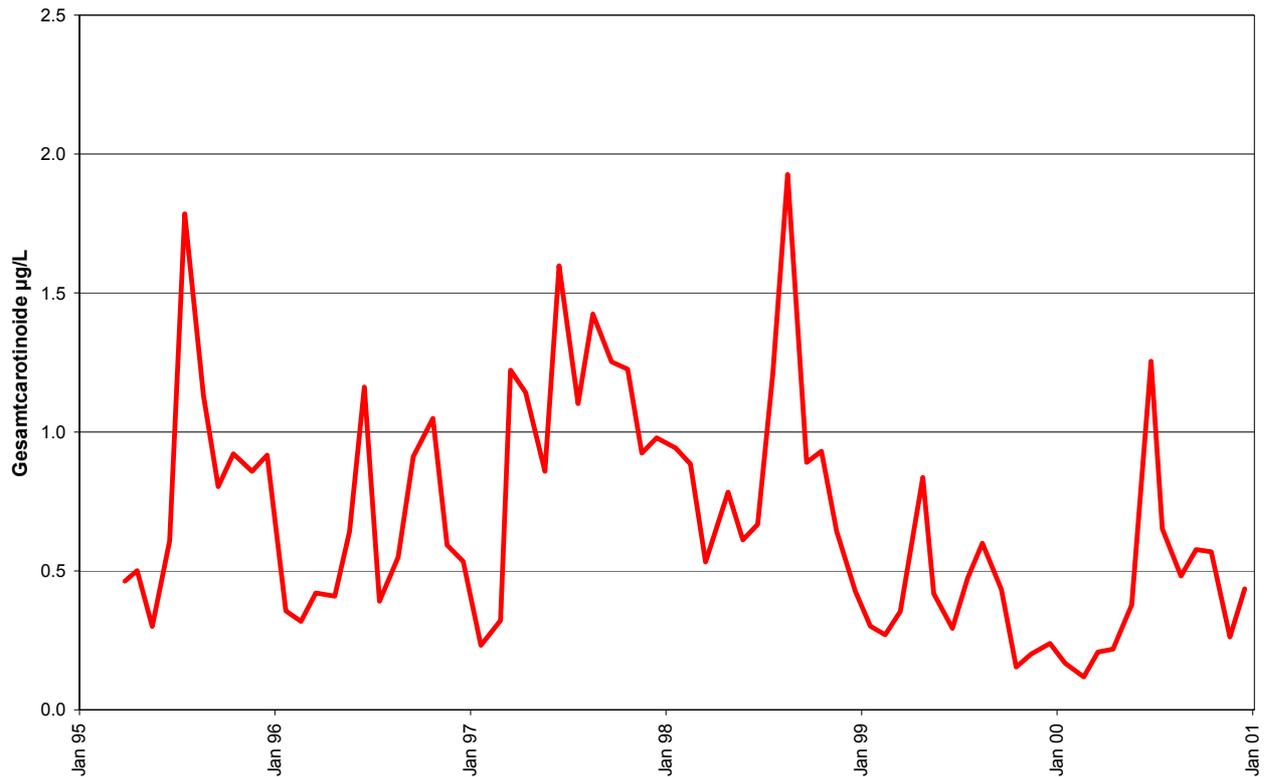


Abb.22a Walensee: Gehalt an Gesamtcarotinoiden 1995 – 2000

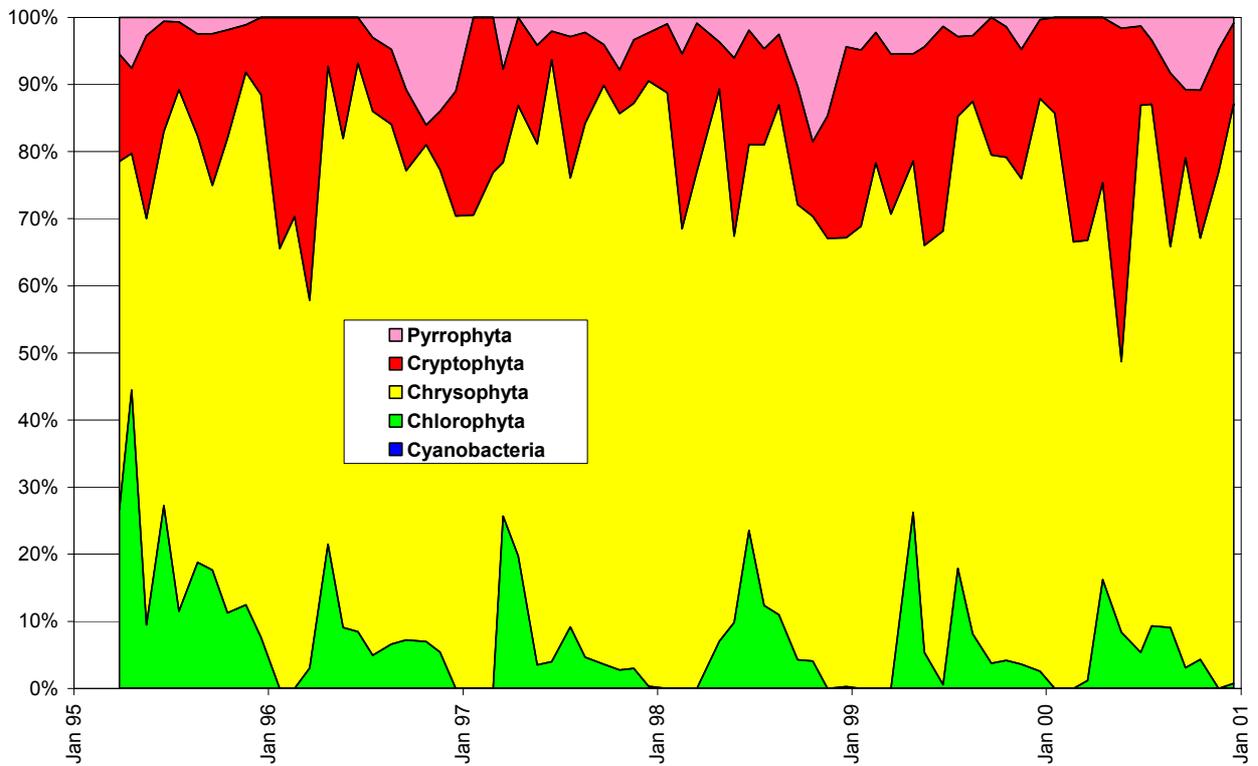


Abb.22b Walensee: Aufteilung des Phytoplanktons aufgrund der Indikator-Carotinoide 1995 - 2000

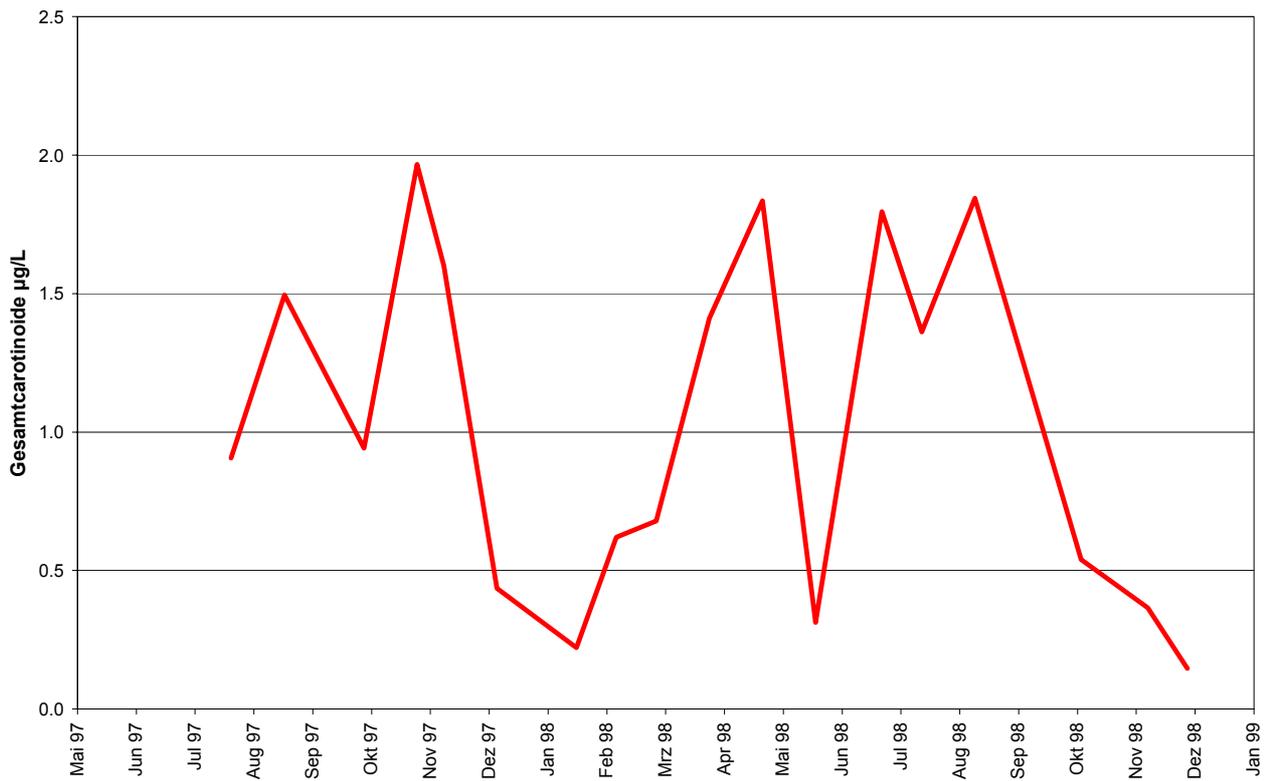


Abb.23a Bodensee-Überlingersee: Gehalt an Gesamtcarotinoiden 1997 – 1998

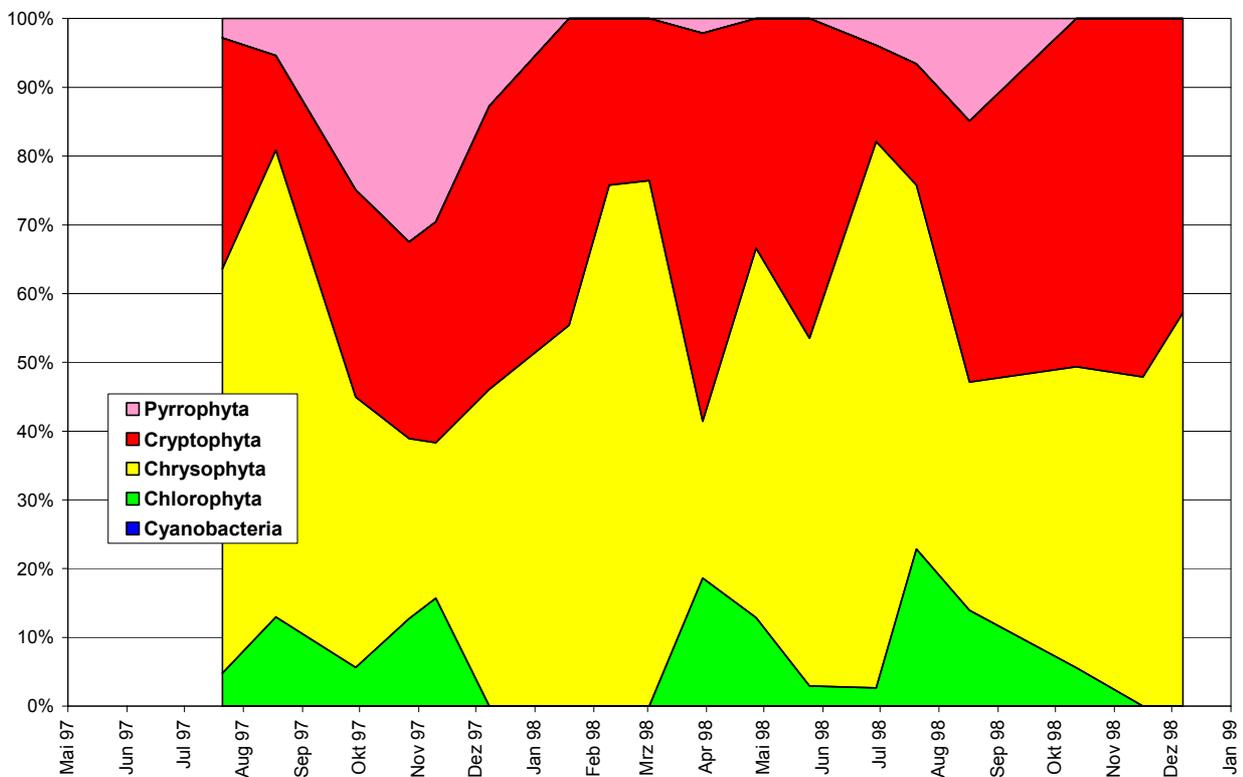


Abb.23b Bodensee-Überlingersee: Aufteilung des Phytoplanktons aufgrund der Indikator-Carotinoide 1997 - 1998

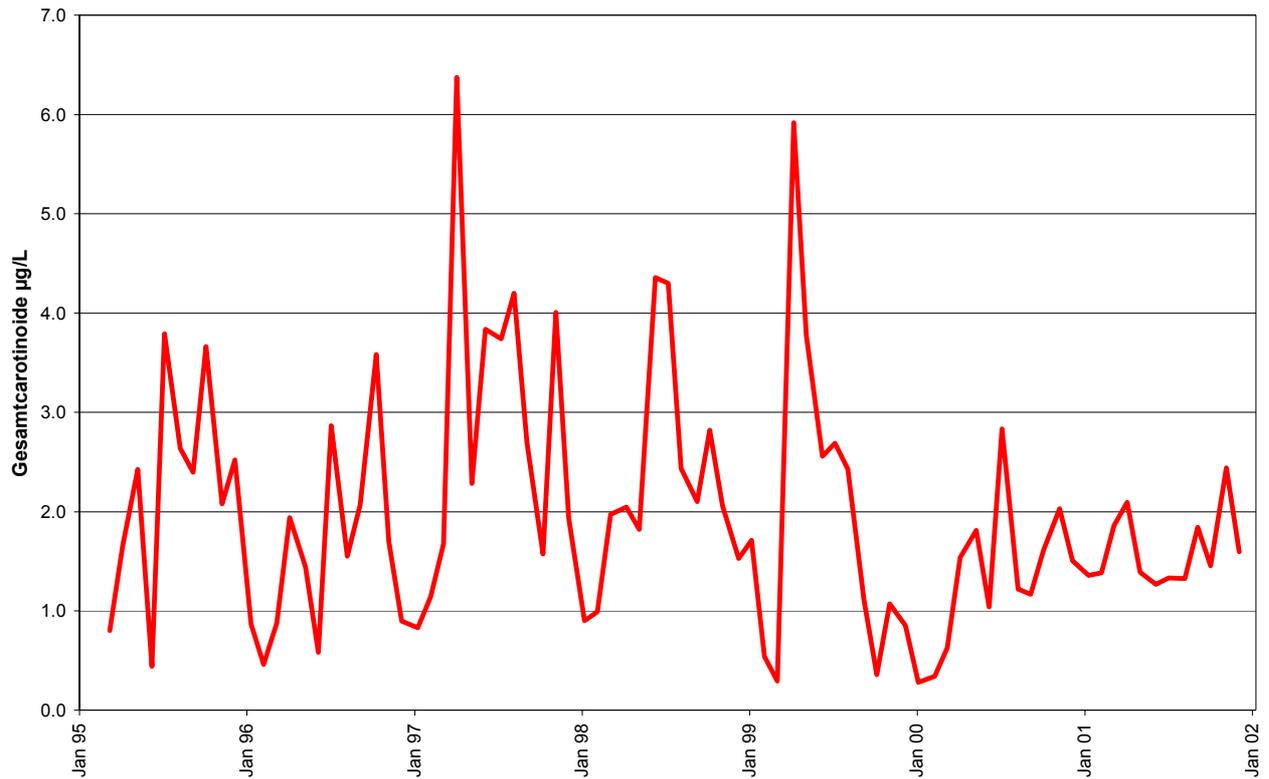


Abb.24a Zürichsee: Gehalt an Gesamtcarotinoiden 1995 – 2001

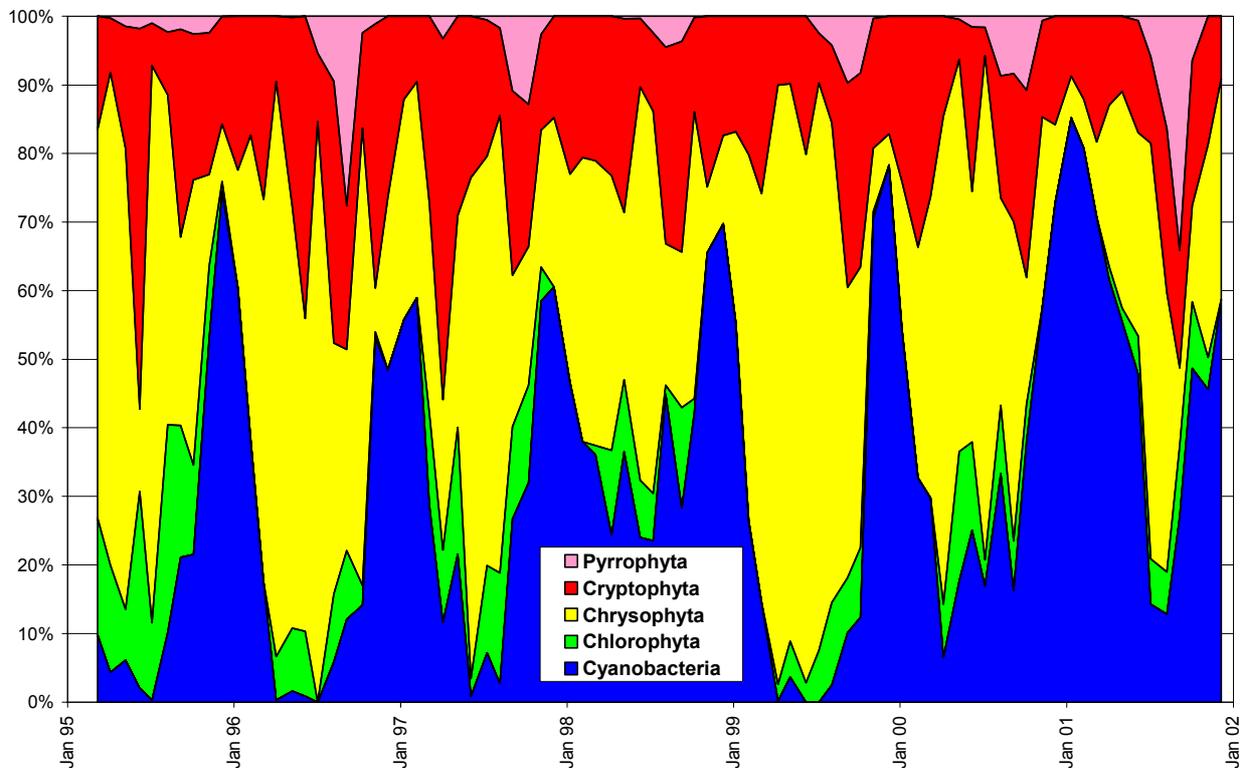


Abb.24b Zürichsee: Aufteilung des Phytoplanktons aufgrund der Indikator-Carotinoide 1995 - 2001

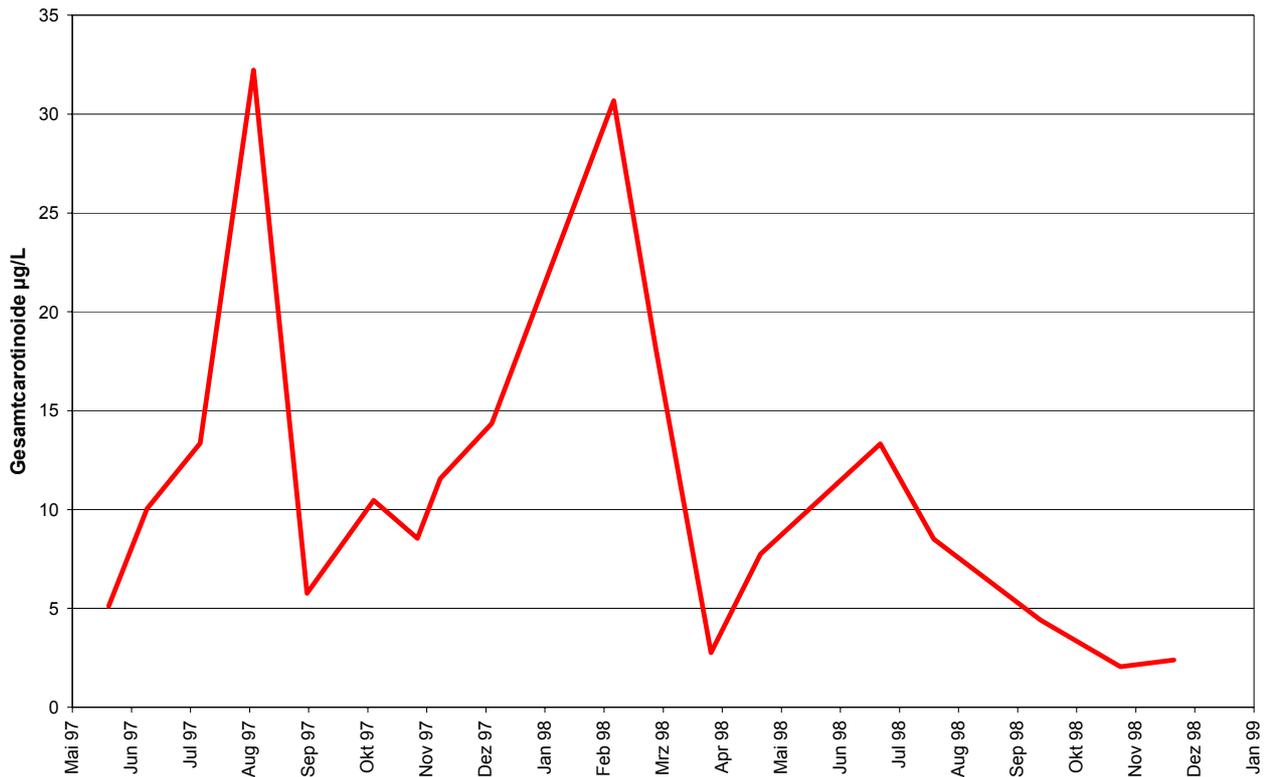


Abb.25a IJsselmeer: Gehalt an Gesamtcarotinoiden 1997 - 1998

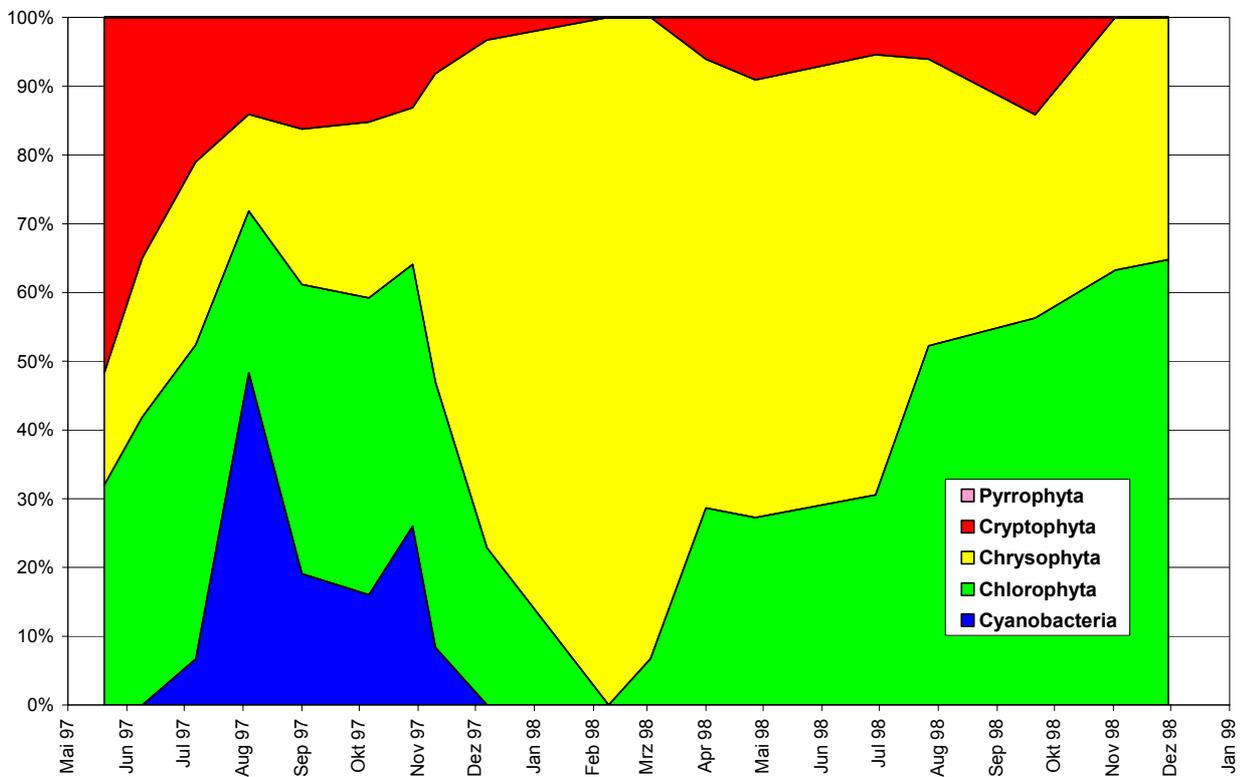


Abb.25b IJsselmeer: Aufteilung des Phytoplanktons aufgrund der Indikator-Carotinoide 1997 - 1998

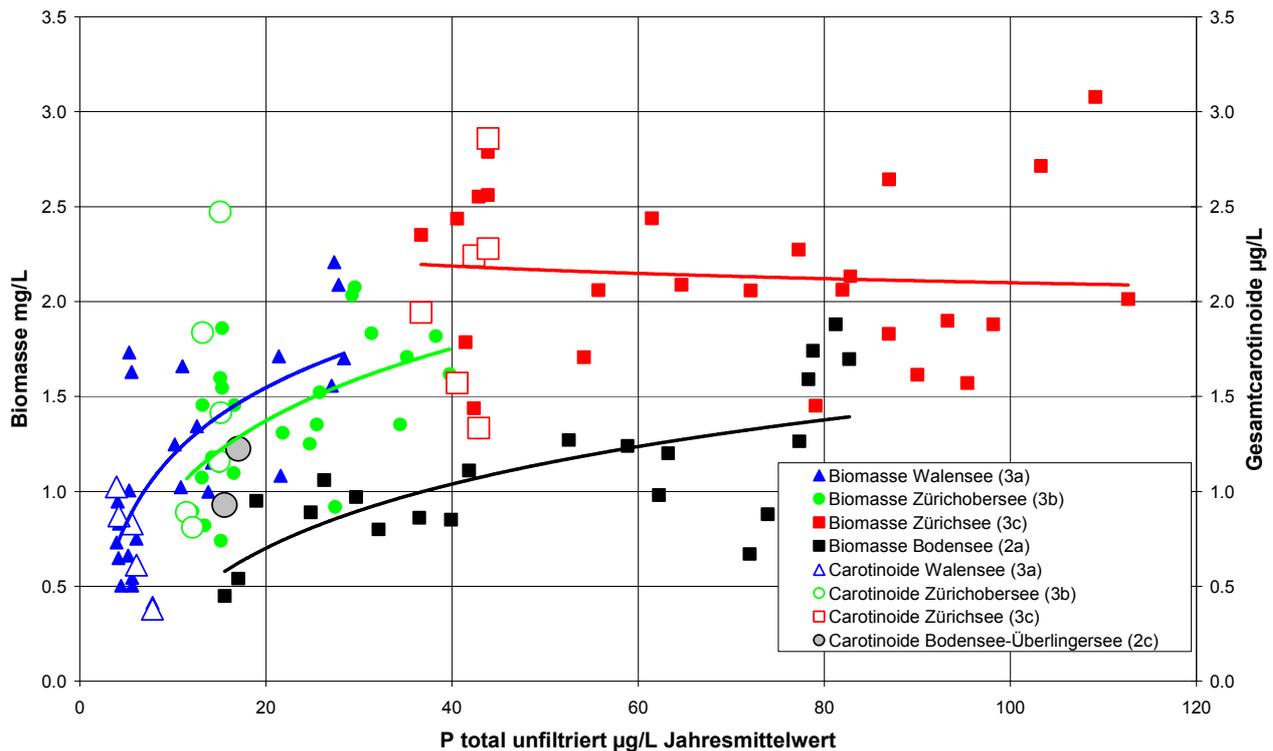


Abb.26 Zusammenhang zwischen Biomasse bzw. Gesamtgehalt Carotinoide und Phosphorgehalt

Biomasse und Carotinoide

Um den Einfluss der unterschiedlichen Algenbestimmungsmethoden zu vermeiden, wurden als Mass für die Biomasse die Jahresmittelwerte der Gesamtcarotinoide herangezogen. Dabei finden sich die Werte vom Bodensee in derselben Grössenordnung wie diejenigen vom Zürichsee. Werden die Biomassen des Bodensees mit dem mittleren Verhältnis von Carotinoiden zur Biomasse multipliziert (unter der Annahme, dass der Gesamtgehalt an Carotinoiden der Gesamtbiomasse proportional ist), so ergeben sich auch für die Biomasse ähnliche Resultate, wie sie im Zürichsee gefunden werden.

Trophiezustände

In Tab.7 sind Angaben über die Gehalte an Chlorophyll a, Carotinoiden und Phosphor sowie die Trophiezustände der vier Seen enthalten. Bei jahresmittleren Werten unter etwa 10 µg/L Gesamtposphor können nur noch Algen überleben, die (wie z.B. gewisse Chrysophyten) sehr geringe Nährstoffkonzentrationen ausnützen können. Grössere Biomassenfluktuationen sind dabei nicht mehr zu erwarten, was am Beispiel des Walensees gut sichtbar ist (Abb.22b). Solche Seen können als biologisch stabil definiert werden, da auch die Anteile der einzelnen Algengruppen recht konstant sind.

Bei etwas höheren Phosphorgehalten, wie sie z.B. im Boden- und Zürichsee vorkommen, können saisonal unterschiedliche Phytoplanktongruppen sich stärker entwickeln (Abb.23b, Abb.24b); dabei sind die wachstumsbegrenzenden Faktoren über die meiste Zeit hinweg nicht mehr die Nährstoffe, sondern beispielsweise das Licht. Besteht, wie im IJsselmeer, ein noch grösseres Phosphorangebot, so kann es zu eigentlichen Massenentwicklungen (Algenblüten) einzelner Phytoplanktonspezies kommen (Abb.25b).

In Tab.7 sind die Mittelwerte einiger Parameter der untersuchten Seen dargestellt. Die Werte des Bodensees liegen wie erwartet zwischen denen des Walensees und des Zürichsees. Dies zeigt, dass mit dem Gehalt an Gesamtcarotinoiden relativ verlässlich Rückschlüsse auf den Trophiegrad eines Gewässers gezogen werden können.

	Chlorophyll a µg/L	Gesamtcarotinoide µg/L	Gesamtphosphor µg/L P	Trophiegrad
Walensee	2	1	< 5	oligotroph
Bodensee	2.5 – 3.5	1 – 2	20	oligo/mesotroph
Zürichsee	10	2.5	40	mesotroph
IJsselmeer	48	11	120	eutroph

Tab.7 Charakterisierung der Seen

5 Diskussion

Die Pigmentuntersuchungen in den Schweizer Voralpenseen liefern eine unerwartete Fülle zusätzlicher Informationen, die die Ergebnisse der klassischen Untersuchungen ergänzen und erklären helfen. So hat die Untersuchung der Lichtregulation der Carotinoid-synthese gezeigt, wie das Phytoplankton auf unterschiedliche Lichtbedingungen reagiert und so ein Wachsen auch unter ungünstigen Bedingungen gewährleistet. Damit ist auch geklärt, warum der Zürichsee im Sommer im Metalimnion (bei ca. 10 m) eine erhöhte Primärproduktion aufweist und der Walensee über das ganze Jahr pro Algenbiomasse eine höhere Primärproduktion hat als der Zürichsee (Abb.9, Abb.16). Es kann dadurch ein Zusammenhang zwischen Umweltfaktoren, Phytoplankton, Primärproduktion und Pigmenten hergestellt werden.

**Zusätzliche In-
formationen**

Mit den in den Zürcher Seen gewonnenen Erkenntnissen wurde eine Kampagne der Pigmentuntersuchung im Rhein und seinem Einzugsgebiet durchgeführt. Der Trophiezustand der verschiedenen Seen kann dabei durch den Carotinoidgehalt und der daraus abgeleiteten Gruppenzusammensetzung des Phytoplanktons beschrieben werden. Vorteil der Pigmentanalyse ist, dass man eine objektive, von der Zählmethode und deren Durchführung unabhängige Methode hat.

5.1 Pigmentanalyse und Phytoplanktonbestimmung

Mit der mikroskopischen Algenbestimmung nach Utermöhl kann bis auf Arten (Spezies) genau differenziert werden; dagegen eignet sich die Pigmentanalyse nur für die Bestimmung von Planktongruppen. Mit der Bestimmung der Pigmente können jedoch physiologische und biochemische Reaktionen des Phytoplanktons zur Erklärung der Umwelteinflüsse auf Zusammensetzung und Primärproduktion herangezogen werden.

**Vergleich der
beiden Methoden**

Die Pigmentanalyse ist für Untersuchungen wie die IAWR-Messkampagne geeignet, weil mit dieser Methode relativ schnell viele verschiedene Stellen verglichen werden können. Allerdings muss man berücksichtigen, dass die Pigmentsynthese vom Licht abhängig ist; in Seen geben deshalb gewichtete Wassersäulenmittelwerte zuverlässigere Ergebnisse. Besonders geeignet ist die Pigmentbestimmung für die Erfassung des Phytoplanktons in Flüssen, denn der meist hohe Gehalt an suspendierten Feststoffen erschwert eine mikroskopische Algenanalyse beträchtlich.

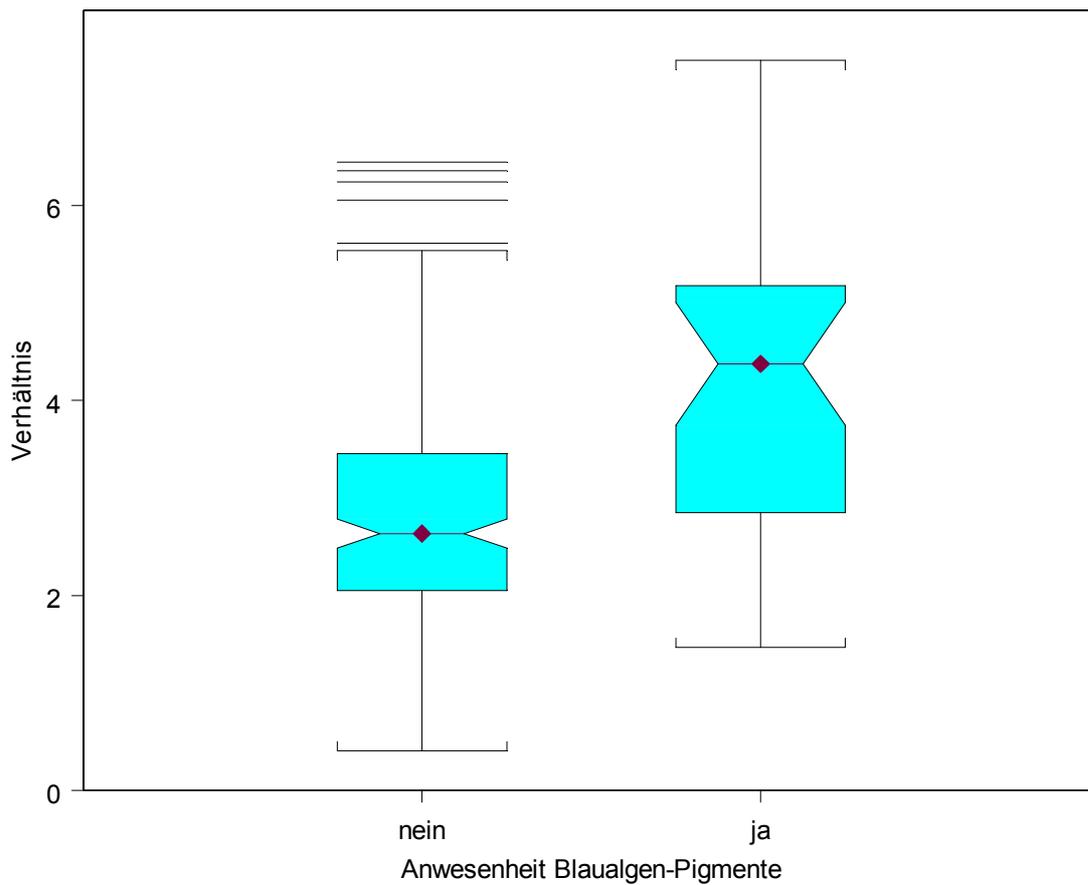


Abb.27 Verhältnis von Chlorophyll a zum Gesamtcarotin-Gehalt in Proben mit oder ohne Blaualgen

5.2 Chlorophyll und Carotinoide

Chlorophyll a abhängig von Planktongruppen

In einer grossen Anzahl von einschlägigen Veröffentlichungen wurde und wird der Chlorophyll a-Gehalt als einziges Mass für die Phytoplanktonbiomasse verwendet. Vor allem bei der Beurteilung von Seen, in denen die Cyanobakterien mehr oder weniger grosse Anteile an der gesamten Phytoplanktonbiomasse einnehmen, kann diese Bestimmungsmethode aber zu grossen Fehlern führen. Die vorliegenden Resultate zeigen, dass verschiedene Algengruppen unterschiedliche Gehalte an Chlorophyll a synthetisieren. Cyanobakterien produzieren zum Beispiel mehr Chlorophyll a als Chrysophyten. Diese Beobachtung wurde denn auch in der Messkampagne der IAWR nochmals bestätigt. Abb.27 zeigt das Verhältnis von Chlorophyll a zum Gesamtcarotin-Gehalt. Dieses Verhältnis beträgt in Proben mit Cyanobakterien wie Zürichsee und IJsselmeer 4.37, in Proben ohne Cyanobakterien 2.78.

Im Gegensatz zu Chlorophyll a erlauben die spezifischen Carotinoide eine Klassifizierung bis auf Phytoplanktongruppen. Wenn man Chlorophyll a mittels HPLC bestimmt, ist es daher zu empfehlen, die Carotinoide gleichzeitig mitzubestimmen, da beide zusammen in einem HPLC-Lauf bestimmt werden können. Damit gewinnt man viel zusätzliche Informationen.

5.3 *Physiologie (intrazelluläre Carotinoide als Indikator für intakte Phytoplanktonzellen)*

Aufbereitung mit
Ozon

Zur Bestimmung der Effizienz verschiedener Filtrationsstufen in den Seewasserwerken am Zürichsee wurde die Anzahl der Phytoplankter vor und nach den einzelnen Aufbereitungsstufen mit der Utermöhl-Methode bestimmt; vornehmlich bei den Kieselalgen wurden sowohl Zellen mit (= lebende) als auch Zellen ohne (= tote) Zellinhalt mitberücksichtigt. Die quantitative Bestimmung der intrazellulären Carotinoide als Mass für physiologisch intakte Zellen der verschiedenen Phytoplanktongruppen wurde schon in einer anderen Untersuchung beschrieben [Cao et al. 2003]. In jener Arbeit wird gezeigt, dass das Rohwasser, das in einer Tiefe von 30 m dem See entnommen wird, hauptsächlich Kieselalgen und Cyanobakterien enthält. Der Gehalt an intrazellulären Carotinoiden ist zu verschiedenen Jahreszeiten jedoch sehr unterschiedlich. Das Verhältnis zwischen dem spezifischen Kieselalgen-carotinoid Fucoxanthin und der Kieselalgenbiomasse betrug im Sommer 0.69 und im Winter 1.05. Im Sommer ist der See geschichtet; die sedimentierenden Algen sind vor allem leere Zellskelette der Kieselalgen, die in die Tiefe der Rohwasserfassung absinken. Im Winter durchmischt der See bis weit unter die Fassungstiefe; dadurch gelangen intakte Kieselalgen mit dem die Pigmente enthaltenden Zellinhalt rasch an die Wasserfassung. Gleichzeitig kommt aber auch das im Winterhalbjahr dominierende Cyanobakterium *Planktothrix rubescens* in diese Tiefe. Dessen Zellen werden in Wasserwerken, die das Rohwasser mit Ozon voroxidieren, leichter zerstört als Kieselalgenzellen. Nach der Vorozonung wurde deshalb das intrazelluläre Pigment Fucoxanthin der Kieselalgen immer noch nachgewiesen, während das Cyanobakterien-Carotinoid Myxoxanthophyll nicht mehr gefunden wurde. Somit konnte man feststellen, dass Cyanobakterien nach der Vorozonung ihre Pigmente und Zellinhaltsstoffe in das Wasser abgegeben hatten und so einen Beitrag zum assimilierbaren organischen Kohlenstoff (AOC) ergeben; dieser AOC war Ursache von starken Verkeimungen in den Schnellfiltern.

5.4 *Ausblick*

Nach den Erfolgen des Gewässerschutzes bezüglich der Wasserqualität sind rasche Veränderungen in unseren Gewässern nicht mehr zu erwarten. Mit den klassischen Methoden der Limnologie erhält man daher meist gleiche Resultate, so dass die Gefahr besteht, Langzeituntersuchungen als unnötig zu qualifizieren. Die Einführung moderner Technologien zur Bestimmung von Spurenstoffen wie z.B. Pigmente oder Algentoxine geben aber viel neue und zusätzliche Informationen und erlauben damit eine vertiefte Aussage über den Trophiegrad verschiedener Gewässer; diese Kenntnisse sind auch für die Trinkwasser-Aufbereitung von Bedeutung. So empfiehlt sich die Durchführung einer ähnlichen Kampagne wie die hier beschriebene alle 5 bis 10 Jahre zur Überprüfung des Gewässerzustandes.

6 Literatur

- Cao K, Zimmermann U, Dunst S, Forster R. 1993 Die Bestimmung von Carotinoiden im Phytoplankton von Seen, *AWBR Jahresbericht 1992* **24**: 105 - 113.
- Cao K, Forster R, Zimmermann U. 1999 Pigmente in Phytoplanktonpopulationen im Zürichsee, *SVGW* **1**: 55 – 59.
- Cao K, Forster R, Gammeter S, Hamsch B. 2003 Influence of ozonated cyanobacteria on bacterial growth in rapid sand filters, *Aqua*: (in print)
- Gächter R, Mares A, Tilzer MM. 1984 Determination of phytoplankton production by the radiocarbon method: a comparison between the acidification and bubbling method (ABM) and the filtration technique, *J. Plankton Res.*, **6**, 359 – 364.
- Gammeter S, Forster R, Zimmermann U. 1996 Limnologische Untersuchung des Walensees 1972 – 1995, Eigenverlag Wasserversorgung Zürich.
- Gammeter S, Forster R, Zimmermann U. 1997 Limnologische Untersuchung des Zürichsees 1972 – 1996, Eigenverlag Wasserversorgung Zürich.
- Gammeter S, Forster R. 2002 Langzeituntersuchung im Zürichobersees 1972 – 2000, Eigenverlag Wasserversorgung Zürich.
- Lami A, Guilizzoni P, Ruggiu D, Polli B, Simona M, Barberi A. 1992 Role of pigments on algal communities and photosynthesis, *Aquatic Sciences* **54** (3/4): 321 – 330.
- Kiefer F. 1955 Naturkunde des Bodensees, Jan Thorbecke Verlag
- Kohata K, Wantanabe M. 1988 Diel changes in the composition of photosynthetic pigments and cellular carbon and nitrogen in *Chattonella antiqua* (Raphidophyceae), *J. Phycol.*, **24**: 58 – 66.
- Krinsky NI. 1971 IX Function, aus: *Carotenoids* (ed. O. Isler), Birkhäuser Verlag Basel Stuttgart, 669 – 716.
- Rowan KS. 1989 Photosynthetic pigments of algae, Cambridge University Press.
- Sandgren CD (ed.). 1988 Growth and Reproductive Strategies of Freshwater Phytoplankton, Cambridge University Press.
- Stemann-Nielsen E. 1952 The use of radio-active carbon (^{14}C) for measuring organic production in the sea, *J. Cons. Int. Explor. Mer* **18**, 117 – 140.
- Tevini M, Häder D-P. 1985 Allgemeine Photobiologie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- Thomas EA, Märki E. 1949 Der heutige Zustand des Zürichsees, *Mitt. Int. Ver. Limnol.* **10**, 476 – 488.
- Utermöhl H. 1958 Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik, *Mitt. Internat. Verein. Limnol.* **9**: 1 – 38.
- Walsby AE, Avery A, Schanz F. 1998 The critical pressures of gas vesicles in *Planktothrix rubescens* in relation to the depth of winter mixing in Lake Zürich, Switzerland, *Journal of Plankton Research* **20** (7): 1357 – 1375.

- Zimmermann U. 1969 Ökologische und physiologische Untersuchungen an der planktischen Blaualge *Oscillatoria rubescens* D.C. unter besonderer Berücksichtigung von Licht und Temperatur, *Ph.D.Thesis, ETH Zürich*.
- Zimmermann U. 1976 Periodizität der häufigsten Phytoplankter im Zürichsee, *AWBR Jahresbericht 1976* **8**: 118 - 151.
- Zimmermann U, Cao K. 1997 Einfluss einer Vorozonung von Seewasser auf die Verkeimung des Schnellfiltrats, *AWBR Jahresbericht 1996* **28**: 105 - 113.
- Züllig H. 1985 Pigmente phototropher Bakterien in Seesedimenten und ihre Bedeutung für die Seenforschung (mit Ergebnissen aus dem Lago Cadagno, Rotsee und Lobsigensee), *Schweiz. Z. Hydrol.* **47** (2): 87 – 126.
- Züllig H. 1989 Role of carotenoids in lake sediments for reconstructing trophic history during the late Quaternary, *Journal of Paleolimnology* **2** (1): 23 – 40.

Dank

Die Autoren danken Professor P.Rüedi vom Organischen Institut der Universität Zürich für seine Unterstützung bei der Entwicklung der HPLC-Methode; Professor Pfander vom Organischen Institut der Universität Bern für die Beschaffung der Standardsubstanzen; den Mitgliedern der IAWR-Biologengruppe für die Probenahmen; Dr. W.Jülich (IAWR) für die Initiierung und Betreuung dieses Berichtes. Wir danken in der Wasserversorgung Zürich Dr. S.Gammeter für ihre kritischen Anmerkungen und vielen Anregungen; S.Dunst für seine Mitarbeit bei der Methodenentwicklung; den MitarbeiterInnen des Labors für die Analysen und vor allem Dr. H.-P. Klein für seine stete Unterstützung und Ermutigung, dass wir diese Arbeit durchführen konnten.

7 Anhang: Resultate der IAWR-Messkampagne

Bodensee / Obersee

Einheit µg/L

St.Gallen

Stelle		Chlorophylle				Carotinoide	Pigmente
		a	b	c	total	total	total
1a Au/Lustenau 620	11.08.97	--	0.078	--	0.078	0.226	0.304
	20.08.97	--	0.107	--	0.107	0.418	0.525
	29.09.97	1.726	0.096	--	1.822	1.460	3.282
	14.10.97	2.594	0.244	--	2.838	2.178	5.016
	12.11.97	0.517	--	--	0.517	0.649	1.166
	08.12.97	1.119	0.129	--	1.248	0.607	1.855
	Mittel	0.993	0.109	0	1.102	0.923	2.025
1b Frasnacht 510 0m	11.08.97	3.036	0.454	0.724	4.214	2.263	6.477
	01.09.97	3.560	0.157	1.065	4.782	2.462	7.243
	29.09.97	3.023	0.149	0.467	3.639	1.405	5.044
	03.11.97	4.204	0.223	0.968	5.395	1.714	7.109
	01.12.97	3.299	0.348	0.654	4.301	1.300	5.601
	Mittel	3.424	0.266	0.775	4.466	1.829	6.295
1c Frasnacht 526 60m	11.08.97	--	--	--	--	--	--
	01.09.97	--	--	--	--	0.260	0.260
	29.09.97	--	--	--	--	--	--
	03.11.97	--	--	--	--	0.155	0.155
	01.12.97	--	--	--	--	0.095	0.095
	Mittel	0	0	0	0	0.102	0.102

Carotinoide

	Blualgen		Grünalgen					Chrysophyta		Pyrrophyta		Cryptophyta	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1a													
11.08.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.226	--	--	--	--
20.08.97	--	--	--	--	--	--	0.029	--	0.389	--	--	--	--
29.09.97	--	--	--	--	--	--	0.100	--	1.106	--	0.254	--	--
14.10.97	--	--	--	--	--	--	0.164	--	1.714	--	0.300	--	--
12.11.97	--	--	--	--	--	--	0.021	--	0.628	--	--	--	--
08.12.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.528	--	0.079	--	--
Mittel	0	0	0	0	0	0	0.052	0	0.765	0	0.106	0	0
1b													
11.08.97	--	--	--	0.325	--	0.447	0.092	--	0.690	--	0.209	0.169	0.331
01.09.97	--	--	--	0.271	--	--	--	--	1.129	0.149	0.340	0.366	0.207
29.09.97	--	--	--	0.282	--	--	0.090	--	0.841	--	--	--	0.192
03.11.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.627	--	0.182	0.317	0.588
01.12.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.428	--	0.090	--	0.782
Mittel	0	0	0	0.176	0	0.089	0.036	0	0.743	0.030	0.164	0.170	0.420
1c													
11.08.97	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
01.09.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.260	--	--	--	--
29.09.97	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
03.11.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.155	--	--	--	--
01.12.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.095	--	--	--	--
Mittel	0	0	0	0	0	0	0	0	0.102	0	0	0	0

Carotinoide

farbig = Indikator-Carotinoide

A	Myxoxanthophyll	H	Neoxanthin
B	Oscillaxanthin / Aphanizophyll	I	Fucoxanthin
C	Canthaxanthin	J	Cis-Fucoxanthin
D	Zeaxanthin	K	Diadinoxanthin
E	β-Carotin	L	Peridinin
F	Lutein	M	Alloxanthin
G	Violaxanthin		

Anhang Tabelle A1 St.Gallen Teil 1

Bodensee / Obersee

Einheit µg/L

St.Gallen

Stelle		Chlorophylle				Carotinoide	Pigmente
		a	b	c	total	total	total
1d Riet 540 0m	11.08.97	4.247	0.566	0.998	5.811	2.728	8.539
	01.09.97	8.090	0.522	3.201	11.813	6.680	18.493
	29.09.97	4.679	0.254	0.994	5.927	2.058	7.985
	03.11.97	5.632	0.225	1.339	7.196	2.795	9.991
	01.12.97	3.703	0.335	0.941	4.979	1.742	6.721
	Mittel	5.270	0.380	1.495	7.145	3.200	10.346
1e Riet 544 40m	11.08.97	1.150	0.086	--	1.236	0.505	1.741
	01.09.97	1.239	--	--	1.239	0.547	1.786
	29.09.97	0.926	--	--	0.926	0.165	1.091
	03.11.97	0.669	--	--	0.669	0.244	0.913
	01.12.97	1.115	0.077	0.205	1.397	0.630	2.027
	Mittel	1.020	0.033	0.041	1.093	0.418	1.512
1f Riet 548 80m	11.08.97	--	--	--	--	0.170	0.170
	01.09.97	--	--	--	--	0.220	0.220
	29.09.97	--	--	--	--	0.157	0.157
	03.11.97	--	--	--	--	0.144	0.144
	01.12.97	--	--	--	--	0.120	0.120
	Mittel	0	0	0	0	0.162	0.162

Carotinoide

	Blaualggen				Grünalggen				Chrysochyta		Cryptophyta		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1d													
11.08.97	--	--	--	0.315	--	0.534	0.098	--	0.645	--	0.243	0.281	0.612
01.09.97	--	--	--	0.271	--	0.476	0.110	--	0.672	--	1.489	2.341	0.355
29.09.97	--	--	--	--	--	--	0.137	--	0.875	--	0.186	0.341	0.519
03.11.97	--	--	--	0.204	--	--	0.031	0.024	0.773	0.032	0.230	0.347	1.154
01.12.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.472	--	0.089	0.052	1.129
Mittel	0	0	0	0	0	0	0.075	0	0.687	0	0.447	1	1
1e													
11.08.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.358	--	--	--	0.147
01.09.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.447	--	--	--	0.100
29.09.97	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0.063	0.102
03.11.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.211	--	0.033	--	--
01.12.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.316	--	0.075	0.098	0.141
Mittel	0	0	0	0	0	0	0	0	0.266	0	0.022	0.032	0.098
1f													
11.08.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.170	--	--	--	--
01.09.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.220	--	--	--	--
29.09.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.157	--	--	--	--
03.11.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.144	--	--	--	--
01.12.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.120	--	--	--	--
Mittel	0	0	0	0	0	0	0	0	0.162	0	0	0	0

Carotinoide

farbig = Indikator-Carotinoide

A Myxoxanthophyll	H Neoxanthin
B Oscillaxanthin / Aphanizophyll	I Fucoxanthin
C Canthaxanthin	J Cis-Fucoxanthin
D Zeaxanthin	K Diadinoxanthin
E β-Carotin	L Peridinin
F Lutein	M Alloxanthin
G Violaxanthin	

Bodensee / Obersee

BWV Sipplingen

Einheit µg/L

Stelle	a	Chlorophylle			total	total	Pigmente	
		b	c					total
2a Obersee 0-20m	21.07.97	2.018	0.088	0.271	2.377	0.811	3.188	
	18.08.97	2.833	0.125	0.836	3.794	1.204	4.998	
	29.09.97	2.228	0.072	0.682	2.983	0.905	3.888	
	27.10.97	2.772	0.098	0.860	3.730	1.227	4.957	
	10.11.97	1.788	0.074	0.558	2.420	0.684	3.104	
	08.12.97	1.234	0.072	0.185	1.490	0.427	1.917	
	19.01.98	0.570	--	--	0.570	0.183	0.753	
	09.02.98	0.679	--	0.117	0.796	0.176	0.972	
	02.03.98	2.372	--	0.530	2.902	0.713	3.615	
	30.03.98	1.227	0.081	0.297	1.604	0.376	1.980	
	27.04.98	2.631	0.195	0.402	3.227	0.879	4.106	
	25.05.98	1.254	--	0.344	1.597	0.671	2.268	
	29.06.98	3.930	0.107	0.749	4.785	1.427	6.212	
	20.07.98	3.471	0.178	0.475	4.124	1.305	5.429	
	17.08.98	3.821	0.155	0.760	4.737	1.585	6.322	
	12.10.98	1.042	0.045	0.131	1.218	0.273	1.491	
	16.11.98	1.299	0.079	0.381	1.758	0.355	2.112	
	07.12.98	0.660	0.041	0.116	0.817	0.182	1.000	
	Mittel	1.990	0.078	0.427	2.496	0.743	3.240	

Carotinoide

2a	Blaualgae			Grünalgen				Chrysochyta		Cryptophyta			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
21.07.97	--	--	--	--	--	0.138	--	--	0.421	0.022	0.053	0.028	0.149
18.08.97	--	--	--	0.086	--	--	0.027	--	0.703	0.032	0.121	0.055	0.180
29.09.97	--	--	--	--	--	--	0.028	--	0.364	--	0.097	0.187	0.228
27.10.97	--	--	--	--	--	0.113	0.019	0.016	0.335	0.039	0.132	0.276	0.298
10.11.97	--	--	--	--	--	--	0.007	0.006	0.176	--	0.064	0.113	0.317
08.12.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.147	--	0.034	0.035	0.211
19.01.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.130	--	--	--	0.052
09.02.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.118	--	--	--	0.058
02.03.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.470	0.035	0.055	--	0.154
30.03.98	--	--	--	--	--	--	0.018	--	0.127	--	--	--	0.231
27.04.98	--	--	--	0.090	--	0.147	0.029	0.019	0.300	0.023	0.054	0.027	0.189
25.05.98	--	--	--	0.125	--	--	--	--	0.292	--	0.050	--	0.203
29.06.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.869	0.037	0.194	0.132	0.195
20.07.98	--	--	--	0.119	--	0.147	0.104	0.008	0.525	0.022	0.089	0.099	0.191
17.08.98	--	--	--	0.140	--	0.158	0.059	--	0.483	--	0.153	0.152	0.440
12.10.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.127	--	--	0.032	0.114
16.11.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.166	--	--	--	0.189
07.12.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.098	--	--	--	0.084
Mittel	0	0	0	0.031	0	0.039	0.016	0.003	0.325	0.012	0.061	0.063	0.194

Carotinoide

farbig = Indikator-Carotinoide

A Myxoxanthophyll	H Neoxanthin
B Oscillaxanthin / Aphanizophyll	I Fucoxanthin
C Canthaxanthin	J Cis-Fucoxanthin
D Zeaxanthin	K Diadinoxanthin
E β-Carotin	L Peridinin
F Lutein	M Alloxanthin
G Violaxanthin	

Bodensee / Obersee

BWV Sipplingen

Einheit µg/L

Stelle		Chlorophylle				Carotinoide	Pigmente	
		a	b	c	total	total	total	
2b Obersee 40m	21.07.97	0.104	--	--	0.104	0.129	0.233	
	18.08.97	0.136	--	0.063	0.199	0.132	0.331	
	29.09.97	0.166	--	0.041	0.207	0.177	0.384	
	27.10.97	0.423	--	0.020	0.443	0.227	0.670	
	10.11.97	0.493	--	0.042	0.535	0.222	0.757	
	08.12.97	1.159	0.075	0.174	1.408	0.386	1.794	
	19.01.98	0.398	--	--	0.398	0.083	0.481	
	09.02.98	--	--	--	--	0.163	0.163	
	02.03.98	1.321	--	0.295	1.616	0.435	2.051	
	30.03.98	0.648	--	0.135	0.783	0.190	0.973	
	27.04.98	0.642	0.035	--	0.677	0.164	0.841	
	25.05.98	0.103	--	--	0.103	0.103	0.206	
	29.06.98	1.202	--	0.115	1.317	0.423	1.740	
	20.07.98	0.642	0.060	--	0.701	0.146	0.847	
	17.08.98	0.548	--	--	0.548	0.182	0.730	
	12.10.98	0.340	--	--	0.340	0.152	0.492	
	16.11.98	--	--	--	--	0.084	0.084	
	07.12.98	0.485	0.034	0.154	0.673	0.156	0.830	
		Mittel	0.489	0.011	0.058	0.558	0.197	0.756

Carotinoide

2b	Blaualgae				Grünalgen				Chrysochyta		Cryptophyta		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
21.07.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.081	--	--	--	0.048
18.08.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.076	--	--	--	0.056
29.09.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.063	--	0.019	0.023	0.071
27.10.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.159	--	0.026	0.016	0.026
10.11.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.120	--	0.026	0.032	0.044
08.12.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.137	--	0.029	0.039	0.180
19.01.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.083	--	--	--	--
09.02.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.116	--	--	--	0.047
02.03.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.320	0.020	0.015	--	0.080
30.03.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.107	--	--	--	0.083
27.04.98	--	--	--	0.069	--	--	--	--	0.095	--	--	--	--
25.05.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.069	--	--	--	0.034
29.06.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.315	--	0.053	--	0.055
20.07.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.083	--	--	--	0.063
17.08.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.074	--	--	--	0.108
12.10.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.102	--	--	--	0.051
16.11.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.084	--	--	--	--
07.12.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.080	--	--	--	0.077
	Mittel	0	0	0	0.004	0	0	0	0.120	0.001	0.009	0.006	0.057

Carotinoide

farbig = Indikator-Carotinoide

A Myxoxanthophyll	H Neoxanthin
B Oscillaxanthin / Aphanizophyll	I Fucoxanthin
C Canthaxanthin	J Cis-Fucoxanthin
D Zeaxanthin	K Diadinoxanthin
E β-Carotin	L Peridinin
F Lutein	M Alloxanthin
G Violaxanthin	

Bodensee / Überlingersee

BWV Sipplingen

Einheit µg/L

Stelle		Chlorophylle				Carotinoide	Pigmente	
		a	b	c	total	total	total	
2c	Überlingersee 0-20m	21.07.97	2.194	0.091	0.489	2.774	0.906	3.681
		18.08.97	3.147	0.141	0.706	3.994	1.496	5.490
		29.09.97	2.083	0.075	0.651	2.808	0.941	3.750
		27.10.97	3.834	0.134	1.155	5.123	1.966	7.089
		10.11.97	3.055	0.152	0.805	4.012	1.602	5.613
		08.12.97	1.041	0.060	0.166	1.267	0.436	1.703
		19.01.98	0.995	--	0.191	1.187	0.221	1.408
		09.02.98	1.974	--	0.450	2.425	0.620	3.045
		02.03.98	2.126	--	0.437	2.564	0.679	3.243
		30.03.98	5.196	0.303	1.082	6.580	1.412	7.992
		27.04.98	6.668	0.204	1.509	8.380	1.836	10.216
		25.05.98	0.672	--	0.180	0.853	0.312	1.165
		29.06.98	4.596	0.110	0.813	5.519	1.796	7.314
		20.07.98	3.887	0.211	0.420	4.517	1.362	5.879
		17.08.98	2.905	0.099	1.129	4.134	1.844	5.978
		12.10.98	1.895	0.110	0.354	2.359	0.539	2.898
		16.11.98	1.177	0.088	0.333	1.597	0.366	1.963
		07.12.98	0.551	--	0.093	0.644	0.146	0.790
		Mittel	2.667	0.099	0.609	3.374	1.027	4.401

Carotinoide

2c	Blualgen		Grünalgen				Chrysophyta			Cryptophyta			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
21.07.97	--	--	--	0.069	--	--	0.037	--	0.423	0.030	0.067	0.022	0.259
18.08.97	--	--	0.024	0.092	--	0.136	0.024	--	0.798	0.041	0.145	0.067	0.170
29.09.97	--	--	--	0.084	--	--	0.044	--	0.290	0.013	0.086	0.192	0.233
27.10.97	--	--	--	0.075	--	0.129	0.044	0.010	0.378	--	0.175	0.470	0.413
10.11.97	--	--	--	0.078	--	0.139	0.033	0.007	0.258	--	0.154	0.337	0.367
08.12.97	--	--	--	0.066	--	--	--	--	0.155	--	0.034	0.043	0.138
19.01.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.122	--	--	--	0.099
09.02.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.403	0.031	0.047	--	0.139
02.03.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.443	0.032	0.057	--	0.147
30.03.98	--	--	--	0.102	--	0.192	0.044	--	0.248	0.041	0.044	0.027	0.714
27.04.98	--	--	--	0.109	--	0.162	0.045	--	0.804	0.063	0.111	--	0.540
25.05.98	--	--	--	--	--	--	0.009	--	0.158	--	--	--	0.145
29.06.98	--	--	--	0.079	--	--	0.040	--	1.133	0.078	0.192	0.060	0.214
20.07.98	--	--	--	0.082	--	0.156	0.113	--	0.593	0.027	0.107	0.077	0.207
17.08.98	--	--	--	0.131	--	0.156	0.048	--	0.482	--	0.259	0.217	0.552
12.10.98	--	--	--	--	--	--	0.029	--	0.225	--	0.026	--	0.260
16.11.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.175	--	--	--	0.191
07.12.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.084	--	--	--	0.063
Mittel	0	0	0.001	0.054	0	0.059	0.028	0.001	0.398	0.020	0.084	0.084	0.269

Carotinoide

farbig = Indikator-Carotinoide

A Myxoxanthophyll	H Neoxanthin
B Oscillaxanthin / Aphanizophyll	I Fucoxanthin
C Canthaxanthin	J Cis-Fucoxanthin
D Zeaxanthin	K Diadinoxanthin
E β-Carotin	L Peridinin
F Lutein	M Alloxanthin
G Violaxanthin	

Anhang Tabelle A5 Sipplingen Teil 3

Bodensee / Überlingersee

BWV Sipplingen

Einheit µg/L

Stelle		Chlorophylle				Carotinoide	Pigmente
		a	b	c	total	total	total
2d Überlingersee 60m	21.07.97	--	--	--	--	0.090	0.090
	18.08.97	--	--	--	--	0.071	0.071
	29.09.97	--	--	--	--	0.059	0.059
	27.10.97	0.404	--	0.024	0.428	0.131	0.559
	10.11.97	0.520	--	0.049	0.569	0.229	0.798
	08.12.97	0.396	--	--	0.396	0.144	0.541
	19.01.98	--	--	--	--	0.077	0.077
	09.02.98	1.065	--	0.230	1.295	0.329	1.624
	02.03.98	1.275	--	0.168	1.443	0.328	1.771
	30.03.98	0.052	--	--	0.052	0.073	0.125
	27.04.98	1.086	--	--	1.086	0.300	1.386
	25.05.98	0.116	--	--	0.116	--	0.116
	29.06.98	0.530	--	--	0.530	0.130	0.661
	20.07.98	0.393	--	--	0.393	0.102	0.495
	17.08.98	0.228	--	--	0.228	0.098	0.326
	12.10.98	0.037	--	--	0.037	0.091	0.128
	16.11.98	--	--	--	--	--	--
	07.12.98	--	--	--	--	--	--
	Mittel	0.339	0	0.026	0.365	0.125	0.490

Carotinoide

2d	Blaualgen				Grünalgen				Chrysophyta		Cryptophyta		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
21.07.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.090	--	--	--	--
18.08.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.071	--	--	--	--
29.09.97	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0.026	0.033
27.10.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.086	--	--	0.018	0.027
10.11.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.124	--	0.025	0.024	0.031
08.12.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.068	--	0.024	0.052	--
19.01.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.077	--	--	--	--
09.02.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.249	0.015	--	--	0.065
02.03.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.247	--	0.029	--	0.052
30.03.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.073	--	--	--	--
27.04.98	--	--	--	0.078	--	--	--	--	0.200	--	0.022	--	--
25.05.98	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
29.06.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.130	--	--	--	--
20.07.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.102	--	--	--	--
17.08.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.063	--	--	--	0.035
12.10.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.091	--	--	--	--
16.11.98	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
07.12.98	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Mittel	0	0	0	0.004	0	0	0	0.093	0.001	0.006	0.007	0.014

Carotinoide

farbig = Indikator-Carotinoide

A Myxoxanthophyll	H Neoxanthin
B Oscillaxanthin / Aphanizophyll	I Fucoxanthin
C Canthaxanthin	J Cis-Fucoxanthin
D Zeaxanthin	K Diadinoxanthin
E β-Carotin	L Peridinin
F Lutein	M Alloxanthin
G Violaxanthin	

Walensee

Murg

Einheit µg/L

Stelle	a	Chlorophylle			total	Carotinoide	total	Pigmente	total
		b	c						
3a Murg 0 - 20m	21.07.97	2.074	0.017	0.091	2.182	1.055	3.237		
	18.08.97	2.438	0.017	0.286	2.742	1.378	4.120		
	22.09.97	2.879	0.037	0.282	3.198	1.226	4.425		
	22.10.97	2.589	0.007	0.388	2.983	1.195	4.178		
	17.11.97	2.047	--	0.193	2.239	0.901	3.140		
	15.12.97	1.970	--	0.313	2.283	0.952	3.235		
	19.01.98	1.751	--	0.314	2.065	0.918	2.983		
	16.02.98	1.177	--	0.149	1.326	0.867	2.194		
	16.03.98	0.739	--	0.150	0.889	0.518	1.406		
	27.04.98	0.821	--	0.129	0.949	0.764	1.714		
	25.05.98	0.922	--	0.131	1.053	0.593	1.646		
	22.06.98	0.931	0.033	0.085	1.049	0.654	1.703		
	20.07.98	3.199	0.003	0.370	3.572	1.176	4.748		
	17.08.98	5.051	0.013	0.719	5.783	1.903	7.686		
	21.09.98	0.957	0.003	0.245	1.204	0.854	2.058		
	19.10.98	2.129	--	0.392	2.521	0.907	3.428		
	16.11.98	1.508	--	0.305	1.813	0.628	2.441		
	21.12.98	0.911	--	0.168	1.079	0.418	1.496		
	Mittel	1.894	0.007	0.262	2.163	0.939	3.102		

Carotinoide

3a	Blualgen		Grünalgen					Chrysophyta		Pyrrophyta		Cryptophyta	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
21.07.97	--	--	--	0.063	--	0.048	0.021	--	0.509	0.018	0.212	0.021	0.162
18.08.97	--	--	--	0.090	--	--	0.045	--	0.752	0.048	0.285	0.021	0.137
22.09.97	--	--	--	0.037	--	--	0.037	--	0.813	0.066	0.170	0.042	0.061
22.10.97	--	--	--	0.057	--	--	0.026	--	0.738	0.050	0.189	0.074	0.062
17.11.97	--	--	--	0.049	--	--	0.021	--	0.570	0.026	0.144	0.024	0.067
15.12.97	--	--	--	--	--	--	0.003	--	0.665	0.044	0.167	0.018	0.056
19.01.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.639	0.035	0.158	0.007	0.078
16.02.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.411	0.013	0.249	0.034	0.161
16.03.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.321	--	0.102	0.003	0.092
27.04.98	--	--	--	0.104	--	--	0.037	--	0.443	--	0.124	0.020	0.038
25.05.98	--	--	--	0.084	--	--	0.043	--	0.253	--	0.070	0.026	0.117
22.06.98	--	--	--	0.097	--	0.056	0.056	--	0.278	--	0.076	0.009	0.083
20.07.98	--	--	--	0.080	--	--	0.118	--	0.641	0.019	0.138	0.043	0.138
17.08.98	--	--	--	0.132	--	--	0.172	--	1.103	0.090	0.204	0.038	0.165
21.09.98	--	--	--	0.055	--	--	0.027	--	0.426	0.012	0.154	0.065	0.113
19.10.98	--	--	--	0.054	--	--	0.029	--	0.471	0.007	0.133	0.133	0.080
16.11.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.362	--	0.088	0.079	0.098
21.12.98	--	--	--	--	--	--	0.001	--	0.243	--	0.055	0.016	0.103
Mittel	0	0	0	0.050	0	0.006	0.035	0	0.535	0.024	0.151	0.037	0.101

Carotinoide

farbig = Indikator-Carotinoide

A Myxoxanthophyll	H Neoxanthin
B Oscillaxanthin / Aphanizophyll	I Fucoxanthin
C Canthaxanthin	J Cis-Fucoxanthin
D Zeaxanthin	K Diadinoxanthin
E β-Carotin	L Peridinin
F Lutein	M Alloxanthin
G Violaxanthin	

Zürich-Obersee

Einheit µg/L

Lachen

Stelle	a	Chlorophylle			total	total	Carotinoide		total
		b	c						
3b Lachen 0 - 20m	07.07.97	8.148	0.063	1.414	9.625	4.704		14.328	
	04.08.97	4.700	0.031	0.586	5.317	2.459		7.776	
	01.09.97	2.686	0.049	0.344	3.078	1.435		4.514	
	06.10.97	3.771	0.100	0.456	4.327	1.092		5.419	
	03.11.97	6.422	0.087	1.233	7.742	2.620		10.362	
	01.12.97	3.211	0.026	0.650	3.887	1.583		5.470	
	05.01.98	1.144	0.027	0.233	1.404	0.736		2.140	
	02.02.98	2.349	0.158	0.041	2.548	1.074		3.623	
	02.03.98	4.624	0.240	0.903	5.767	3.156		8.922	
	06.04.98	2.330	0.114	0.424	2.868	1.605		4.473	
	04.05.98	1.942	0.046	0.286	2.275	1.132		3.406	
	08.06.98	7.598	0.067	1.711	9.376	4.790		14.165	
	06.07.98	5.348	0.075	1.257	6.681	3.208		9.889	
	03.08.98	2.761	0.036	0.392	3.189	1.358		4.547	
	07.09.98	3.347	0.042	0.590	3.979	1.750		5.729	
	05.10.98	2.983	0.053	0.339	3.374	1.132		4.506	
	02.11.98	2.031	0.069	0.391	2.490	0.886		3.376	
	07.12.98	1.558	0.064	0.323	1.945	0.558		2.504	
	Mittel	3.720	0.075	0.643	4.437	1.960		6.397	

Carotinoide

3b	Blaualgen			Grünalgen					Chrysophyta		Cryptophyta		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
07.07.97	--	--	--	0.114	0.035	0.201	0.058	0.010	2.665	0.181	1.047	0.031	0.330
04.08.97	--	--	--	0.065	0.026	0.044	0.064	--	1.373	0.082	0.373	0.006	0.425
01.09.97	--	--	--	0.097	0.027	0.095	0.069	0.002	0.650	0.049	0.134	0.009	0.304
06.10.97	--	--	--	--	--	--	0.035	--	0.744	0.104	0.065	0.005	0.140
03.11.97	--	--	--	0.014	--	0.056	0.012	--	1.645	0.183	0.234	--	0.476
01.12.97	--	--	--	--	--	--	0.003	--	1.056	0.083	0.167	--	0.275
05.01.98	--	--	--	--	--	0	--	--	0.306	--	0.045	--	0.227
02.02.98	--	--	--	--	--	0.158	0.036	0.023	0.565	0.027	0.106	--	0.159
02.03.98	--	--	0.013	0.093	--	0.270	0.165	0.030	1.868	0.014	0.437	--	0.265
06.04.98	--	--	--	0.092	--	0.192	0.081	0.026	0.713	0.016	0.190	--	0.293
04.05.98	--	--	--	0.095	--	0.110	0.088	0.005	0.534	0.020	0.103	--	0.178
08.06.98	--	--	--	0.098	0.042	0.152	0.142	0.008	2.885	0.120	1.040	0.009	0.290
06.07.98	--	--	--	0.079	--	0.106	0.152	0.005	1.933	0.102	0.534	0.035	0.263
03.08.98	--	--	0.004	0.129	--	0.067	0.045	0.004	0.583	0.027	0.173	0.045	0.276
07.09.98	--	--	--	0.068	--	0.058	0.086	0	0.662	0.038	0.211	0.141	0.393
05.10.98	--	--	--	0.007	--	--	0.034	0.004	0.638	0.043	0.125	0.025	0.256
02.11.98	--	--	--	--	--	0.098	0.011	--	0.479	0.013	0.078	--	0.208
07.12.98	--	--	--	--	--	--	0.001	--	0.330	--	0.033	--	0.194
Mittel	0	0	0.001	0.053	0.007	0.098	0.060	0.007	1.091	0.061	0.283	0.017	0.275

Carotinoide

farbig = Indikator-Carotinoide

A Myxoxanthophyll	H Neoxanthin
B Oscillaxanthin / Aphanizophyll	I Fucoxanthin
C Canthaxanthin	J Cis-Fucoxanthin
D Zeaxanthin	K Diadinoxanthin
E β-Carotin	L Peridinin
F Lutein	M Alloxanthin
G Violaxanthin	

Zürichsee

Thalwil

Einheit µg/L

Stelle		Chlorophylle				Carotinoide	Pigmente	
		a	b	c	total	total	total	
3c Thalwil 0 - 20m	09.07.97	9.956	0.183	1.012	11.152	3.646	14.798	
	06.08.97	10.102	--	1.186	11.288	4.074	15.362	
	03.09.97	8.860	--	0.531	9.391	2.618	12.009	
	08.10.97	11.036	0.017	0.243	11.296	1.520	12.815	
	05.11.97	20.084	--	0.210	20.294	3.879	24.173	
	03.12.97	11.135	--	0.159	11.293	1.879	13.172	
	07.01.98	6.040	--	0.022	6.062	0.878	6.940	
	04.02.98	4.620	--	0.021	4.640	0.966	5.606	
	04.03.98	5.731	0.036	0.332	6.098	1.919	8.017	
	08.04.98	5.635	0.161	0.545	6.341	1.976	8.317	
	06.05.98	5.642	0.052	0.249	5.942	1.765	7.707	
	10.06.98	9.950	0.117	0.562	10.629	4.298	14.927	
	08.07.98	10.494	0.072	1.015	11.581	4.181	15.762	
	05.08.98	11.712	0.135	0.489	12.336	2.408	14.744	
	09.09.98	9.848	0.095	0.301	10.243	2.039	12.282	
	07.10.98	11.695	0.069	0.806	12.570	2.714	15.285	
	04.11.98	14.841	0.035	0.170	15.046	1.992	17.038	
	09.12.98	8.433	--	0.135	8.568	1.492	10.060	
		Mittel	9.767	0.054	0.444	10.265	2.458	12.723

Carotinoide

3c	Blaualggen		Grünalggen					Chrysophyta		Pyrrophyta		Cryptophyta	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
09.07.97	0.177	0.027	0.013	0.238	0.073	0.197	0.125	0.026	1.524	0.135	0.544	0.014	0.546
06.08.97	0.089	--	0.020	0.197	0.049	0.284	0.154	0.062	1.946	0.172	0.646	0.051	0.402
03.09.97	0.382	0.128	0.041	0.356	0.134	0.200	0.032	0.015	0.405	--	0.233	0.196	0.496
08.10.97	0.248	0.094	0.015	0.277	0.061	0.127	0.021	--	0.209	--	0.119	0.132	0.217
05.11.97	1.145	0.401	0.088	0.807	0.214	0.125	0.009	--	0.529	--	0.127	0.068	0.367
03.12.97	0.551	0.211	0.058	0.382	0.117	--	--	--	0.305	0.007	0.064	--	0.185
07.01.98	0.210	0.042	0.037	0.192	0.063	--	--	--	0.165	--	0.044	--	0.125
04.02.98	0.162	0.081	0.019	0.166	0.062	--	--	--	0.268	--	0.074	--	0.134
04.03.98	0.386	0.131	0.005	0.245	0.094	0.015	--	--	0.558	0.043	0.138	--	0.303
08.04.98	0.313	0.046	--	0.237	0.091	0.154	0.020	0.009	0.566	0.023	0.177	--	0.340
06.05.98	0.364	0.114	0.028	0.284	0.058	0.121	0.018	--	0.318	--	0.092	0.005	0.363
10.06.98	0.533	0.192	0.035	0.324	0.111	0.142	0.081	0.017	1.628	0.085	0.844	0.008	0.297
08.07.98	0.529	0.219	0.013	0.315	0.057	0.092	0.106	0.005	1.626	0.089	0.617	0.070	0.352
05.08.98	0.572	0.274	0.035	0.344	0.027	0.004	0.019	0.000	0.374	0.004	0.144	0.082	0.529
09.09.98	0.300	0.110	0.067	0.392	0.039	0.138	0.055	0.011	0.310	0.009	0.123	0.051	0.433
07.10.98	0.588	0.202	0.072	0.503	0.086	0.025	0.011	--	0.733	0.062	0.172	0.002	0.258
04.11.98	0.606	0.199	0.102	0.568	0.078	--	--	--	0.118	--	0.015	--	0.306
09.12.98	0.500	0.188	0.055	0.358	0.049	--	--	--	0.126	--	0.045	--	0.171
	Mittel	0.425	0.148	0.039	0.343	0.081	0.090	0.036	0.650	0.035	0.234	0.038	0.324

Carotinoide

farbig = Indikator-Carotinoide

A Myxoxanthophyll	H Neoxanthin
B Oscillaxanthin / Aphanizophyll	I Fucoxanthin
C Canthaxanthin	J Cis-Fucoxanthin
D Zeaxanthin	K Diadinoxanthin
E β-Carotin	L Peridinin
F Lutein	M Alloxanthin
G Violaxanthin	

Anhang Tabelle A9 Zürichsee Thalwil

Bielersee

Einheit µg/L

Biel

Stelle		Chlorophylle				Carotinoide	Pigmente
		a	b	c	total	total	total
4a Mischprobe 0 - 20m	15.09.97	1.045	0.054	0.327	1.426	0.205	1.631
	15.10.97	0.634	--	0.156	0.790	0.143	0.933
	18.11.97	1.348	--	0.695	2.043	0.344	2.387
	09.12.97	0.870	--	0.245	1.114	0.164	1.279
	20.01.98	0.747	--	0.170	0.917	0.120	1.036
	17.02.98	0.977	--	0.438	1.414	0.192	1.607
	24.03.98	0.853	0.084	0.035	0.971	0.201	1.172
	21.04.98	2.216	0.111	0.487	2.814	0.400	3.214
	16.06.98	3.735	0.711	0.753	5.199	1.013	6.212
	15.07.98	2.878	0.228	0.311	3.417	0.726	4.142
	11.08.98	1.178	0.040	0.153	1.370	0.316	1.686
	22.09.98	1.215	0.052	0.342	1.609	0.440	2.049
	Mittel	1.475	0.107	0.342	1.924	0.355	2.279
	4b Rohwasser SWW Biel	15.09.97	--	--	--	--	0.051
15.10.97		--	--	--	--	0.062	0.062
18.11.97		--	--	--	--	0.056	0.056
09.12.97		0.558	--	--	0.558	0.159	0.717
20.01.98		0.439	--	--	0.439	0.129	0.568
17.02.98		0.813	--	--	0.813	0.192	1.004
24.03.98		0.694	0.045	--	0.739	0.155	0.893
21.04.98		0.133	--	--	0.133	0.082	0.215
16.06.98		0.615	0.103	--	0.717	0.240	0.958
15.07.98		0.632	0.046	--	0.677	0.116	0.793
11.08.98		0.275	--	--	0.275	--	0.275
22.09.98		--	--	--	--	0.069	0.069
Mittel		0.347	0.016	0	0.363	0.109	0.472

Carotinoide

	Blaualgae				Grünalgen				Chrysochyta		Cryptophyta		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
4a													
15.09.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.159	--	--	--	0.046
15.10.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.116	--	--	--	0.027
18.11.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.263	0.018	--	--	0.063
09.12.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.119	--	--	--	0.045
20.01.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.100	--	--	--	0.020
17.02.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.141	--	--	--	0.051
24.03.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.147	--	--	--	0.054
21.04.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.224	--	0.022	--	0.154
16.06.98	--	--	--	0.067	--	0.175	0.060	0.018	0.536	--	0.058	--	0.100
15.07.98	0.020	--	--	0.113	--	0.135	0.035	--	0.281	--	0.038	0.030	0.073
11.08.98	--	--	--	0.062	--	--	0.021	--	0.181	--	--	0.017	0.035
22.09.98	--	--	--	--	--	--	0.019	--	0.302	--	0.025	--	0.094
Mittel	0.002	0	0	0.020	0	0.026	0.011	0.002	0.214	0.001	0.012	0.004	0.064
4b													
15.09.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.051	--	--	--	--
15.10.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.062	--	--	--	--
18.11.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.056	--	--	--	--
09.12.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.148	--	0.011	--	--
20.01.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.129	--	--	--	--
17.02.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.192	--	--	--	--
24.03.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.144	0.011	--	--	--
21.04.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.082	--	--	--	--
16.06.98	--	--	--	--	--	0.101	--	--	0.139	--	--	--	--
15.07.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.081	--	--	--	0.035
11.08.98	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
22.09.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.069	--	--	--	--
Mittel	0	0	0	0	0	0.008	0	0	0.096	0.001	0.001	0	0.003

Carotinoide

farbig = Indikator-Carotinoide

A Myxoxanthophyll	H Neoxanthin
B Oscillaxanthin / Aphanizophyll	I Fucoxanthin
C Canthaxanthin	J Cis-Fucoxanthin
D Zeaxanthin	K Diadinoxanthin
E β-Carotin	L Peridinin
F Lutein	M Alloxanthin
G Violaxanthin	

Anhang Tabelle A10 Biel

Rhein

Karlsruhe

Einheit µg/L

Stelle	a	Chlorophylle			total	Carotinoide	total	Pigmente	total
		b	c						
5 Maxau	11.06.97	--	--	--	--	0.142	0.142	--	--
	21.07.97	--	--	--	--	--	--	--	--
	20.08.97	0.368	0.023	--	0.391	0.125	0.516	--	--
	29.09.97	--	--	--	--	0.102	0.102	--	--
	14.10.97	0.381	--	--	0.381	0.259	0.640	--	--
	12.11.97	0.282	--	--	0.282	0.103	0.386	--	--
	08.12.97	0.168	--	--	0.168	0.063	0.231	--	--
	12.01.98	--	0.019	--	0.019	0.134	0.153	--	--
	09.02.98	0.422	0.018	0.019	0.459	0.204	0.663	--	--
	03.03.98	0.457	0.011	0.114	0.581	0.399	0.980	--	--
	01.04.98	0.624	0.019	0.241	0.885	0.479	1.364	--	--
	27.04.98	1.101	0.037	0.181	1.319	0.509	1.828	--	--
	27.05.98	--	--	--	--	0.177	0.177	--	--
	29.06.98	0.346	0.042	--	0.388	0.124	0.511	--	--
	21.07.98	0.438	0.037	--	0.475	0.147	0.622	--	--
	18.08.98	0.445	0.056	0.020	0.520	0.173	0.693	--	--
	14.09.98	0.477	0.092	--	0.569	0.240	0.809	--	--
	13.10.98	--	0.019	--	0.019	0.071	0.090	--	--
	16.11.98	--	0.112	--	0.112	0.207	0.319	--	--
	08.12.98	0.582	0.032	--	0.615	0.131	0.746	--	--
Mittel	0.305	0.026	0.029	0.359	0.189	0.549			

Carotinoide

x	Blualgen				Grünalgen				Chrysophyta			Cryptophyta	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
11.06.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.142	--	--	--	--
21.07.97	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
20.08.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.105	--	--	--	0.020
29.09.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.102	--	--	--	--
14.10.97	--	--	--	--	--	0.132	--	--	0.098	--	--	--	0.029
12.11.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.084	--	--	--	0.020
08.12.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.059	--	0.004	--	--
12.01.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.134	--	--	--	--
09.02.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.168	--	0.018	--	0.019
03.03.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.286	0.046	0.035	--	0.032
01.04.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.375	0.040	0.040	--	0.024
27.04.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.433	0.037	0.039	--	--
27.05.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.177	--	--	--	--
29.06.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.104	--	--	--	0.020
21.07.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.121	--	--	--	0.027
18.08.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.144	--	--	--	0.029
14.09.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.172	0.036	--	--	0.033
13.10.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.071	--	--	--	--
16.11.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.155	0.052	--	--	--
08.12.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.098	--	--	--	0.034
Mittel	0	0	0	0	0	0.007	0	0	0.151	0.011	0.007	0	0.014

Carotinoide

farbig = Indikator-Carotinoide

A Myxoxanthophyll	H Neoxanthin
B Oscillaxanthin / Aphanizophyll	I Fucoxanthin
C Canthaxanthin	J Cis-Fucoxanthin
D Zeaxanthin	K Diadinoxanthin
E β-Carotin	L Peridinin
F Lutein	M Alloxanthin
G Violaxanthin	

Anhang Tabelle A11 Rhein bei Karlsruhe (Maxau)

Main

Frankfurt

Einheit µg/L

Stelle		Chlorophylle				Carotinoide	Pigmente	
		a	b	c	total	total	total	
6	Mainova	29.09.97	1.360	0.096	0.156	1.613	0.501	2.114
		14.10.97	1.384	0.102	--	1.486	0.437	1.923
		12.11.97	1.355	0.195	0.121	1.671	0.561	2.232
		08.12.97	0.669	0.051	--	0.720	0.195	0.915
		07.01.98	0.982	0.085	--	1.067	0.254	1.321
		09.02.98	4.134	0.284	0.511	4.929	1.637	6.566
		03.03.98	10.445	0.984	1.639	13.068	4.509	17.577
		28.04.98	35.990	1.705	7.064	44.758	13.073	57.832
		27.05.98	4.500	0.337	--	4.837	1.854	6.691
		29.06.98	2.202	0.344	--	2.546	0.832	3.378
		20.07.98	2.895	0.502	--	3.396	0.478	3.874
		20.08.98	2.787	0.417	--	3.204	0.433	3.636
		14.09.98	1.407	0.203	--	1.609	0.318	1.927
		14.10.98	--	0.110	--	0.110	--	0.110
		16.11.98	--	0.049	--	0.049	--	0.049
		08.12.98	--	0.051	--	0.051	0.255	0.306
		Mittel	4.382	0.345	0.593	5.320	1.584	6.903

Carotinoide

6	Blaualgae				Grünalgen			Chrysochyta			Cryptophyta		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
29.09.97	--	--	--	0.081	--	--	0.020	--	0.302	--	0.042	--	0.057
14.10.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.352	--	--	--	0.085
12.11.97	--	--	--	--	--	0.262	0.027	--	0.156	--	--	--	0.116
08.12.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.140	--	--	--	0.055
07.01.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.254	--	--	--	--
09.02.98	--	--	--	--	--	0.286	--	--	1.062	0.091	0.129	--	0.069
03.03.98	--	--	--	--	--	0.580	0.230	0.057	2.970	0.126	0.326	--	0.220
28.04.98	--	--	--	--	--	0.623	--	0.073	9.866	0.800	1.297	--	0.413
27.05.98	--	--	--	--	--	--	0.086	--	1.393	0.064	0.146	--	0.165
29.06.98	--	--	--	--	--	0.461	0.069	--	0.302	--	--	--	--
20.07.98	--	--	--	--	--	--	0.055	0.025	0.398	--	--	--	--
20.08.98	--	--	--	--	--	--	0.052	0.020	0.266	--	--	--	0.095
14.09.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.318	--	--	--	--
14.10.98	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
16.11.98	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
08.12.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.255	--	--	--	--
Mittel	0	0	0	0.005	0	0.138	0.034	0.011	1.127	0.068	0.121	0.000	0.080

Carotinoide

farbig = Indikator-Carotinoide

A Myxoxanthophyll	H Neoxanthin
B Oscillaxanthin / Aphanizophyll	I Fucoxanthin
C Canthaxanthin	J Cis-Fucoxanthin
D Zeaxanthin	K Diadinoxanthin
E β-Carotin	L Peridinin
F Lutein	M Alloxanthin
G Violaxanthin	

Anhang Tabelle A12 Main bei Frankfurt (Mainova)

Rhein

Mainfahne

Einheit µg/L

Stelle	a	Chlorophylle			total	Carotinoide	total	Pigmente	total
		b	c						
7a Mainfahne	14.07.97	0.875	0.121	--	0.996	0.308	1.304		
	20.08.97	4.160	0.220	0.489	4.869	1.403	6.272		
	15.09.97	1.427	0.252	--	1.679	0.579	2.258		
	25.09.97	0.862	0.117	--	0.979	0.447	1.426		
	14.10.97	0.915	0.069	--	0.984	0.702	1.686		
	25.11.97	0.418	0.026	--	0.445	0.204	0.649		
	09.12.97	0.480	0.040	--	0.520	0.283	0.803		
	08.01.98?	1.165	0.150	--	1.315	0.699	2.014		
	02.02.98	2.154	0.184	--	2.338	0.838	3.177		
	04.03.98	3.664	0.432	0.633	4.729	1.678	6.407		
	02.04.98	19.195	1.195	3.455	23.845	5.793	29.638		
	28.04.98	21.396	0.949	4.662	27.007	9.682	36.689		
	26.05.98	2.342	0.179	--	2.521	1.553	4.075		
	30.06.98	0.914	0.088	--	1.002	0.261	1.263		
	30.11.98	0.875	0.205	0.079	1.159	0.422	1.581		
	08.12.98	0.504	0.095	--	0.599	0.204	0.803		
	Mittel	3.834	0.270	0.582	4.687	1.566	6.253		

Carotinoide

7a	Blaualgae			Grünalgae				Chrysochyta			Pyrrophyta		Cryptophyta	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
14.07.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.308	--	--	--	--	
20.08.97	--	--	--	--	--	0.248	0.039	--	0.905	0.039	0.173	--	--	
15.09.97	--	--	--	--	--	0.247	0.028	--	0.259	0.046	--	--	--	
25.09.97	--	--	--	--	--	0.161	0.019	--	0.198	--	0.027	--	0.043	
14.10.97	--	--	--	--	--	0.251	--	--	0.343	--	0.046	--	0.063	
25.11.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.145	--	--	--	0.059	
09.12.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.187	--	0.029	0.017	0.050	
08.01.98?	--	--	--	--	--	0.357	--	--	0.342	--	--	--	--	
02.02.98	--	--	--	--	--	0.252	--	--	0.458	--	0.066	--	0.062	
04.03.98	--	--	--	0.144	--	--	--	--	0.994	0.206	0.164	--	0.171	
02.04.98	--	--	--	0.203	--	--	--	0.035	4.170	--	0.795	0.154	0.436	
28.04.98	--	--	--	--	--	0.305	--	--	6.523	1.400	1.145	--	0.309	
26.05.98	--	--	--	--	--	--	--	--	1.111	0.257	0.112	--	0.074	
30.06.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.213	--	0.027	--	0.022	
30.11.98	--	--	--	--	--	0.180	--	--	0.216	--	0.026	--	--	
08.12.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.204	--	--	--	--	
Mittel	0	0	0	0.022	0	0.125	0.005	0.002	1.036	0.122	0.163	0.011	0.081	

Carotinoide

farbig = Indikator-Carotinoide

A Myxoxanthophyll	H Neoxanthin
B Oscillaxanthin / Aphanizophyll	I Fucoxanthin
C Canthaxanthin	J Cis-Fucoxanthin
D Zeaxanthin	K Diadinoxanthin
E β-Carotin	L Peridinin
F Lutein	M Alloxanthin
G Violaxanthin	

Anhang Tabelle A13 Rhein bei Mainz Teil 1 (Mainfahne)

Rhein

Mainz

Einheit µg/L

Stelle	a	Chlorophylle			total	Carotinoide	total	Pigmente	total
		b	c						
7b Rhein	14.07.97	0.521	0.049	--	0.570	0.218	0.788		
	20.08.97	2.313	0.228	--	2.540	0.534	3.074		
	15.09.97	0.851	0.073	--	0.924	0.276	1.200		
	25.09.97	1.114	0.164	--	1.278	0.787	2.064		
	14.10.97	0.403	0.028	--	0.431	0.130	0.561		
	25.11.97	0.370	--	--	0.370	0.199	0.569		
	09.12.97	0.395	0.044	--	0.439	0.196	0.635		
	08.01.98?	--	0.093	--	0.093	0.191	0.284		
	02.02.98	0.540	0.036	0.114	0.690	0.231	0.921		
	04.03.98	1.587	0.087	0.060	1.733	0.638	2.371		
	02.04.98	5.364	0.153	1.043	6.559	1.686	8.245		
	28.04.98	1.679	0.054	0.305	2.037	0.706	2.743		
	26.05.98	0.856	0.031	--	0.887	0.321	1.207		
	30.06.98	0.808	0.082	0.109	0.998	0.171	1.169		
	30.11.98	0.644	--	0.085	0.729	0.120	0.849		
	08.12.98	0.481	0.040	0.060	0.581	0.115	0.696		
	Mittel	1.120	0.072	0.111	1.304	0.407	1.711		

Carotinoide

7b	Blaualgae				Grünalgen				Chrysochyta			Cryptophyta	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
14.07.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.159	--	--	--	0.059
20.08.97	--	--	--	0.093	--	--	0.031	--	0.327	--	0.044	--	0.039
15.09.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.218	--	--	--	0.058
25.09.97	--	--	--	--	--	0.248	0.039	0.014	0.307	--	0.052	0.039	0.089
14.10.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.130	--	--	--	--
25.11.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.131	--	--	0.025	0.044
09.12.97	--	--	--	--	--	--	0.016	--	0.117	--	--	0.023	0.040
08.01.98?	--	--	--	--	--	--	--	--	0.191	--	--	--	--
02.02.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.207	--	0.024	--	--
04.03.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.490	--	0.057	0.038	0.053
02.04.98	--	--	--	--	--	--	--	--	1.343	0.135	0.156	0.052	--
28.04.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.455	0.134	0.055	--	0.061
26.05.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.262	--	0.029	--	0.030
30.06.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.139	--	--	--	0.032
30.11.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.120	--	--	--	--
08.12.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.092	--	--	--	0.023
Mittel	0	0	0	0.006	0	0.015	0.005	0.001	0.293	0.017	0.026	0.011	0.033

Carotinoide

farbig = Indikator-Carotinoide

A Myxoxanthophyll	H Neoxanthin
B Oscillaxanthin / Aphanizophyll	I Fucoxanthin
C Canthaxanthin	J Cis-Fucoxanthin
D Zeaxanthin	K Diadinoxanthin
E β-Carotin	L Peridinin
F Lutein	M Alloxanthin
G Violaxanthin	

Anhang Tabelle A14 Rhein bei Mainz Teil 2 (Rhein)

Rhein

Köln

Einheit µg/L

Stelle	a	Chlorophylle			total	Carotinoide	total	Pigmente	total
		b	c						
8 Köln	21.07.97	2.059	0.170	--	2.229	0.886	3.115		
	11.08.97	2.609	0.183	0.228	3.020	1.208	4.228		
	08.09.97	1.173	0.095	--	1.268	0.403	1.671		
	12.10.97	1.225	0.085	--	1.310	0.358	1.667		
	14.11.97	1.342	0.108	--	1.450	0.422	1.872		
	08.12.97	0.537	--	--	0.537	0.131	0.669		
	Mittel	1.491	0.107	0.038	1.636	0.568	2.204		

Carotinoide

8	Blaualgae				Grünalgae				Chrysophyta		Pyrrophyta		Cryptophyta	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
21.07.97	--	--	--	--	--	0.313	--	--	0.394	--	0.061	--	0.118	
11.08.97	--	--	--	--	--	0.228	--	--	0.690	0.089	0.107	--	0.086	
08.09.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.287	--	0.039	--	0.077	
12.10.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.343	--	--	--	--	
14.11.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.401	--	--	--	--	
08.12.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.125	--	--	--	--	
Mittel	0	0	0	0	0	0.090	0	0	0.373	0.015	0	0	0.047	

Carotinoide

farbig = Indikator-Carotinoide

A Myxoxanthophyll	H Neoxanthin
B Oscillaxanthin / Aphanizophyll	I Fucoxanthin
C Canthaxanthin	J Cis-Fucoxanthin
D Zeaxanthin	K Diadinoxanthin
E β-Carotin	L Peridinin
F Lutein	M Alloxanthin
G Violaxanthin	

Rhein

Lobith

Einheit µg/L

Stelle	a	Chlorophylle			total	total	Pigmente	
		b	c				total	
9 Lobith	08.09.97	2.238	0.216	--	2.454	0.844	3.297	
	06.10.97	1.930	0.217	--	2.146	0.849	2.995	
	03.11.97	1.251	0.080	--	1.330	0.318	1.648	
	01.12.97	1.215	--	--	1.215	0.335	1.550	
	28.01.98	1.076	0.096	--	1.172	0.282	1.454	
	25.02.98	2.286	0.163	--	2.449	0.834	3.283	
	25.03.98	0.872	--	--	0.893	0.372	1.265	
	22.04.98	2.024	0.078	--	2.102	0.760	2.862	
	18.05.98	2.841	0.104	--	2.945	2.107	5.053	
	17.06.98	0.708	0.071	--	0.779	0.258	1.037	
	15.07.98	1.365	0.079	--	1.443	0.358	1.801	
	12.08.98	3.680	0.154	--	3.834	1.050	4.884	
	09.09.98	0.876	0.080	--	0.956	0.251	1.207	
	04.11.98	--	0.231	--	0.231	0.425	0.656	
	29.12.98	--	--	--	--	0.285	0.285	
	Mittel	1.491	0.104	0	1.597	0.622	2.218	

Carotinoide

9	Blualgen				Grünalgen				Chrysophyta			Cryptophyta	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
08.09.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.517	--	--	--	0.121
06.10.97	--	--	--	--	--	0.382	--	--	0.398	--	--	--	0.069
03.11.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.318	--	--	--	--
01.12.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.335	--	--	--	--
28.01.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.282	--	--	--	--
25.02.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.718	0.101	--	--	--
25.03.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.333	0.040	--	--	--
22.04.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.654	0.065	0.042	--	--
18.05.98	--	--	--	--	--	--	--	--	1.735	0.260	0.054	--	0.059
17.06.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.258	--	--	--	--
15.07.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.358	--	--	--	--
12.08.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.930	0.097	--	--	--
09.09.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.251	--	--	--	--
04.11.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.425	--	--	--	--
29.12.98	--	--	--	--	--	--	--	--	0.285	--	--	--	--
Mittel	0	0	0	0	0	0.025	0	0	0.520	0.037	0.006	0	0.017

Carotinoide

farbig = Indikator-Carotinoide

A Myxoxanthophyll	H Neoxanthin
B Oscillaxanthin / Aphanizophyll	I Fucoxanthin
C Canthaxanthin	J Cis-Fucoxanthin
D Zeaxanthin	K Diadinoxanthin
E β-Carotin	L Peridinin
F Lutein	M Alloxanthin
G Violaxanthin	

Rhein

Nieuwegein

Einheit µg/L

Stelle		Chlorophylle				Carotinoide	Pigmente
		a	b	c	total	total	total
10 Hagestein	08.09.97	1.215	0.096	--	1.311	0.428	1.739
	06.10.97	1.252	0.082	--	1.334	0.353	1.686
	03.11.97	1.371	--	--	1.412	0.367	1.779
	01.12.97	0.929	--	--	0.929	0.320	1.249
	Mittel	1.192	0.045	0	1.246	0.367	1.613

Carotinoide

	Blaualgae				Grünalgen				Chrysophyta		Pyrrophyta		Cryptophyta	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
10														
08.09.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.196	--	--	--	0.232	
06.10.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.191	--	--	--	0.162	
03.11.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.206	--	--	--	0.162	
01.12.97	--	--	--	--	--	--	--	--	0.211	--	--	--	0.109	
Mittel	0	0	0	0	0	0	0	0	0.201	0	0	0	0.166	

Carotinoide

farbig = Indikator-Carotinoide

A Myxoxanthophyll	H Neoxanthin
B Oscillaxanthin / Aphanizophyll	I Fucoxanthin
C Canthaxanthin	J Cis-Fucoxanthin
D Zeaxanthin	K Diadinoxanthin
E β-Carotin	L Peridinin
F Lutein	M Alloxanthin
G Violaxanthin	

IJsselmeer

Andijk

Einheit µg/L

Stelle	a	Chlorophylle			total	Carotinoide	total	Pigmente	total
		b	c						
11 IJsselmeer	20.05.97	14.092	1.479	1.777	17.348	5.112	22.460		
	09.06.97	30.646	4.872	3.012	38.530	10.040	48.570		
	07.07.97	54.586	7.123	2.679	64.387	13.346	77.733		
	04.08.97	152.021	6.591	2.865	161.477	32.233	193.710		
	01.09.97	27.578	1.594	0.463	29.634	5.759	35.393		
	06.10.97	46.504	2.462	--	48.966	10.467	59.432		
	29.10.97	38.304	3.012	--	41.316	8.534	49.850		
	10.11.97	38.674	3.357	1.761	43.791	11.552	55.344		
	07.12.97	44.025	2.011	2.851	48.887	14.357	63.244		
	09.02.98	104.951	--	12.269	117.220	30.681	147.901		
	03.03.98	68.204	--	13.018	81.222	18.194	99.415		
	01.04.98	10.542	1.165	1.207	12.915	2.758	15.673		
	27.04.98	31.639	3.159	4.213	39.011	7.742	46.753		
	29.06.98	62.973	5.754	7.643	76.370	13.318	89.688		
	27.07.98	63.644	7.184	3.235	74.062	8.499	82.561		
	21.09.98	44.551	4.033	1.685	50.269	4.404	54.673		
	02.11.98	11.009	1.552	0.831	13.391	2.053	15.444		
	30.11.98	15.252	2.538	0.994	18.785	2.399	21.184		
	Mittel	47.733	3.216	3.361	54.310	11.191	65.502		

Carotinoide

11	Blaualgen				Grünalgen				Chrysophyta		Pyrophyta		Cryptophyta	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
20.05.97	--	--	0.160	0.626	--	1.189	0.150	--	0.681	--	0.143	--	2.163	
09.06.97	--	--	0.220	0.826	0.280	2.666	0.503	0.282	1.815	0.090	0.476	--	2.883	
07.07.97	0.175	0.495	0.341	1.760	0.465	3.325	0.695	0.540	2.651	--	0.796	--	2.103	
04.08.97	3.344	7.803	2.287	3.414	2.230	3.646	0.941	0.836	3.243	--	1.236	--	3.252	
01.09.97	0.414	0.284	0.256	1.216	0.441	1.321	0.107	0.108	0.826	--	0.193	--	0.593	
06.10.97	0.871	0.210	0.300	1.960	0.581	2.272	0.370	0.266	1.719	--	0.892	--	1.027	
29.10.97	0.723	1.005	0.501	1.122	--	2.068	0.319	0.140	1.511	--	0.270	--	0.874	
10.11.97	0.474	0.236	0.299	1.121	0.394	2.523	0.473	0.284	3.819	--	1.237	--	0.693	
07.12.97	--	--	--	--	--	1.999	0.411	0.400	8.089	0.992	2.064	--	0.402	
09.02.98	--	--	--	--	--	--	--	--	22.246	3.437	4.998	--	--	
03.03.98	--	--	--	--	--	0.975	--	--	12.122	1.376	3.721	--	--	
01.04.98	--	--	--	--	--	0.567	0.131	--	1.590	--	0.324	--	0.148	
27.04.98	--	--	--	0.369	--	1.106	0.455	0.171	4.036	--	1.029	--	0.578	
29.06.98	--	--	0.408	1.134	--	2.294	0.731	0.261	6.336	0.541	1.029	--	0.584	
27.07.98	--	--	0.421	1.432	--	2.661	0.538	0.274	2.768	--	--	--	0.405	
21.09.98	--	--	0.343	0.601	0.241	1.395	0.286	0.131	0.951	--	--	--	0.456	
02.11.98	--	--	0.149	--	--	1.053	0.151	--	0.701	--	--	--	--	
30.11.98	--	--	--	--	--	1.252	0.220	0.082	0.845	--	--	--	--	
Mittel	0.333	0.557	0.316	0.866	0.257	1.795	0.360	0.210	4.219	0.358	1.023	--	0.898	

Carotinoide

farbig = Indikator-Carotinoide

A Myxoxanthophyll	H Neoxanthin
B Oscillaxanthin / Aphanizophyll	I Fucoxanthin
C Canthaxanthin	J Cis-Fucoxanthin
D Zeaxanthin	K Diadinoxanthin
E β-Carotin	L Peridinin
F Lutein	M Alloxanthin
G Violaxanthin	

Anhang Tabelle A18 IJsselmeer

Impressum

Herausgeber IAWR
Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet
Umschlag und Druck B.V. Drukkerij De Eendracht, Schiedam

Postfach 402
NL-3430 AK Nieuwegein

www.iawr.org