



universität  
wien

# DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Zeitlich und räumlich hochaufgelöste Tagesgänge des  
Phytoplanktons in einem trüben Flachsee am Beispiel des  
Neusiedler Sees

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Verfasser: Johann Michael Nesweda

Studienrichtung (lt. Studien-  
blatt): A – 444 Diplomstudium Ökologie (Stzw) UniStG

Betreuer: Univ.-Prof. Dr. Martin Dokulil

Wien, am 10.04.2010

## Inhaltsverzeichnis

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Einleitung.....                                                               | 6  |
| 2. Untersuchungsgebiet.....                                                      | 8  |
| 3. Material und Methoden.....                                                    | 11 |
| 3.1 Probenentnahme .....                                                         | 11 |
| 3.1.1 Horizontalschöpfer .....                                                   | 11 |
| 3.1.2 Spritzen Sampler nach Nesweda .....                                        | 12 |
| 3.2 Chemisch-physikalische Parameter .....                                       | 13 |
| 3.2.1 Trübe als NTU in situ und Extinktion bei 430 nm im Labor .....             | 13 |
| 3.2.2 Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR).....                               | 14 |
| 3.2.3 Schwebstoffe .....                                                         | 14 |
| 3.2.4 Nährelement Phosphor .....                                                 | 15 |
| 3.3 Wetterdaten und Pegelstände.....                                             | 15 |
| 3.4 Biotische Parameter .....                                                    | 16 |
| 3.4.1 Chlorophyll-a .....                                                        | 16 |
| 3.4.2 Phytoplanktonzählungen (Utermöhl 1958) .....                               | 16 |
| 3.4.3 Bestimmung von Biovolumen und Biomasse .....                               | 17 |
| 3.4.4 Bestimmung von aktivem Chlorophyll-a mittels verzögerter Fluoreszenz.....  | 18 |
| 3.4.5 Bestimmung der Phytoplankton-Gruppen mittels verzögerter Fluoreszenz ..... | 19 |
| 4. Ergebnisse .....                                                              | 21 |
| 4.1 Abiotische Parameter.....                                                    | 21 |
| 4.1.1 Wassertemperatur, pH-Wert, gelöster Sauerstoff, Leitfähigkeit.....         | 21 |
| 4.1.2 Trübe (NTU) und Extinktion bei 430 nm.....                                 | 26 |
| 4.1.3 Schwebstoffe .....                                                         | 29 |
| 4.1.4 Phosphor.....                                                              | 30 |
| 4.1.5 Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) integrativ .....                   | 30 |
| 4.1.6 Qualitatives Lichtspektrum und Albedo .....                                | 31 |
| 4.2 Wetterdaten und Pegelstände.....                                             | 33 |
| 4.2.1 Wind.....                                                                  | 33 |
| 4.2.2 Pegel und Niederschläge .....                                              | 36 |
| 4.3 Biotische Parameter .....                                                    | 37 |
| 4.3.1 Chlorophyll-a .....                                                        | 37 |
| 4.3.2 Phytoplankton.....                                                         | 38 |

|       |                                                                            |    |
|-------|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3.3 | Biovolumen .....                                                           | 42 |
| 4.3.4 | Vertikalverteilung des Biovolumens .....                                   | 45 |
| 4.3.5 | Biomasse .....                                                             | 47 |
| 4.3.6 | Vertikalverteilung von aktivem Chlorophyll-a .....                         | 56 |
| 4.3.7 | Bestimmung der Phytoplankton-Gruppen mittels verzögerter Fluoreszenz ..... | 59 |
| 4.4   | Statistische Auswertung .....                                              | 63 |
| 5.    | Diskussion.....                                                            | 76 |
| 6.    | Zusammenfassung.....                                                       | 83 |
| 7.    | Abstract .....                                                             | 84 |
|       | Danksagung.....                                                            | 85 |
|       | Literaturverzeichnis.....                                                  | 86 |
|       | Anhang: Lebenslauf .....                                                   | 89 |

## Verzeichnis der Tabellen

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. 1 Liste der gefundenen „Arten“ (taxonomische Einheiten) im Juli und August 2008. ... | 39 |
| Tab. 2 Phytoplankton-Zusammensetzung nach DF-Pop Mittelwerte der Gruppen-Anteile ....     | 59 |
| Tab. 3 Korrelationsmatrix der untersuchten abiotischen Parameter .....                    | 72 |
| Tab. 4 Korrelationsmatrix zwischen biotischen und abiotischen Parametern .....            | 73 |
| Tab. 5 Korrelationsmatrix der biotischen Parameter .....                                  | 74 |
| Tab. 6 Korrelationsmatrix der Phytoplankton-Zusammensetzung (DF-Pop vs. Zählraten)....    | 74 |

## Verzeichnis der Abbildungen

|                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abb. 1 Satellitenbild des Neusiedler Sees.....                                                                                                                                      | 8  |
| Abb. 2 Satellitenbild des Untersuchungsgebietes in der Stationsbucht .....                                                                                                          | 11 |
| Abb. 3 Horizontalschöpfer .....                                                                                                                                                     | 11 |
| Abb. 4 Spritzen-Sampler nach Nesweda.....                                                                                                                                           | 12 |
| Abb. 5 Handling Spritzen-Sampler .....                                                                                                                                              | 12 |
| Abb. 6 DF-Kinetik-Photometer nach (Krause 1987). ....                                                                                                                               | 19 |
| Abb. 7 Zwei Beispiele von DF-Kinetik Abklingkurven .....                                                                                                                            | 19 |
| Abb. 8 DF-Anregungsspektrometer nach (Bodemer) .....                                                                                                                                | 20 |
| Abb. 9 Beispiel eines Anregungsspektrum (Dokulil) .....                                                                                                                             | 20 |
| Abb. 10 Zusammenstellung der Werte von Wassertemperatur, Licht (PAR), pH-Wert, Sauerstoffsättigung und spezifischer Leitfähigkeit im Untersuchungszeitraum 11.07.08 – 15.07.08..... | 22 |
| Abb. 11 Zusammenstellung der Werte von Pegel, Windgeschwindigkeit, Trübe, Schwebstoffe und Phosphor im Untersuchungszeitraum 11.07.08 – 15.07.08.....                               | 23 |
| Abb. 12 Zusammenstellung der Werte von Wassertemperatur, Licht (PAR), pH-Wert, Sauerstoffsättigung und spezifischer Leitfähigkeit im Untersuchungszeitraum 12.08.08 – 14.08.08..... | 24 |
| Abb. 13 Zusammenstellung der Werte von Pegel, Windgeschwindigkeit, Trübe, Schwebstoffe und Phosphor im Untersuchungszeitraum 12.08.08 – 14.08.08.....                               | 25 |
| Abb. 14 Vertikalverteilung der Extinktionswerte im Zeitraum vom 11.07.08 – 15.07.08. ....                                                                                           | 27 |
| Abb. 15 Vertikalverteilung der Extinktionswerte im Zeitraum vom 12.08.08 – 14.08.08. ....                                                                                           | 28 |
| Abb. 16 Schwebstoffe im Zeitraum vom 11.07 – 15.07.08 .....                                                                                                                         | 29 |
| Abb. 17 Schwebstoffe im Zeitraum vom 12.08 – 14.08.08 .....                                                                                                                         | 29 |

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abb. 18 Beispiele zweier Tagesgänge im Juli der photosynthetisch aktiven Strahlung.....          | 30 |
| Abb. 19 Spektrum der Überwasser-Strahlung (12.08.08 13:00) mit Albedo.....                       | 31 |
| Abb. 20 Zeitliche Veränderung des qualitativen Lichtspektrums, über und unter Wasser.....        | 32 |
| Abb. 21 Windgeschwindigkeit und Windrichtung (Windcharts) im Juli und August. ....               | 34 |
| Abb. 22 Mittlere Windgeschwindigkeit im Untersuchungszeitraum Juli und August; .....             | 35 |
| Abb. 23 Niederschlag in der Stationsbucht zwischen 11.07. – 15. 07.08.....                       | 36 |
| Abb. 24 Chlorophyll-a Werte (gesamt) vom 11.07. – 15.07.08.....                                  | 37 |
| Abb. 25 Chlorophyll-a Werte (gesamt) vom 12.08. – 14.08.08.....                                  | 37 |
| Abb. 26 Gegenüberstellung von Zellzahl und Biovolumen (11.07.08 - 15.07.08) .....                | 40 |
| Abb. 27 Gegenüberstellung von Zellzahl und Biovolumen (12.08.08 - 14.08.08) .....                | 41 |
| Abb. 28 Prozentuelle Zusammensetzung des Biovolumens vom 11.07. - 15.07.08 .....                 | 42 |
| Abb. 29 Prozentuelle Zusammensetzung des Biovolumens vom 12.08. - 14.08.08 .....                 | 43 |
| Abb. 30 Gesamt-Biovolumen + Phytoplankton-Gruppen vom 11.07. – 15.07.08.....                     | 44 |
| Abb. 31 Gesamt-Biovolumen + Phytoplankton-Gruppen vom 12.08. – 14.08.08.....                     | 45 |
| Abb. 32 Vertikalprofile der Biovolumina (11.07. 7 Uhr) .....                                     | 46 |
| Abb. 33 Vertikalprofile der Biovolumina (13.07. 13 Uhr) .....                                    | 46 |
| Abb. 34 Vertikalprofile der Biovolumina (15.07. 19 Uhr) .....                                    | 47 |
| Abb. 35 Tiefenverteilung von aktivem Chlorophyll-a (11.07. – 15.07.08) .....                     | 57 |
| Abb. 36 Tiefenverteilung von aktivem Chlorophyll-a (12.08. – 14.08.08) .....                     | 58 |
| Abb. 37 Chlorophyll-a Äquivalente der DF Pop-Analyse vom 11.07 -14.07.08.....                    | 60 |
| Abb. 38 Chlorophyll-a Äquivalente der DF Pop-Analyse vom 12.07 -14.07.08.....                    | 61 |
| Abb. 39 Zusammensetzung des Phytoplanktons (%) nach DF POP 11. – 14.07.08.....                   | 62 |
| Abb. 40 Zusammensetzung des Phytoplanktons (%) nach DF POP 12. – 14.08.08.....                   | 62 |
| Abb. 41 Box-Whisker-Plots: Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Pegel, Trübe (NTU) .....           | 65 |
| Abb. 42 Box-Whisker-Plots: PAR über Wasser und unter Wasser, °C in zwei Tiefen.....              | 66 |
| Abb. 43 Box-Whisker-Plots: Leitfähigkeit in zwei Tiefen, pH Wert, O <sub>2</sub> Sättigung ..... | 68 |
| Abb. 44 Box-Whisker-Plots:Phytoplanktonzusammensetzung nach DF-POP .....                         | 69 |
| Abb. 45 Der Untersuchungsstandort bei starkem Wind aus NNW und unmittelbar danach ...            | 77 |
| Abb. 46 Verlauf des Pegels im Juli + Tagesmittel des Pegels .....                                | 78 |

## 1. Einleitung

Der Neusiedler-See stellt in Österreich eine Besonderheit dar. Als flacher Steppensee mit seiner charakteristisch hohen Trübe steht er in starkem Kontrast zu den tiefen und meist glasklaren Seen des Alpenraumes. In Österreich mag der Neusiedler See eine Ausnahme darstellen, aber weltweit gesehen sind die meisten Seen „Flachseen“. Die Kategorie der kleinen und flachen Seen stellt weltweit die höchste Anzahl an Gewässern, mindestens  $5 \times 10^6$  Seen mit einer Fläche kleiner  $1 \text{ km}^2$  (Meybeck 1995). Während frühere Schätzungen den Anteil dieser Kleinseen an der weltweiten Gesamtfläche mit lediglich 13 % beziffern und etwa 40 % auf die 19 größten Seen ( $\geq 10.000 \text{ km}^2$ ) entfallen (Meybeck 1995), gehen neuere Studien davon aus, dass die Gesamtzahl der Kleinseen bei weitem höher ist und Seen mit einer Fläche kleiner  $1 \text{ km}^2$  flächenmäßig stark dominieren (Downing 2006).

Die Definition des Begriffs „Flachsee“ gestaltet sich dennoch etwas schwieriger, ist doch die Tiefe allein kein geeignetes Kriterium für die Abgrenzung zwischen „flachen“ und „tiefen“ Gewässern. Ein geeigneteres Kriterium für die Typisierung stellt die Durchmischung dar. Zirkuliert ein Gewässer ständig und treten thermische Schichtungen nur kurzfristig auf, so kann es unabhängig von der absoluten Tiefe als „flach“ eingestuft werden (Dokulil 2001).

Unter den polymiktischen Flachseen Mitteleuropas ist der Neusiedler See sicher ein Extrembeispiel. Er gilt als westlichster Steppensee Europas. Mit einer Gesamtfläche von  $315 \text{ km}^2$ , wovon rund 48,3% auf die freie Seefläche entfallen, ist der Neusiedler See nicht nur der flächenmäßig größte See Österreichs, sondern steht in der Liste der größten Seen Europas an vierundvierzigster Stelle. Mit einer maximalen Länge von 30 km bei einer mittleren Tiefe von nur ca. 1,1 m ist die freie Wasserfläche des Sees stark windexponiert. Durch den häufigen Wind kommt es beinahe ständig zur Durchmischung der Wassersäule.

Flachseen werden sehr stark vom regionalen Klima beeinflusst und zeigen, wie im Falle des Neusiedler Sees langfristige, saisonale, wie auch kurzfristige starke Schwankungen wesentlicher abiotischer Rahmenbedingungen. In der Vergangenheit kam es durch wechselnde klimatische Bedingungen immer wieder zu starken Pegelstandschwankungen. In besonders trockenen Perioden kam es zum weitgehenden oder durchaus vollständigen Austrocknen des Sees (1740, 1773, 1811 – 1813 und 1864 - 1868) und man darf annehmen, dass es in der rund 20.000 Jahre langen Geschichte des Sees zwischen 100 – 400mal zum vollständigen Austrocknen des Sees kam (Löffler 1979). Genauso gibt es Berichte, dass die flächenmäßige Ausdehnung des Sees bei weitem größer war als heutzutage, so etwa 1786 mit rund  $500 \text{ km}^2$  (Löffler 1979).

In Anbetracht der derzeitigen globalen Erwärmung könnte es, bedingt durch höhere Temperaturen und somit einer höheren Verdunstung zu einem drastischen Absinken des Pegelstandes bis hin zum Austrocknen des Sees kommen (Formayer 2006). Was allerdings in der langen Geschichte des Sees wie zuvor erwähnt schon öfters passiert ist.

Aufgrund ihrer meist geringeren Tiefe sind Flachsseen weniger stark gegen Temperaturschwankungen gepuffert und die Wassertemperaturen folgen mit geringer Verzögerung der Lufttemperatur (Herzig & Dokulil 2001). Durch die windbedingte Durchmischung kommt es zur Resuspension feiner Sedimentpartikel, welche wiederum starken Einfluss auf das Lichtklima unter Wasser, die Verfügbarkeit von Nährstoffen (Phosphor, organische Sedimente) und die Lebensgemeinschaften des Sees im Allgemeinen haben.

Ziel dieser Arbeit ist es die kurzfristige Phytoplankton-Dynamik in Abhängigkeit vom Wettergeschehen, durch das Erstellen von zeitlich und räumlich (vertikale Verteilung) hochaufgelösten Tagesgängen wesentlicher Parameter zu erfassen und zu diskutieren.

## 2. Untersuchungsgebiet

### Der Neusiedler See

Der Neusiedler See, im Osten Österreichs, ist in vielerlei Hinsicht einzigartig. Seine Morphologie, der Chemismus, und die klimatischen Bedingungen verleihen ihm seinen einzigartigen Charakter.

### Entstehung

Der Neusiedler See entstand im Spätglazial vor rund 13.000 Jahren durch eine tektonische Einsenkung im westlichen Teil der kleinen Ungarischen Tiefebene. Die entstandene Wanne wurde von Grund- und Niederschlagswasser aufgefüllt (Löffler 1979, Herzig & Dokulil 2001).



**Abb. 1** Satellitenbild des Neusiedler Sees; gut zu erkennen sind die riesigen Flächen des umgebenden Schilfgürtels (Quelle Google<sup>tm</sup> maps)



## **Lage und Morphologische Kenndaten**

Im Westen wird der See von den Höhenzügen des Ödenburger-, des Rosalien- und Leithagebirges und des Ruster Hügellandes begrenzt. Im Norden bildet die Parndorfer Platte die natürliche Grenze, im Osten der Seewinkel, Hanság und das Ikvatal. Das Seebecken selbst hat in seiner heutigen Form eine Gesamtfläche von ca. 315 km<sup>2</sup> (36 km Länge; Breite 6 - 14 km), bei einer durchschnittlichen Wassertiefe von rund 117 cm, bildet also eine sehr seichte Wanne. Bei einer mittleren Wasserspiegellage (~115,45 m.ü.A.) fasst das Seebecken ein Volumen von ca.  $367,5 \times 10^6 \text{ m}^3$  (Herzig & Dokulil 2001).

## **Wasserhaushalt**

Das Einzugsgebiet (1.120 km<sup>2</sup>) des Sees ist nur rund 3,6mal so groß wie die Seefläche selbst und die Zuflüsse sind dementsprechend gering (~20 %). Die oberirdischen Hauptzubringer sind, die Wulka, gefolgt von Kroisbach (Rákos patak), Golser-Kanal und einigen Bächen aus den umgebenden Hügeln. Neben diesen oberirdischen Zuflüssen wird der See noch durch unterirdische Zuflüsse (~2 %) gespeist, Quellen die vermehrt im Bereich mehrerer tektonischer Bruchzonen, die parallel zur Längsachse das Seebecken durchlaufen, auftreten (Nagl 1979). In diesen Grundwasserquellen steigt salzhaltiges (v.a. Soda- u. Glaubersalz) Tiefenwasser auf. Die wesentlichste Zubringer-Komponente ist der Niederschlag (~78 %) über der Seefläche selbst. Bis 1911 war der Neusiedler See abflusslos, zwischen 1909-1911 wurde der Hanság oder Einser-Kanal errichtet, um den See trockenzulegen und landwirtschaftlich nutzbar zu machen. Heute wird die Schleuse des Einser-Kanals zur Wasserstandregulierung verwendet. Durch Ausleitung geht nur ein geringer Teil (~10 %) des Wassers verloren. Der größte Teil verdunstet (~90 %) im trocken heißen Klima der Sommermonate, begünstigt durch den ständig wehenden Wind (Herzig & Dokulil 2001).

## **Charakter**

Das Wasser des Neusiedler Sees ist durch seinen hohen Salzgehalt (ca. 1 - 2 g L<sup>-1</sup>; Natrium, Magnesium, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Sulfat, Chlorid, u.a.), vor allem Soda (Na<sup>+</sup>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), charakterisiert. Der Ursprung dieser Salze liegt mit großer Sicherheit in den marinen Sedimenten der Paratethys, die während des späten Pliozäns im Neusiedler See Gebiet abgelagert wurden (Löffler 1979). Der pH-Wert liegt im schwach alkalischen Bereich (pH 8). Das flache Seebecken ist extrem windexponiert. Durch den häufigen Wind wird praktisch ständig Feinsediment vom Gewässergrund aufgewirbelt. Die Hauptwindrichtung ist Nordwest bzw. Südost. Stürme die auf das Ostufer treffen kommen fast ausschließlich aus Nordwest (Dobesch & Neuwirth

1979). Die aus den suspendierten Sedimentpartikeln resultierende Trübe hat weitreichende Auswirkungen auf das Lichtklima (geringe Sichttiefe), die Nährstoffkreisläufe (resuspendierte Nährstoffe aus dem Sediment) und auf die Lebensgemeinschaften im See.

Typisch für den Neusiedler See ist der ausgeprägte Schilfgürtel (natürliche Monokultur v. *Phragmites australis*) der Uferregionen, welcher rund die Hälfte der Gesamtfläche des Sees bedeckt. Der Schilfgürtel stellt neben der enormen Biomasse, einen riesigen Bioreaktor dar, in dem für den See wesentliche Stoffkreisläufe stattfinden. Der Röhrichtgürtel wirkt wasserberuhigend (Sedimentfalle), anorganische Schwebstoffe sedimentieren ab, werden vom Schilf aufgenommen und schlussendlich wieder organisch verfügbar gemacht. Das beruhigte Wasser ist klar und von Huminstoffen goldgelb gefärbt und steht in starkem Kontrast zum sedimenttrüben Wasser des Sees. Durch periodische Wasserstandschwankungen (Seiches), angetrieben vom Wind, findet ein ständiger Austausch, zwischen gut durchlüftetem, sedimentbeladenem See- und nährstoffreichem, jedoch durch Abbauprozesse, sauerstoffarmen Schilfwasser statt. Dieser Austausch schafft an den Übergangszonen (Ökotone) zwischen Schilfgürtel und freier Seefläche, hoch produktive Bereiche (Herzig & Dokulil 2001).

### 3. Material und Methoden

#### 3.1 Probenentnahme

Die Probenentnahme erfolgte, im Zeitraum vom 11.07. – 15.07.08 und vom 12.08. – 14.08.08, dreimal täglich um 7:00, 13:00 und 19:00. Die Probenstelle liegt in der Bucht nahe der Biologischen Station Illmitz (Abb. 2).



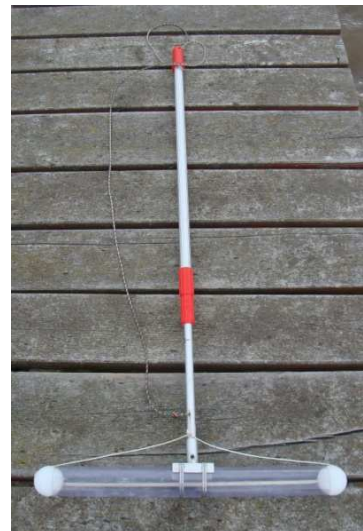
**Abb. 2** Satellitenbild des Untersuchungsgebietes in der Stationsbucht; Pfeil: Probenentnahmestelle (Quelle Google<sup>tm</sup> maps)

##### 3.1.1 Horizontalschöpfer

Um Wasserproben aus der gleichen Tiefe zu entnehmen, in der auch die übrigen Messungen durchgeführt wurden, wurde ein Horizontalschöpfer (Abb. 3) verwendet. Die Proben wurden aus einer Wassertiefe von 35 cm zur Analyse von:

- Schwebstoffen
- zur Bestimmung von  $P_{\text{tot}}$  und  $PO_4$
- zur photometrischen Bestimmung des Chlorophyll-a Gehalts
- sowie zur Bestimmung des Phytoplankton-Biovolumens

entnommen.



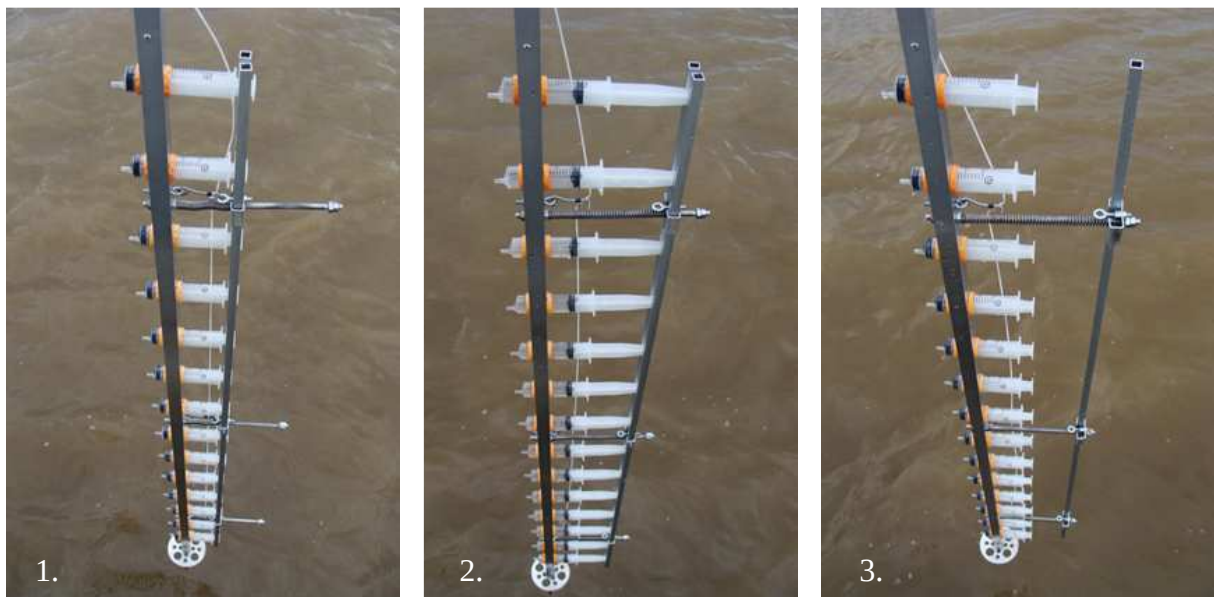
**Abb. 3** Horizontalschöpfer Foto J. Nesweda

### 3.1.2 Spritzen Sampler nach Nesweda

Um einen Einblick in die vertikale Verteilung des Phytoplanktons und der Schwebstoffe zu gewinnen wurden in 10 cm Schritten Wasserproben entnommen. Dies geschah mit einem eigens konstruierten Spritzensampler (Abb. 4).

Der Sampler besteht aus einer 1,5 m langen Aluminium-Profilleiste in der im Abstand von 10 cm Einwegspritzen, mit einem Fassungsvermögen von 25 ml, angebracht sind. Die Kolben der einzelnen Einwegspritzen sind zwischen zwei weiteren Aluminium-Profilstangen eingespannt und werden von 3 Stahlfedern nach dem Auslösen der Haltevorrichtung (Abb. 4 2.), durch kurzes ruckartiges Ziehen an der Auslöse-Schnur, gleichzeitig aufgezogen. Nach dem Entfernen einer der beiden Aluminiumstangen, zwischen denen die Kolben eingespannt sind, können die Spritzen einzeln entleert werden (Abb. 4 3.).

Das Funktionsprinzip des einfachen Federmechanismus ist im Folgenden genauer dargestellt:

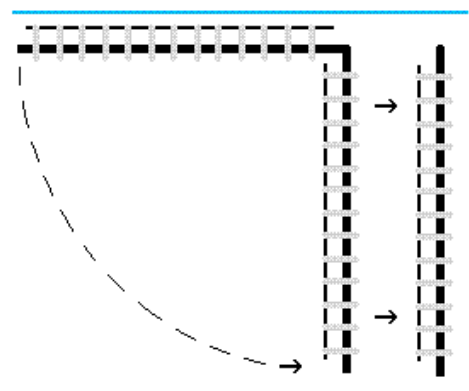


**Abb. 4** Spritzen-Sampler; 1. im gespannten Zustand, 2. mit aufgezogenen Proben, 3. nach dem Entleeren der Spritzen. Fotos J. Nesweda

#### Handling

Der gespannte Sampler wird waagrecht ins Wasser untergetaucht. Dabei entweichen störende Luftblasen, die zur Durchmischung der zu untersuchenden Wasserschichte beitragen können. Anschließend wird der Sampler durch langsames Absinken lassen des unteren Endes in eine vertikale Position gebracht und abschließend noch langsam ein Stück weit zur Seite bewegt und im Sediment

**Abb. 5** Handling Spritzen-Sampler



eingestochen (Abb. 5). Durch das Einstechen kann die Höhe der Spritzen im Wasserkörper so angepasst werden, dass sich die Öffnung der obersten Spritze knapp unter der Wasseroberfläche befindet. All das sollte möglichst vorsichtig gemacht werden um eine Durchmischung der Wassersäule weitestgehend zu vermeiden.

### 3.2 Chemisch-physikalische Parameter

Wesentliche abiotische Parameter wurden mittels 2 Sonden der Firma YSI Incorporated, Modell 6920, in situ gemessen. Die Sonden wurden dabei in zwei unterschiedlichen Wassertiefen angebracht. Eine Sonde in ca. 35 cm Wassertiefe, die zweite knapp über Boden in rund 120 cm Wassertiefe.

Die YSI-Sonden wurden so programmiert, dass die gemessenen Parameter, über den programmierten Zeitraum, in 15 minütigen Mittelwerten erhoben wurden.

Mittels YSI-Sonden gemessene Parameter:

|                |                                                                                                              |                           |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| <b>35 cm:</b>  | Wassertemperatur [°C]                                                                                        | Thermistor                |
|                | pH-Wert [-log (H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> )]                                                              | kombinierte Glaselektrode |
|                | Sauerstoffgehalt in [mg L <sup>-1</sup> ]                                                                    | gepulste Membranelektrode |
|                | Sauerstoffsättigung in [%]                                                                                   | berechnet                 |
|                | Trübe [NTU (Nephelometric Turbidity Unit)]                                                                   | 90° Streulichtmessung     |
|                | Spezifische Leitfähigkeit [ $\mu\text{S cm}^{-1}$ , 25°C]                                                    | Nickelelektrode           |
| <b>120 cm:</b> | Wassertemperatur [°C]                                                                                        | Thermistor                |
|                | Spezifische Leitfähigkeit [ $\mu\text{S cm}^{-1}$ , 25°C]                                                    | Nickelelektrode           |
|                | $\text{Spezifische Leitfähigkeit (25°C)} = \frac{\text{Leitfähigkeit}}{1 + \text{TC} \cdot (\text{T} - 25)}$ |                           |
|                | TC.....Temperaturkoeffizient (TC=0.00191)                                                                    |                           |
|                | T.....Wassertemperatur                                                                                       |                           |

#### 3.2.1 Trübe als NTU in situ und Extinktion bei 430 nm im Labor

Die Trübe wird über die Streuung des Lichtes ermittelt. Die Lichtquelle LED (830-890nm) und Photodetektor (Photodiode) sind in einem Winkel von 90° zueinander angebracht. Das an den Partikeln gestreute Licht wird von der Photodiode detektiert und in NTU (NTU = *nephelometric turbidity unit*; dimensionslose Einheit) angegeben. Die Trübe in NTU ist proportional zur Menge der suspendierten Partikel.

Als Maß für die Trübung eines Gewässers dient per Definition die Extinktion bei 430 nm. Zur Bestimmung der Trübung wurden die Proben in einem Spektralphotometer (5 cm Durchflussküvette) bei 430nm vermessen. Die Extinktion ist direkt proportional zur

Schwebstoffmenge. In 10 cm Tiefen-Schritten wurden dreimal täglich (07:00,13:00,19:00), von der Wasseroberfläche bis knapp über dem Gewässergrund in 110 cm Tiefe, Wasserproben zur Analyse entnommen.

### 3.2.2 Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR)

Die Photonenflussdichte des eingestrahnten Lichtes, genauer der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR = *photosynthetic active radiation*) 400 – 700 nm, wurde mittels integrierendem Quantenphotometer der Firma LiCor, sowohl über Wasser (~1,5 m über der Wasseroberfläche), als auch unter Wasser (in 35 cm Wassertiefe) gemessen. Die Messung erfolgte vollautomatisch und die Messwerte wurden in 15 minütigen Mittelwerten erhoben.

Zur qualitativen Messung des eingestrahnten Lichtes wurden Messungen mit dem Trios, einem scannenden Quantenphotometer (200 – 1000 nm, Schrittweite 3 nm), durchgeführt. Die Messungen erfolgten über Wasser (~1,5 m über der Wasseroberfläche) und unter Wasser (in 35 cm Wassertiefe) um 7:00, 13:00 (Sonnenhöchststand) und 19:00.

Zur Bestimmung des reflektierten bzw. abgestrahlten Lichtes (Albedo) und dessen spektraler Zusammensetzung wurde der Sensor des Quantenphotometers parallel zur Wasseroberfläche gedreht. Die Messung der Albedo erfolgte bei Sonnenhöchststand um 13:00 (Sommerzeit).

### 3.2.3 Schwebstoffe

Bestimmung der Trockenmasse und der aschefreien Trockenmasse nach (Strickland & Parsons 1972):

Ein bestimmtes Wasservolumen wird auf Glasfaserfilter, die zuvor bei 480 °C etwa 4 Stunden im Muffelofen „ausgeglüht“ und anschließend auf einer Analysewaage vorgewogen wurden, abfiltriert. Die Filter werden im Trockenschrank bei ~ 110 °C eine Stunde lang getrocknet und anschließend gewogen. Zur Bestimmung des Glühverlustes werden die Filter bei 480 °C 4 Stunden lang gemuffelt und sofort nach dem Abkühlen gewogen. Aus den ermittelten Werten, kann die Trockenmasse und die aschefreie Trockenmasse der Probe in mg L<sup>-1</sup> errechnet werden.

$$TM [mg L^{-1}] = \frac{\text{Filtergewicht}_{\text{trocken}} - \text{Filtergewicht}_{\text{leer}} [mg]}{\text{filtriertes Volumen [ml]}} * 1000$$

$$\text{aschefreie TM [mg L}^{-1}\text{]} = \frac{\text{Filtergewicht}_{\text{gemuffelt}} - \text{Filtergewicht}_{\text{leer}} [mg]}{\text{filtriertes Volumen [ml]}} * 1000$$

$$\text{Glühverlust [mg L}^{-1}\text{]} = \text{TM [mg L}^{-1}\text{]} - \text{aschefreie TM [mg L}^{-1}\text{]}$$

### **3.2.4 Nährelement Phosphor**

Die Bestimmung des gelösten Orthophosphats ( $\text{PO}_4$ ) und des Gesamtphosphors ( $\text{P}_{\text{tot}}$ ) erfolgte nach der Phosphormolybdänblau-Methode (DIN EN 1189).

#### Orthophosphat ( $\text{PO}_4$ )

Zur Entfernung des partikulären Phosphors wird die Probe über einen Glasfaserfilter (Whatman GF/F) abfiltriert. Die flitrierte Probe wird anschließend mit Molybdat-Schwefelsäure-Reagenz und Ascorbinsäure versetzt. Dabei kommt es zur Bildung von Phosphormolybdänblau. Nach 10 bis 30 min wird der Ansatz in einem Photometer (5 cm Durchflussküvette) vermessen.

#### Gesamtphosphor ( $\text{P}_{\text{tot}}$ )

Zur Bestimmung des Gesamtphosphors wird die unfiltrierte Probe mit Kaliumperoxodisulfat versetzt und in einem Dampfdruckkochtopf ca. 30 min. lang aufgeschlossen. Die anschließende Bestimmung erfolgt analog der Bestimmung von Orthophosphat (siehe oben).

### **3.3 Wetterdaten und Pegelstände**

Die Wetterdaten im Untersuchungszeitraum wurden, dankenswerterweise, von der biologischen Station in Illmitz, zur Verfügung gestellt.

Die Pegelstände werden von einer elektronischen Pegelsonde des Hydrografischen Dienstes in Eisenstadt, direkt am Ort der Untersuchungen gemessen, und wurden ebenfalls zur Verfügung gestellt.

### 3.4 Biotische Parameter

#### 3.4.1 Chlorophyll-a

Chlorophyll-a Bestimmung (Lorenzen 1967)

Ein definiertes Volumen an Probenwasser wird über Glasfaserfilter (Whatman GF/C) abfiltriert, sodass am Filter eine deutliche Färbung erkennbar ist. Die Filter werden gefaltet und in einer beschrifteten Glasphiole sofort tief gefroren. Das Einfrieren steigert den Extraktionsertrag, da die Zellwände des Phytoplanktos durch das Gefrieren aufplatzen. Zur Extraktion der Photosynthesepigmente werden die Filter in Epruvetten mit 10 ml 90 % analysereinem Aceton versetzt und im Ultraschallbad 30 min lang homogenisiert. Um einen klaren Extrakt zu erhalten, werden die Proben 30 min lang bei ca. 4000 U/min zentrifugiert. Der klare Überstand wird abdekantiert und anschließend im Spektralphotometer vermessen: Als Blindwert für die photometrische Messung wird das Lösungsmittel (90 % p.a. Aceton) verwendet. Anschließend wird der Chlorophyllextrakt bei den Wellenlängen 663nm und 750nm (Trübungskorrektur) vermessen. Um die Proben nach dem Phaeophytin-Gehalt zu korrigieren, werden diese mit 100µl 0,1M HCl versetzt (Umwandlung des Chlorophylls zu Phaeophytin) gut geschüttelt und nach 5 min erneut bei 663nm und 750nm vermessen.

#### Berechnung

$$\text{Chl.-a} = ((E_{663} - E_{750}) - (E_{663a} - E_{750a})) \cdot (R/R-1) \cdot (v/V \cdot d) \cdot 1000/\alpha$$

$$\text{Phaeo-a} = \alpha \cdot (R/R-1) \cdot (R(E_{663a} - E_{750a}) - (E_{663} - E_{750})) \cdot (v/V \cdot d)$$

|          |                                                     |       |                                          |
|----------|-----------------------------------------------------|-------|------------------------------------------|
| E...     | Extinktion + nm                                     | E...a | Extinktion + nm der angesäuerten Probe   |
| R/R-1    | Säurequotient                                       | V     | Volumen der filtrierten Wasserprobe in l |
| v        | Volumen des Extraktes in ml                         | d     | Schichtdicke der Küvette in cm           |
| $\alpha$ | spezifischer Absorptionskoeffizient für Chlorophyll |       |                                          |

#### 3.4.2 Phytoplanktonzählungen (Utermöhl 1958)

Die Phytoplanktonproben wurden zuvor mit Lugolscher Lösung fixiert (etwa 4-5 Tropfen auf 100 ml) und kühl und dunkel aufbewahrt.

Die Proben werden vor der Zählung gut geschüttelt und sofort danach mittels Pipette in eine Zählkammer (Durchmesser 25 mm) ausgegossen bis sich ein leicht über die Kammerhöhe gewölbter Meniskus bildet. Die Kammer wird anschließend mit einem Glasplättchen, das schräg aufgesetzt wird (verhindert den Einschluß von Luftblasen), abgedeckt. Um eine gleichmäßige Sedimentation auf dem Kammerboden zu erhalten ist es wichtig, dass die Kammer auf einer möglichst waagerechten Unterlage steht und die Probe die gleiche Temperatur wie die umgebende Raumtemperatur aufweist. Da das Wasser des Neusiedler



Sees einen hohen Anteil an suspendierten Sedimentpartikeln aufweist, wurden nur kleine Volumina, 2 - bis max. 5ml, sedimentiert. Bei sehr hohen Trübstoffmengen, die ein Zählen der kleineren Planktonformen zur sprichwörtlichen Suche nach der Nadel im Heuhaufen werden lassen, wurde fallweise nur 1ml sedimentiert. Die Sedimentationszeit hängt von der Kammerhöhe ab, pro cm Kammerhöhe ( $1\text{cm} \approx 5\text{ml}$  bei  $25\text{mm } \varnothing$ ) beträgt sie ca. 3 Stunden (Dokulil 1979).

Gezählt wurde auf einem umgekehrten Mikroskop mittels Zählokular: Die ganze Kammerfläche mit 20 facher Vergrößerung ( $20\times 10$ ) um große Phytoplanktonformen zu erfassen. Zwei oder mehr Diagonalen ( $25\text{ mm}$ ) mit 40 facher Vergrößerung ( $40\times 10$ ) um kleinere Formen zu erfassen.

Aus dem sedimentierten Volumen und der „abgezählten“ Fläche wird ein Faktor errechnet mit dem die gezählten Zellen multipliziert werden und man schließlich die Anzahl an Individuen einer Art pro Volumseinheit erhält (z.B. Individuen  $\text{L}^{-1}$ )

### **3.4.3 Bestimmung von Biovolumen und Biomasse**

Zur Bestimmung des Biovolumens der Algenzellen werden den einzelnen Arten einfache geometrische Körper (Kugel, Rotationsellipsoid, Zylinder, usw.), beziehungsweise bei komplexeren Algenformen zusammengesetzte geometrische Körper, näherungsweise zugeordnet. Durch das Vermessen einiger Zellen einer bestimmten Art (mittels Mikrometerokular oder mit entsprechender bildverarbeitender Software auch am Computer) lässt sich näherungsweise ein Volumen pro Zelle errechnen. Der Einfachheit halber wurden auch Volumswerte der gefundenen taxonomischen Einheiten aus der Literatur (Biovolums-Katalog des Arbeitskreises Biologie der ATT) bzw. Vergleichswerte aus früheren Zählungen von Phytoplanktonproben des Neusiedler Sees verwendet.

Multipliziert man den Volumswert mit der errechneten Anzahl der Individuen pro Liter (siehe Punkt Phytoplanktonzählungen ), so ergibt sich das Biovolumen einer Art pro Liter.

Dieser Wert ist viel aussagekräftiger als nur die Anzahl alleine, denn er gibt Aufschluss darüber wie groß der Anteil einer Art an dem Gesamt-Biovolumen und schlussendlich an der Gesamt-Biomasse ist. Gibt also Auskunft darüber wie ökosystemrelevant einzelne Arten hinsichtlich ihrer Biomasse sind.

Die Biomasse wurde unter der Annahme, dass die Dichte der Algenzellen nicht signifikant von einer Dichte von 1 ( $1\text{ mg mm}^{-3}$ ) verschieden ist näherungsweise berechnet.

Das stimmt natürlich nur bedingt, denkt man vor allem an die schweren Silicium-Schalen von Kieselalgen, so ist eine größere Dichte als 1 zu erwarten. Im Umgekehrten Fall lagern einige

Algenarten Lipide in ihren Protoplasten ein um ihre Dichte zu verringern. So ist der errechnete Biomasse unter dem Vorbehalt eines näherungsweisen Wertes zu sehen!

#### **3.4.4 Bestimmung von aktivem Chlorophyll-a mittels verzögerter Fluoreszenz**

Die Menge an photosynthetisch aktivem Chlorophyll-a wurde nach der Methode der Messung der verzögerten Fluoreszenz (DF = *delayed fluorescence*) ermittelt.

Die verzögerte Fluoreszenz entsteht bei der Rückreaktion des Photosystem II (PS II), von belichteten Algenzellen, im Dunkeln. Sprich wird der Photosynthese-Komplex durch Licht angeregt, so wird bei der Rückreaktion in den Grundzustand, bei Dunkelheit Licht einer bestimmten Wellenlänge, über einen Zeitraum von mehreren Minuten, emittiert (dunkelrotes Licht mit einer Wellenlänge zwischen 650 bis 780 nm). Die DF ist eine Rekombinationsfluoreszenz aus dem angeregten Singulettzustand S1 des Reaktionszentrums P680. Im Gegensatz zur prompten Fluoreszenz sind die Antennenmoleküle an der DF nicht beteiligt (Krause 1984, Kretsch & Gerhardt 1987). Da diese Fluoreszenz nur von den Reaktionszentren ausgeht, lässt sich über die Intensität der DF, die Menge an aktivem Chlorophyll-a berechnen. Mit steigender Temperatur verläuft diese Rückreaktion schneller und die Abklingkurve fällt steiler ab. Da aber die Anzahl der Rückreaktionen gleich bleibt, ist das Integral der DF-Abklingkurve temperaturunabhängig (Kretsch & Gerhardt 1987).

##### DF-Kinetik-Photometer (Abb. 6)

Die Proben werden ca. 10 min vorverdunkelt (dadurch minimiert sich der Einfluss der Vorbelichtung) und über eine Schlauchpumpe in die Anregungsküvette des DF-Kinetik-Photometers geleitet. Dort wird die Probe mit Licht hoher Intensität (weißes polychromatisches Licht) beleuchtet, (Das führt zu einer Aufsättigung des angeregten Zustandes des PS II) und nach 30 Sekunden in die Emissionsküvette (dunkel) weitergeleitet. Dort wird die Abklingkurve (Abb. 7) der DF durch das Zählen der einzelnen Photonen mittels Photomultiplier gemessen. Dadurch besitzt das DF-Kinetik-Photometer eine hohe Empfindlichkeit und einen großen dynamischen Bereich (von  $0,2 \mu\text{g L}^{-1}$  –  $1 \text{ mg L}^{-1}$  Chlorophyll-a). Anschließend wird der Chlorophyll-a-Gehalt der Probe als Produkt des Integrals der DF-Abklingkurve mit einem Kalibrierfaktor berechnet.

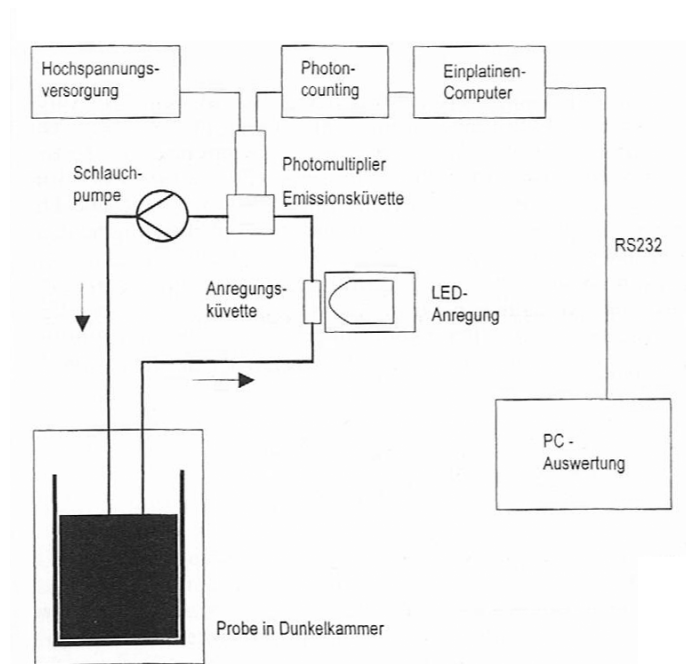


Abb. 6 schematische Darstellung eines DF-Kinetik-Photometers, (nach Krause 1987) verändert

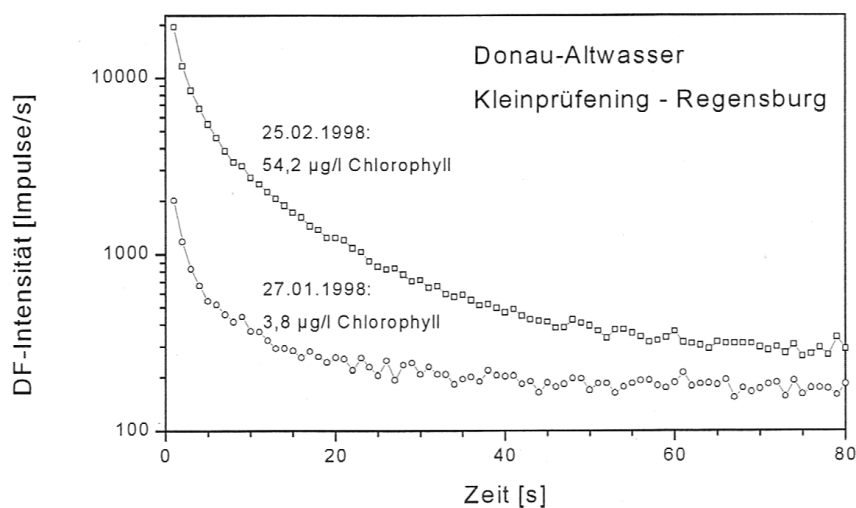


Abb. 7 zwei Beispiele von DF-Kinetik Abklingkurven bei 2 verschiedenen Chlorophyll-a-Konzentrationen

### 3.4.5 Bestimmung der Phytoplankton-Gruppen mittels verzögerter Fluoreszenz

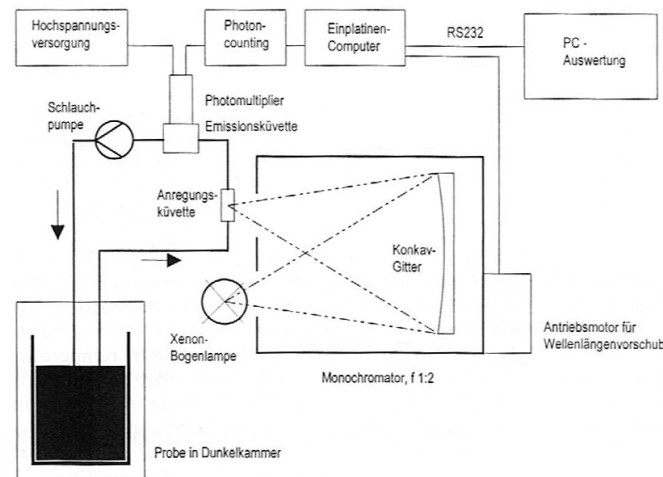
#### DF –Anregungsspektrometer (Abb. 8)

Mit dem DF-Anregungsspektrometer lässt sich die Konzentration der in der Probe vorhandenen Algenklassen, aufgrund der verschiedenartigen Pigmentzusammensetzung, bestimmen. Unterschieden werden (Rowan 1989, Prézlin 1981):

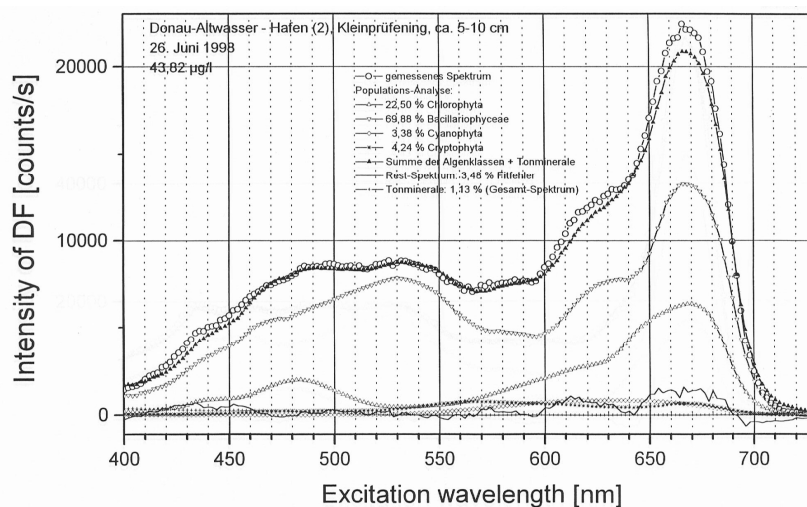
- **Chlorophyta** (inkl. *Euglenophyceae* + *Conjugatophyceae*)
- **Bacillariophyceae** (inkl. *Chrysophyceae* + *Dinophyta*)
- **Cryptophyta**
- **Cyanobakterien**

- o *Suspendierte Tonminerale*: zeigen eine schwache, verzögerte Fluoreszenz, bei Anregung mit Licht einer Wellenlänge unterhalb von 500 nm.

Die vorverdunkelte Probe wird mit monochromatischem Licht einer Wellenlänge von 400 nm bis 730 nm, angeregt und anschließend (mit 0,2 Sek. Verzögerung) kontinuierlich in die Emissionsküvette gepumpt. Dort wird die verzögerte Fluoreszenz (im Zeitbereich zwischen 0,2 – 0,8 Sek.), durch Zählen der emittierten Photonen (analog DF-Kinetik-Photometer) gemessen. Aus 165 „Einzelmessungen“, zu je 2 nm – Schritten (Dauer je 1 Sek.), wird ein Anregungsspektrum (400 - 730 nm, siehe Abb. 9) zusammengesetzt. Aus diesem lässt sich ablesen wie hoch der Anteil der photosynthetisch aktiven Pigmente bei der jeweiligen Wellenlänge ist (Krause 1987, Gerhardt & Putzger 1991, Gerhardt & Bodemer 1998). Mittels Kalibrations-Spektren, der unterscheidbaren Gruppen, und einer Entfaltungs-Software werden die Konzentrationen der verschiedenen Algenklassen berechnet (Gerhardt & Bodemer 1998).



**Abb. 8** schematische Darstellung des DF-Anregungsspektrometers (nach Bodemer 1996) verändert



**Abb. 9** Beispiel eines Anregungsspektrums (nach Dokulil 1998) verändert

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Abiotische Parameter

#### 4.1.1 Wassertemperatur, pH-Wert, gelöster Sauerstoff, Leitfähigkeit

Die Wassertemperatur schwankt im Untersuchungszeitraum zwischen 18,4 °C (Min.) – 27,9 °C (Max.) im Juli (siehe Abb. 10), und zwischen 21 °C (Min.) – 25,3 °C (Max.) im August (siehe Abb. 12). Es sind deutliche Tagesgänge der Wassertemperatur zu beobachten. Der Temperaturverlauf folgt mit etwas Verzögerung der zu- und abnehmenden Sonneneinstrahlung. An windstillen Tagen erwärmt sich das Oberflächenwasser während der Mittagsstunden etwas stärker als das bodennahe Wasser (max. Temperaturdifferenz ca. 0,8 - 1 °C), während an windigen Tagen praktisch keine Temperaturdifferenz messbar ist.

Der pH-Wert liegt im leicht alkalischen Bereich und schwankt im Untersuchungszeitraum stark. Vom 11.07 – 15.07.08 (Abb. 10) liegen die Werte zwischen pH 8,38 (Min.) und 9,04 (Max.). Im Zeitraum vom 12.08 - 14.08.08 pendelt der pH-Wert zwischen pH 8,55 (Min.) und pH 8,96 (Max.), (siehe. Abb. 12).

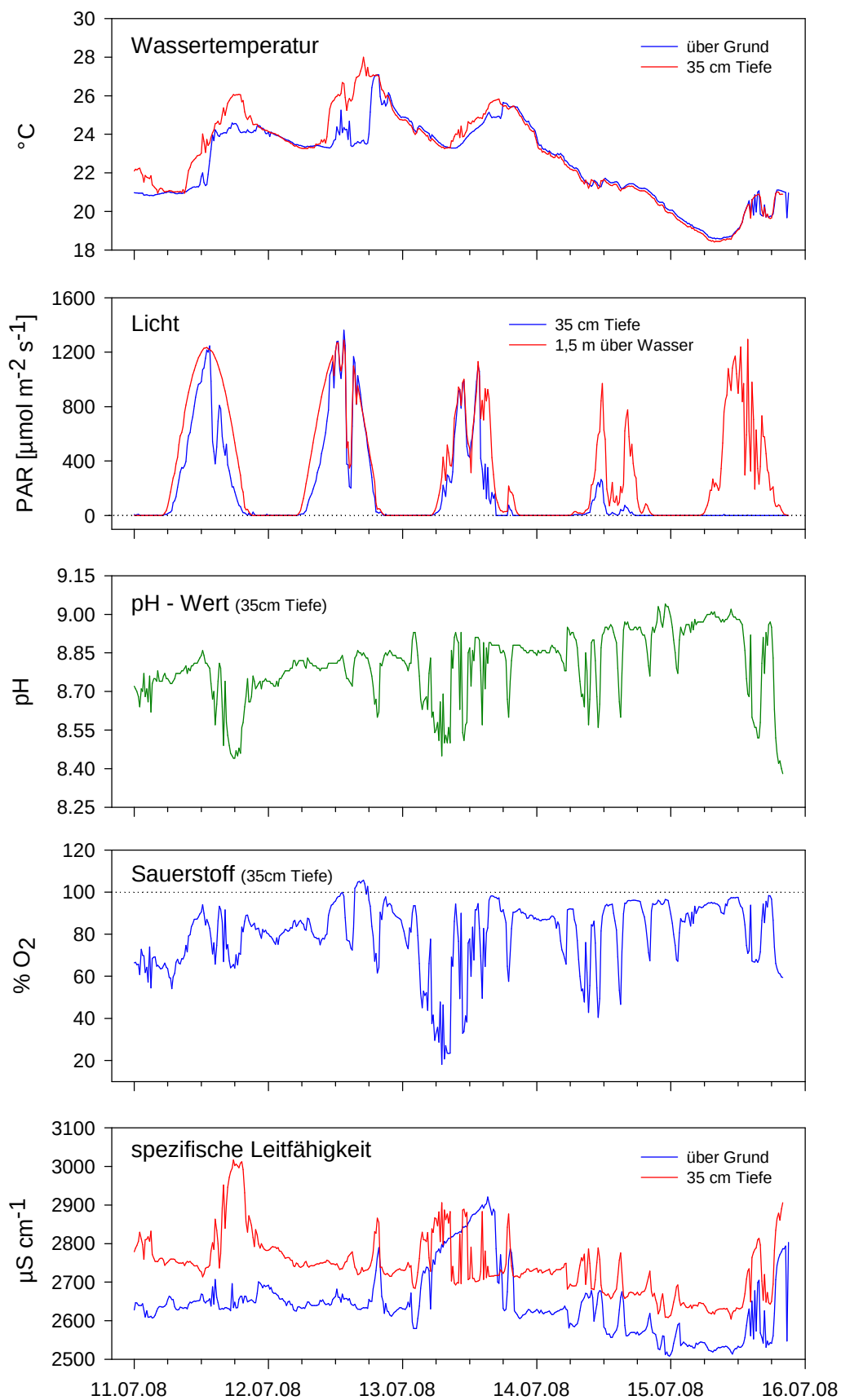
Die gemessenen Werte des gelösten Sauerstoffs zeigen im gesamten Untersuchungszeitraum starke Schwankungen. Im Juli (Abb. 10) liegen die Werte zwischen 18,1 % (gemessen am 13.07.08 7:00) und 105,6 % (gemessen am 12.07.08 17:00) O<sub>2</sub>-Sättigung. Im August (Abb. 12) schwanken die Werte zwischen 42,8 % (gemessen am 12.08.08 04:45) und 102,5 % (gemessen am 14.08.08 17:45).

Die gemessenen Werte der spezifischen Leitfähigkeit zeigen über die Dauer des gesamten Untersuchungszeitraumes starke Schwankungen.

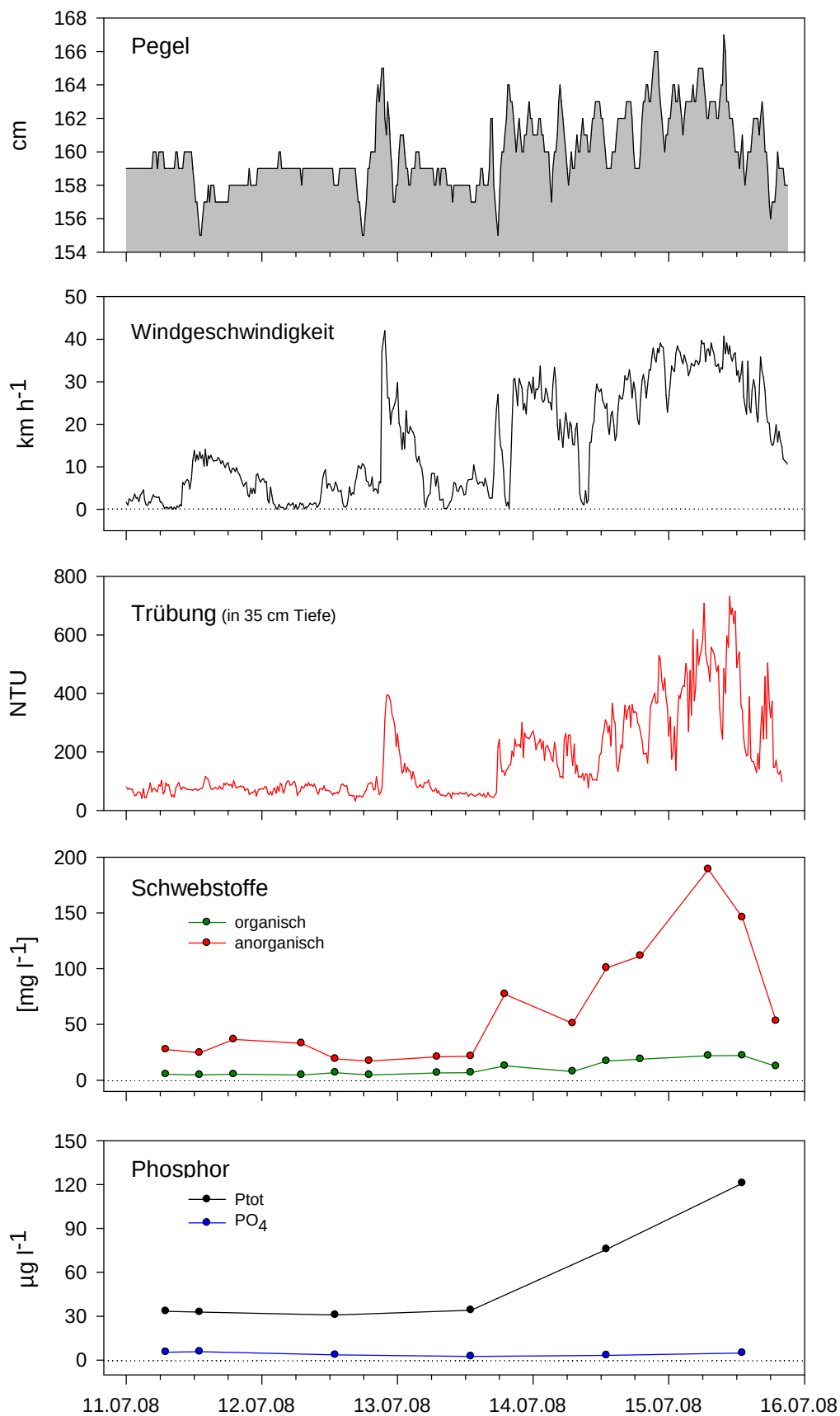
Im Juli beträgt die mittlere spezifische Leitfähigkeit 2741  $\mu\text{S cm}^{-1}$  in 35 cm Tiefe und 2645  $\mu\text{S cm}^{-1}$  über Grund. Die Schwankungsbreite liegt in einem Bereich von rund 400  $\mu\text{S cm}^{-1}$  (vergl. Abb. 10).

Im August beträgt der Mittelwert der spezifischen Leitfähigkeit 2678  $\mu\text{S cm}^{-1}$  in 35 cm Tiefe und 2625  $\mu\text{S cm}^{-1}$  über Grund. Die Schwankungsbreite liegt in einem Bereich von ca. 300  $\mu\text{S cm}^{-1}$  (vergl. Abb. 12).

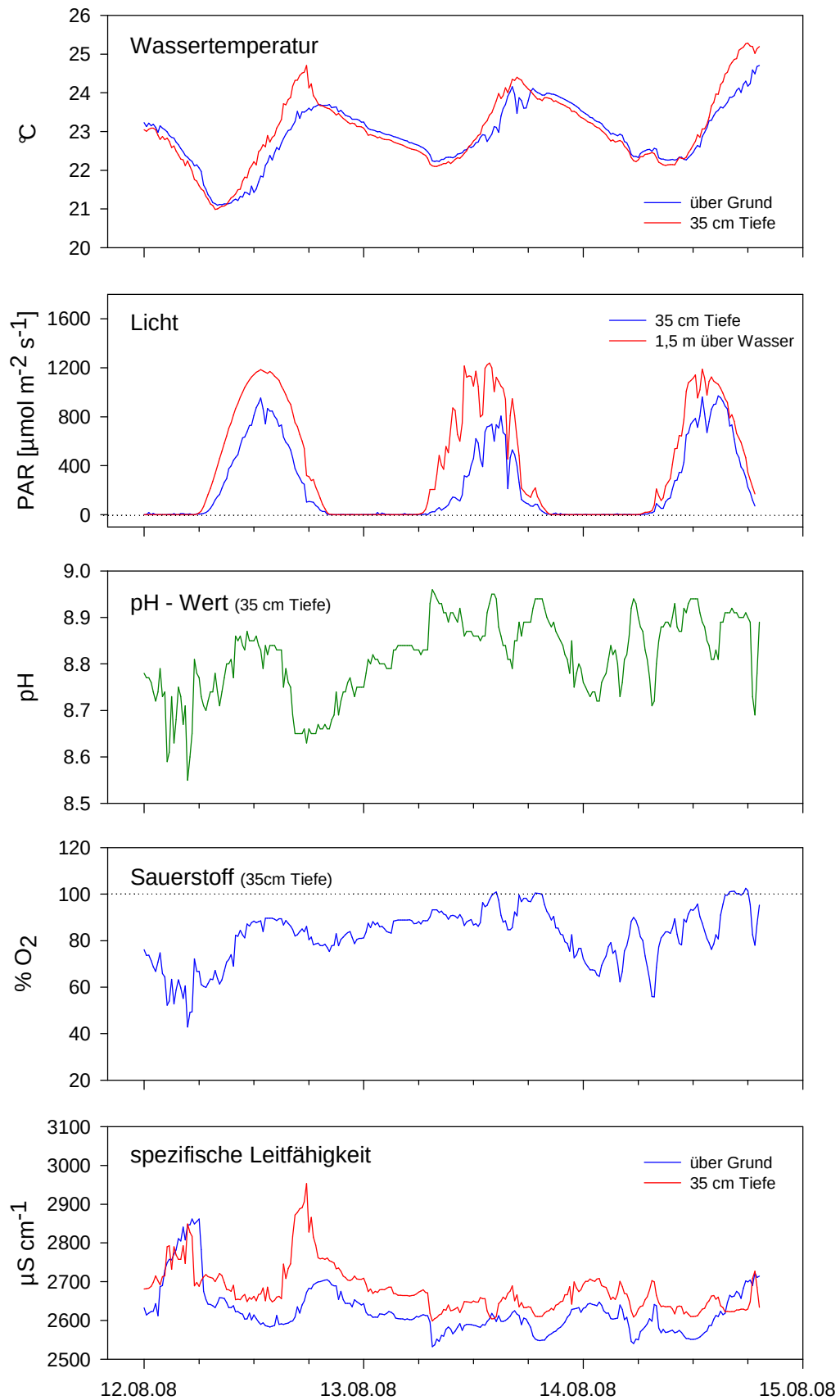
Auf die Ursachen der Schwankungen betreffend pH-Wert, spezifische Leitfähigkeit und Sauerstoffsättigung in  $\text{mg L}^{-1}$  wird im Zuge der Diskussion genauer eingegangen.



**Abb. 10** Zusammenstellung der Werte von Wassertemperatur, Licht (PAR), pH-Wert, Sauerstoffsättigung und spezifischer Leitfähigkeit im Untersuchungszeitraum 11.07.08 – 15.07.08

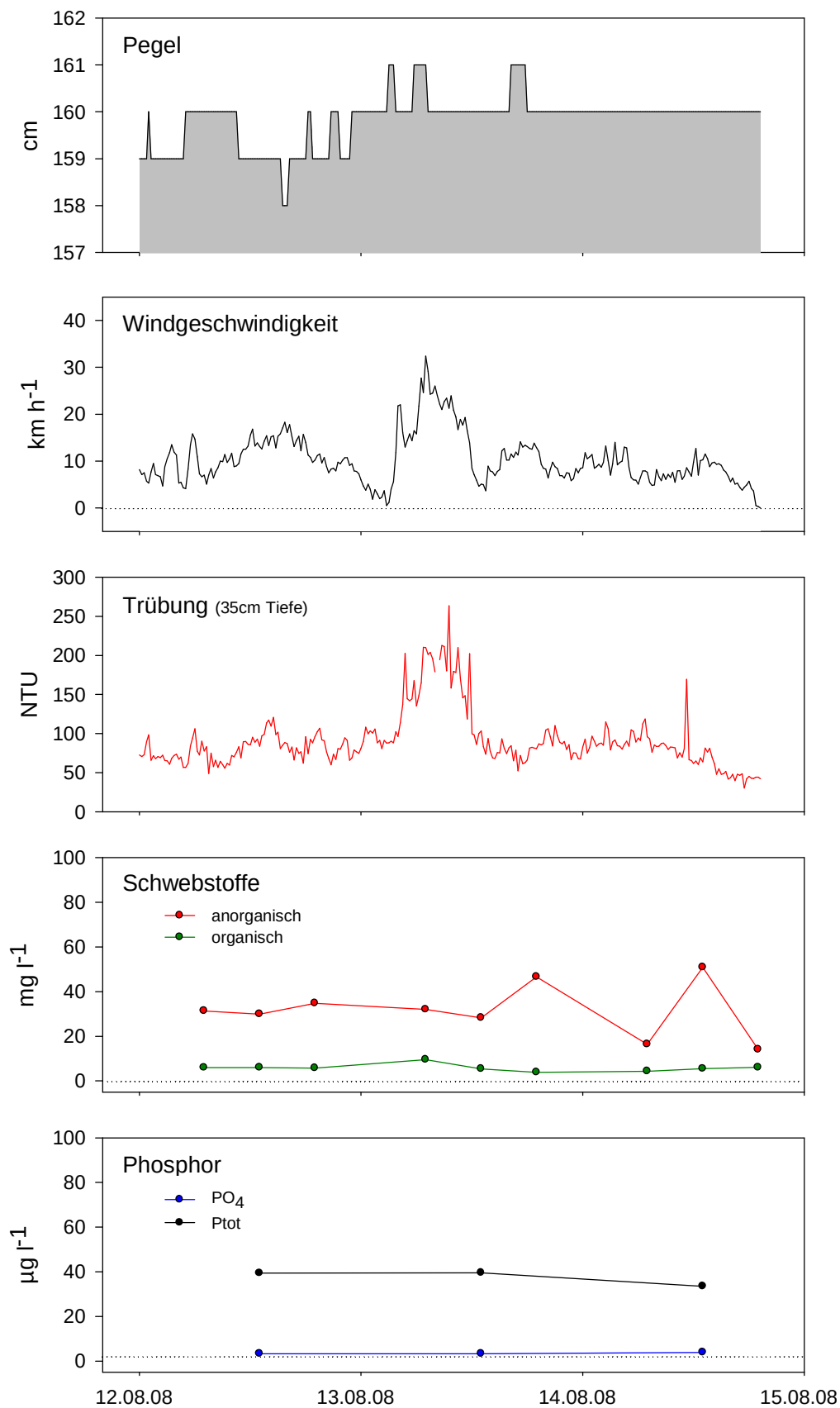


**Abb. 11** Zusammenstellung der Werte von Pegel, Windgeschwindigkeit, Trübe, Schwebstoffe und Phosphor im Untersuchungszeitraum 11.07.08 – 15.07.08



**Abb. 12** Zusammenstellung der Werte von Wassertemperatur, Licht (PAR), pH-Wert, Sauerstoffsättigung und spezifischer Leitfähigkeit im Untersuchungszeitraum 12.08.08 – 14.08.08





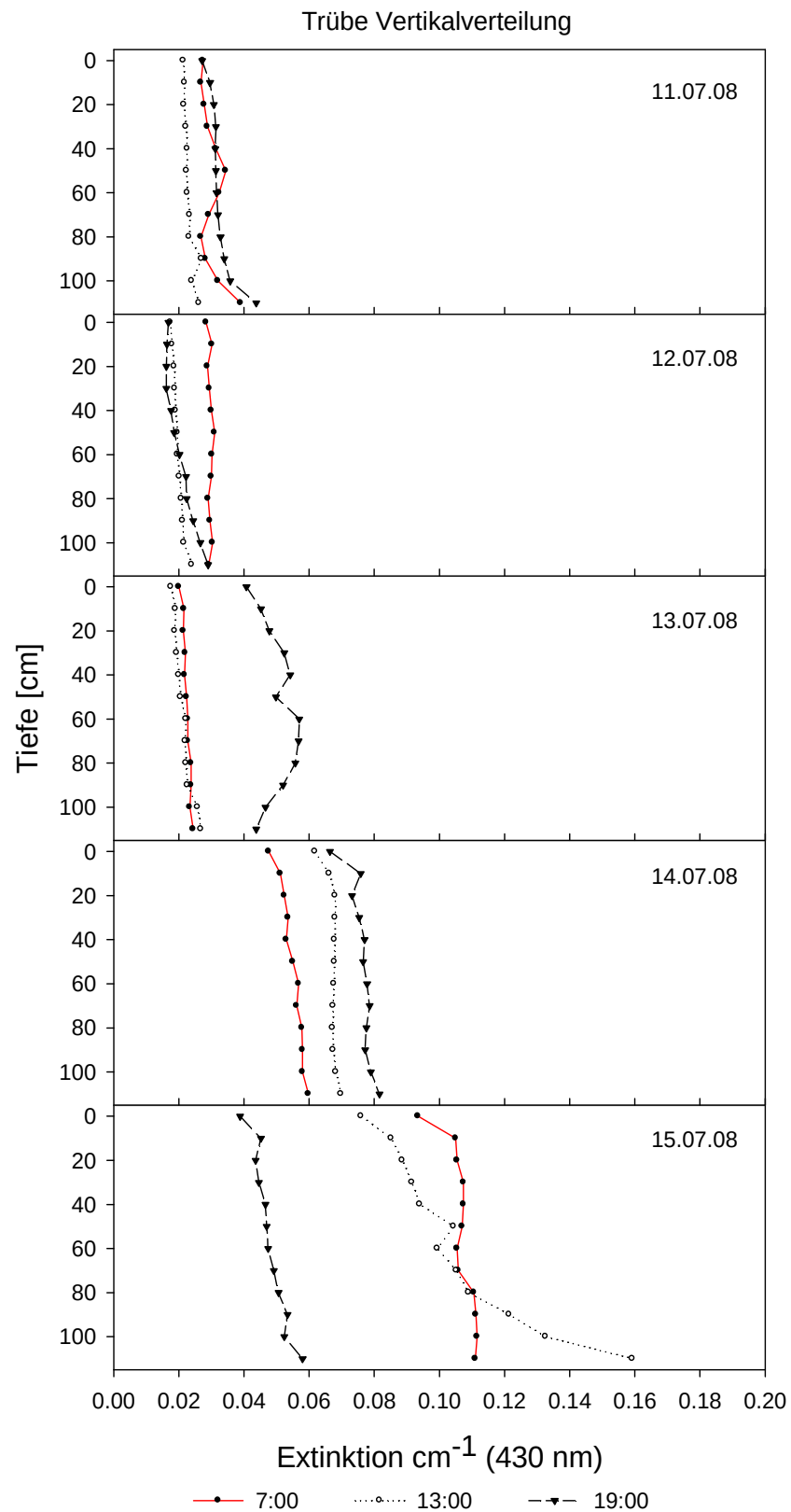
**Abb. 13** Zusammenstellung der Werte von Pegel, Windgeschwindigkeit, Trübe, Schwebstoffe und Phosphor im Untersuchungszeitraum 12.08.08 – 14.08.08

#### 4.1.2 Trübe (NTU) und Extinktion bei 430 nm

Die Trübe-Werte (NTU) schwanken in den ersten beiden Tagen des Beobachtungszeitraumes im Juli 2008 um einen „Basis-Trübewert“ von 74. Dieser Wert steigt am 12.07.08 gegen 22:00 sprunghaft auf einen Maximalwert von 395 an und sinkt anschließend im Lauf der Nacht wieder auf den Basiswert ab. Am 13.07.08 gegen 18:00 kommt es zu einem neuerlichen Anstieg der Trübe. In den folgenden zwei Tagen bleibt die Trübe hoch, schwankt jedoch sehr stark, und erreicht am 15.07.08 um 10:45 einen Maximalwert von 731,7 (vergl. Abb. 11).

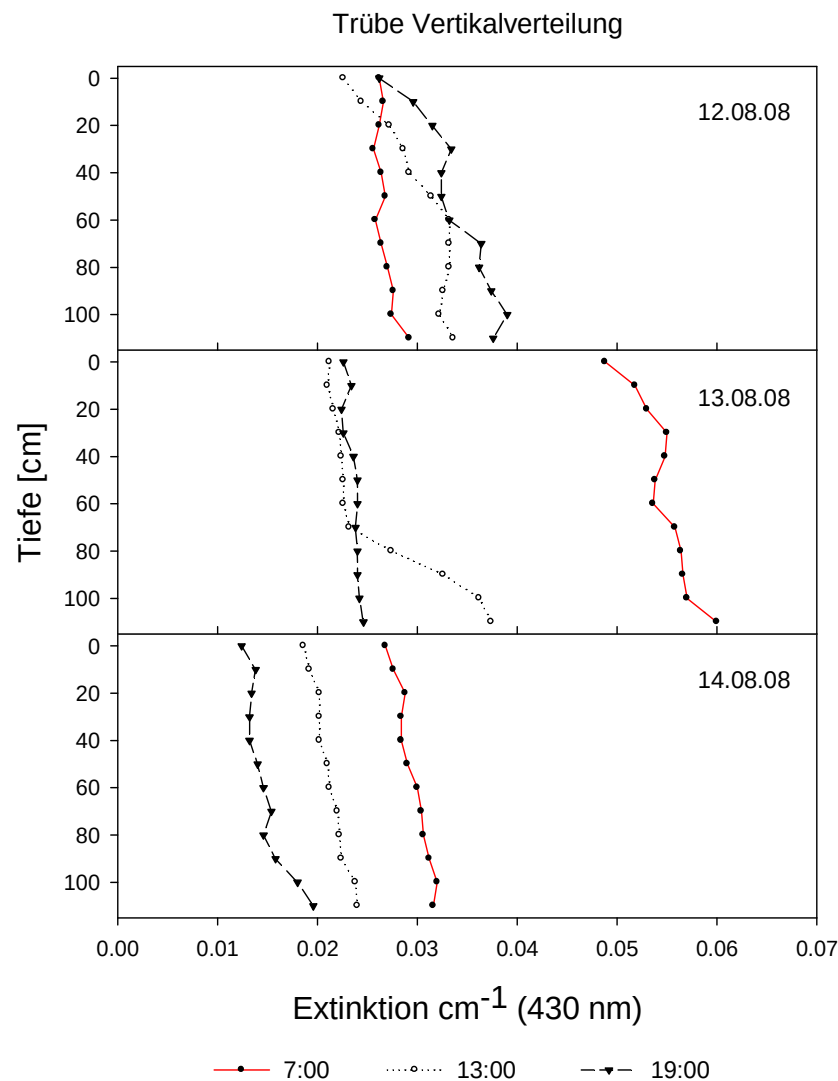
Im August 2008 schwankt die Trübe um einen ähnlichen Basiswert von rund 79, nur am 13.08.08 kommt es zwischen 4:00 bis 11:45 zu einer erhöhten Trübe mit einem Maximalwert von 263,3 um 09:30 (vergl. Abb. 13).

Die im Photometer gemessene Extinktion bei 430 nm, zeigt im Juli (Abb. 14) folgenden Verlauf: Am 11.07. zeigen die Trübe-Werte von 7:00 ( $\emptyset$  0,03 cm<sup>-1</sup>), 13:00 ( $\emptyset$  0,023 cm<sup>-1</sup>) und 19:00 ( $\emptyset$  0,033 cm<sup>-1</sup>) über die gesamte Tiefe kaum Veränderungen. Die Werte vom 12.07. 7:00 ( $\emptyset$  0,029 cm<sup>-1</sup>) 13:00 ( $\emptyset$  0,02 cm<sup>-1</sup>) und 19:00 ( $\emptyset$  0,02 cm<sup>-1</sup>) zeigen wie jene vom Vortag bezüglich Tiefe und Tageszeit keine wesentlichen Änderungen. Am 13.07. sind die Werte von 7:00 und 13:00 praktisch gleich ( $\emptyset$  0,02 cm<sup>-1</sup>), um 19:00 hingegen zeigt sich eine deutliche Zunahme der Trübe-Werte mit einer höheren Extinktion in mittlerer Wassertiefe (bei 60 cm 0,057 cm<sup>-1</sup>). Am 14.07. nimmt die Trübe im Tagesverlauf stetig zu, zeigt jedoch keine großen Sprünge bezüglich der Wassertiefe. So liegen die Werte der Extinktion von 7:00 bei durchschnittlich 0,054 cm<sup>-1</sup>, um 13:00 bei 0,067 cm<sup>-1</sup> und gegen 19:00 bei 0,076 cm<sup>-1</sup>. Am 15.07. zeigen sich im Tagesverlauf starke Schwankungen in der Wassertrübe. Um 7:00 liegen die Werte der Extinktion im Mittel bei 0,11 cm<sup>-1</sup>, gegen 13:00 zeigt sich eine Abnahme der Trübe an der Wasseroberfläche (0,076 cm<sup>-1</sup>) und eine starke Zunahme gegen den Gewässergrund (0,159 cm<sup>-1</sup>). Gegen 19:00 nimmt die Trübe wieder stark ab und die Extinktion liegt im Durchschnitt bei 0,048 cm<sup>-1</sup>.



**Abb. 14** Zusammenstellung der über die Tiefe verteilten Extinktionswerte im Zeitraum vom 11.07.08 – 15.07.08. Die einzelnen Untersuchungstage sind in eigenen Blöcken dargestellt mit je einer Messreihe um 07:00, 13:00 u. 19:00

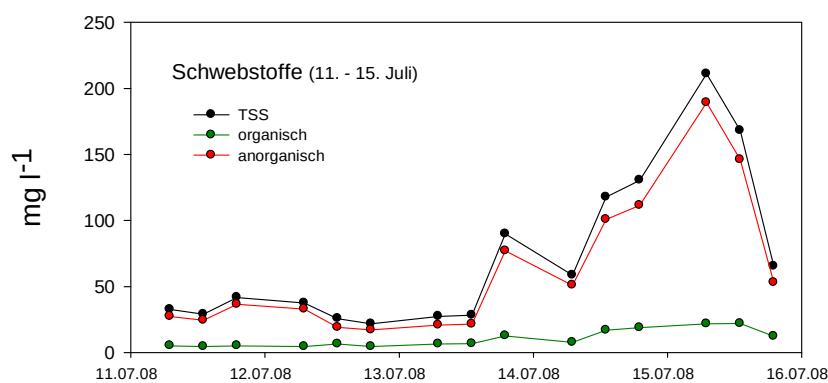
Im August (Abb. 15) zeigen sich folgende Verläufe der Wassertrübe (Extinktion bei 430 nm) bezüglich Wassertiefe und Tageszeit. Am 12.08. liegen die Extinktionswerte von 7:00 im Mittel bei  $0,027 \text{ cm}^{-1}$ . Um 13:00 zeigt sich eine leichte Zunahme der Trübe von der Oberfläche ( $0,023 \text{ cm}^{-1}$ ) gegen den Grund ( $0,034 \text{ cm}^{-1}$ ). Ähnlich liegen die Werte von 19:00: Oberfläche ( $0,026 \text{ cm}^{-1}$ ); 110 cm Tiefe ( $0,038 \text{ cm}^{-1}$ ). Am 13.08. zeigt sich die Trübe um 7:00 ( $\approx 0,055 \text{ cm}^{-1}$ ) gegenüber dem Vortag erhöht. Um 13:00 liegt der Wert in den oberen Wasserschichten (bis 70 cm) bei durchschnittlich  $0,022 \text{ cm}^{-1}$ , nimmt dann sprunghaft zu auf  $0,037 \text{ cm}^{-1}$  in 110 cm Tiefe. Gegen 19:00 ist die Trübe wieder gleich verteilt und die Extinktion liegt bei durchschnittlich  $0,024 \text{ cm}^{-1}$ . Am 14.08. zeigt sich während des Tages eine stetige Abnahme der Trübe-Werte. Bezüglich der Wassertiefe sind jedoch keine großen Unterschiede sichtbar. So liegen die Werte von 7:00 im Mittel bei  $0,029 \text{ cm}^{-1}$ , um 13:00 bei  $0,021 \text{ cm}^{-1}$  und um 19:00 bei etwa  $0,015 \text{ cm}^{-1}$ , wobei die Trübe mit der Tiefe leicht zunimmt.



**Abb. 15** Zusammenstellung der über die Tiefe verteilten Extinktionswerte im Zeitraum vom 12.08.08 – 14.08.08. Die einzelnen Untersuchungstage sind in eigenen Blöcken dargestellt mit je einer Messreihe um 07:00, 13:00 u. 19:00

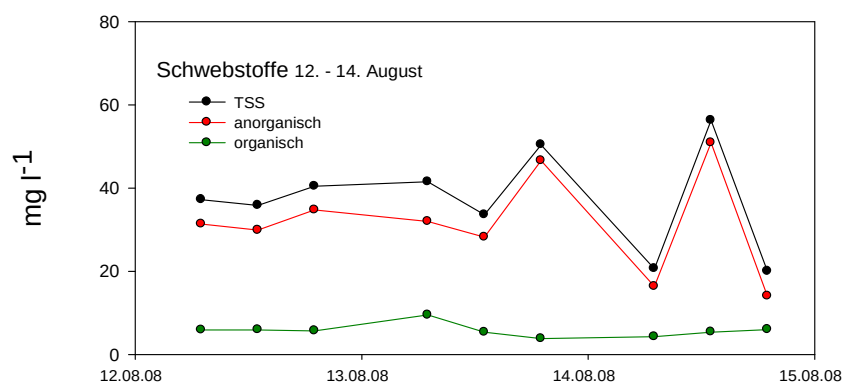
### 4.1.3 Schwebstoffe

Die ermittelten Gesamt-Schwebstoffmengen (TSS = *total suspended solids*) für den Beobachtungszeitraum Juli (11.07 – 15.07.08) liegen im Bereich von 21,8 mg L<sup>-1</sup> (Min., 12.07.08 17:00) und 211 mg L<sup>-1</sup> (Max., 15.7.08 07:00). Die anorganischen Schwebstoffpartikel stellen den größten Anteil (durchschnittlich 83,7 %) der TSS, die organischen Verbindungen bilden mit Werten zwischen 4,6 - 22 mg L<sup>-1</sup> einen deutlich kleineren Teil (durchschnittlich 16,3%). Sowohl anorganische als auch organische Schwebstoffe zeigen vom 13.07. 19:00 bis 15.07.08 erhöhte Schwebstoffmengen, wobei die anorganischen Anteile die stärkste Zunahme zeigen (vergl. Abb. 16).



**Abb. 16** Darstellung der Schwebstofffrachten und verschiedenen Fraktionen im Zeitraum vom 11.07 – 15.07.08

Die ermittelten Werte der TSS im August (12.08 – 14.08.08) liegen im Bereich von 20,04 mg L<sup>-1</sup> (Min., 14.08.08 17:00) und 56,28 mg L<sup>-1</sup> (Max., 14.08.08 13:00). Die anorganischen Schwebstoffpartikel stellen, wie im Juli den größten Anteil (im Mittel 83 %) der TSS, die Werte der organischen Verbindungen liegen zwischen 3,8 - 9,5 mg L<sup>-1</sup> (im Mittel 17 %). Anmerkend ist festzustellen, dass die Werte, gemessen am 14.08.08 um 7:00 und 19:00, zu tief liegen, da zu diesen Zeitpunkten keine erhöhte Trübe gemessen wurde, was auf einen möglichen Messfehler deuten könnte (vergl. Abb. 17).



**Abb. 17** Darstellung der Schwebstofffrachten und verschiedenen Fraktionen im Zeitraum vom 12.08 – 14.08.08

#### 4.1.4 Phosphor

Die Menge an gelöstem Orthophosphat ( $\text{PO}_4$ ) ist im gesamten Untersuchungszeitraum, sowohl Juli als auch August gleichbleibend niedrig. Die Werte liegen im Juli (Abb. 11) zwischen  $2,5 \mu\text{g L}^{-1}$  (Min., 13.07. 13:00) und  $5,7 \mu\text{g L}^{-1}$  (Max., 11.07. 13:00). Im August (Abb. 13) liegen die Werte zwischen  $3,3 - 3,9 \mu\text{g L}^{-1}$ .

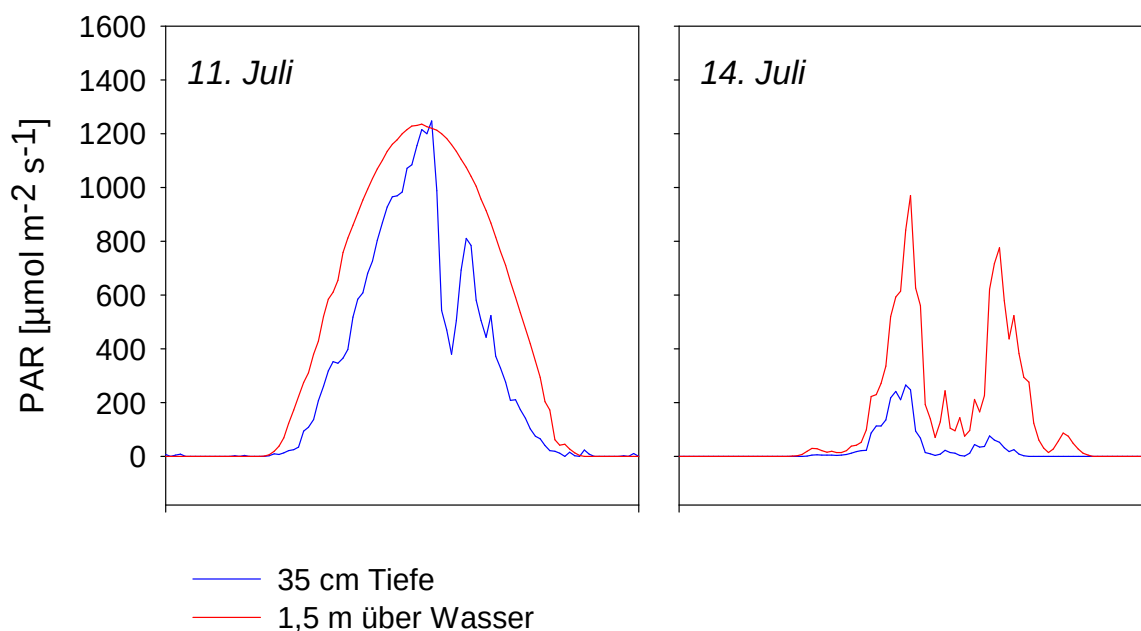
Die Menge des Gesamt-Phosphors ( $\text{P}_{\text{tot}}$ ) steigt im Juli (Abb. 11) von anfangs rund  $30 \mu\text{g L}^{-1}$  auf  $120,94 \mu\text{g L}^{-1}$  (Max., 15.07. 13:00) an.

Im August sind die Werte gleichbleibend und liegen im Mittel bei rund  $37,4 \mu\text{g L}^{-1}$  (Abb. 13).

#### 4.1.5 Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) integrativ

Die eingestrahlte photosynthetisch verwertbare Lichtmenge (PAR) zeigt (wie nicht anders zu erwarten) in Abhängigkeit vom Bewölkungsgrad mehr oder weniger perfekte Tagesgänge (Abb. 18). Die Maximalwerte über Wasser, gemessen um 13:00 (an wolkenlosen Tagen) betragen im Juli  $1294 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (vergl. Abb. 10) und  $2171 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  im August (vergl. Abb. 12). Die in 35 cm Tiefe gemessene Lichtmenge zeigt einen schmaleren Verlauf der Tagesgänge mit ähnlichen Maximalwerten um 13:00 (nur an wolkenlosen Tagen).

Bei erhöhter Trübe wurde eine deutlich verminderte Lichtmenge gemessen.



**Abb. 18** Beispiele zweier Tagesgänge im Juli der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR). 11.07.08 wolkenloser Tag mit geringer Wassertrübe; 14.07.08 bewölkter Tag bei erhöhter Wassertrübe

#### 4.1.6 Qualitatives Lichtspektrum und Albedo

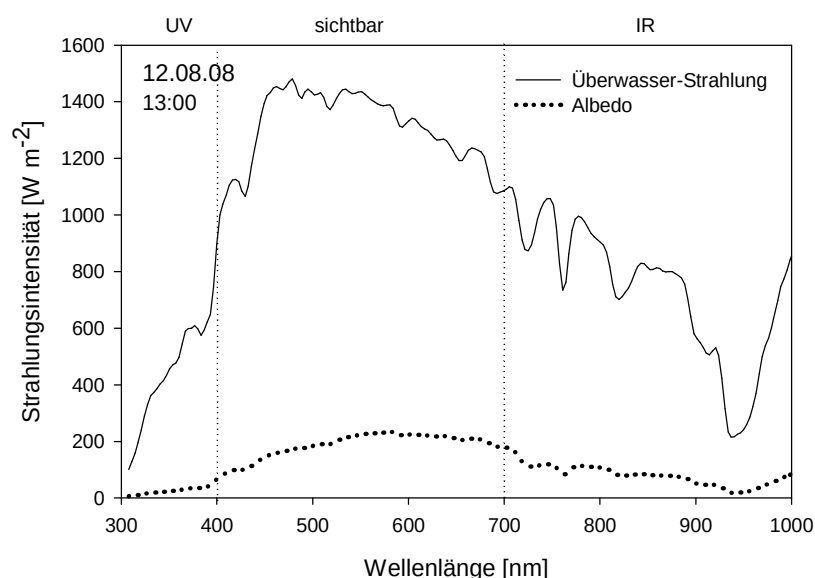
In den Strahlungsspektren (Abb. 20) ist die tageszeitliche Änderung der qualitativen Zusammensetzung des eingestrahnten Lichtes, über und unter Wasser, am Beispiel eines sonnigen Tages (12.08.2008) dargestellt.

Dabei zeigt sich morgens um 7:00 eine Überwasserstrahlung mit einer Energieflussdichte von ca.  $250 \text{ W m}^{-2}$  maximal, bei 450 - 680 nm. Die Anteile sind im blau-grünen bis grünen Bereich relativ zum gelb-roten Bereich des sichtbaren Spektrums verringert. Unter Wasser liegt das Maximum bei 676 nm (dunkelrot) mit einer Energieflussdichte von  $23,9 \text{ W m}^{-2}$ .

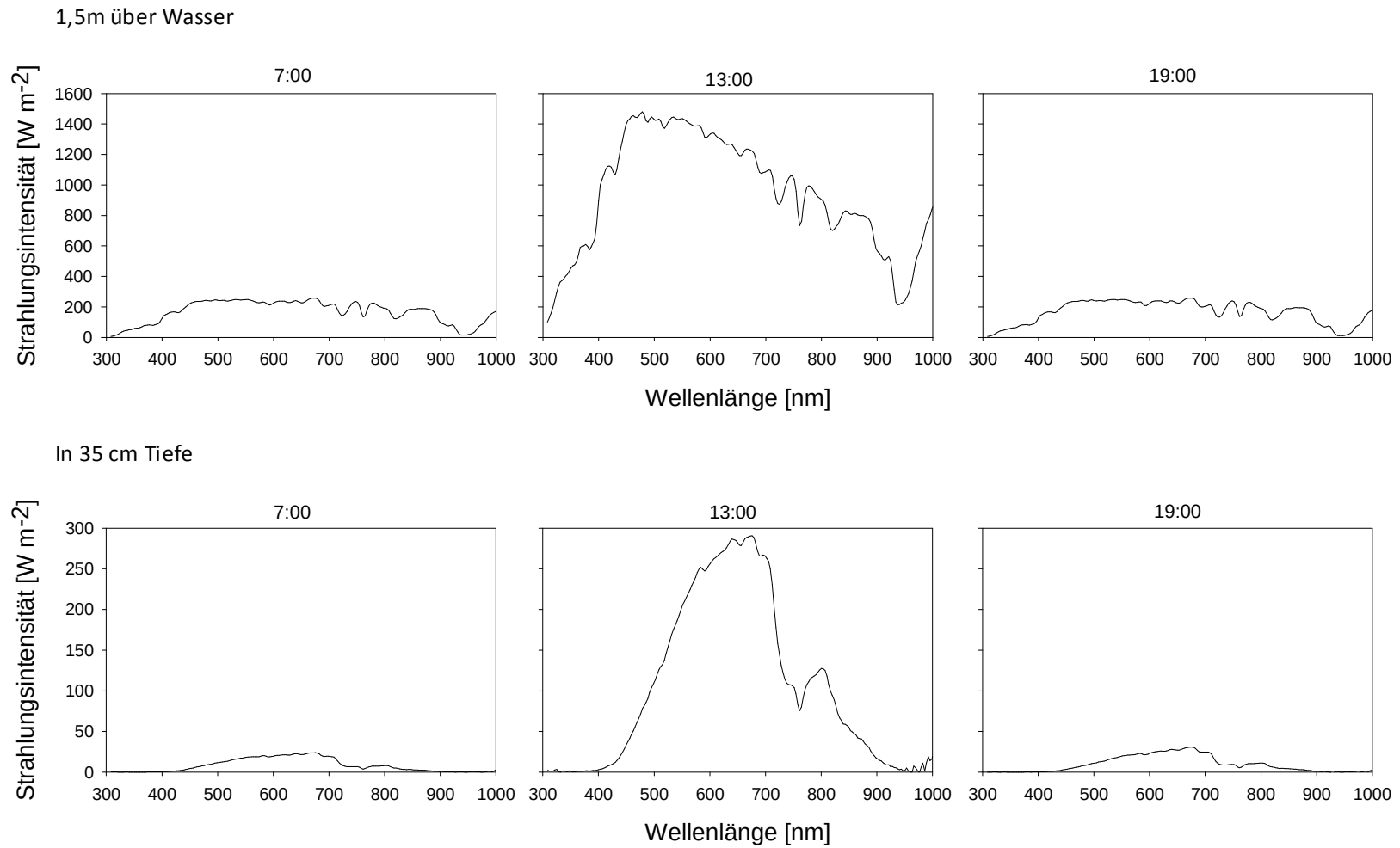
Um 13:00, bei Sonnenhöchststand liegt das Maximum der Strahlung über Wasser bei 478 nm (blaugrün) mit  $1480,2 \text{ W m}^{-2}$ . Ansonsten zeigen sich im Spektrum die typischen Absorptionsbanden des atmosphärischen Wasserdampfs und anderer Gase. Unter Wasser zeigt sich ein stark verändertes, zweigipfeliges Spektrum. Die Anteile im blauen und grünen Bereich sind stark verringert. Das erste Strahlungsmaximum mit  $290,8 \text{ W m}^{-2}$  liegt bei 676 nm (dunkelrot), das zweite mit  $127,4 \text{ W m}^{-2}$  liegt bei 800 nm (kurzwelliger Infrarot-Bereich).

Um 19:00 zeigt sich ein ähnliches Bild wie morgens um 7:00.

In Abb. 19 ist zusätzlich zum Spektrum der Überwasser-Strahlung vom 12.08.08 13:00 die spektrale Zusammensetzung der Albedo, des vom Gewässer abgestrahlten Lichtes, eingezeichnet. Das Maximum des abgestrahlten Lichtes liegt im gelben Bereich bei 580 nm mit  $233 \text{ W m}^{-2}$ .



**Abb. 19** Spektrum der Überwasser-Strahlung von 300 - 1000 nm, vom 12.08.08 13:00 mit Albedo (punktierte Linie)



**Abb. 20** Darstellung der zeitlichen Veränderung des qualitativen Lichtspektrums, über und unter Wasser, im Laufe eines sonnigen und klaren Tages (12.08.08)



## 4.2 Wetterdaten und Pegelstände

### 4.2.1 Wind

Im Zeitraum 11. – 15. Juli zeigt sich in der Stationsbucht bezüglich Windgeschwindigkeit und Windrichtung ein sehr wechselhaftes Bild (vergl. Abb. 21 u. Abb. 22).

Am 11.07. in den frühen Morgenstunden herrscht praktisch Windstille (7:00 0,4 km h<sup>-1</sup>; O), erst gegen Mittag kommt ein wenig Wind auf (13:00 13,5 km h<sup>-1</sup>; SSO) und weht bis in die Abendstunden (19:00 9,6 km h<sup>-1</sup>; S) konstant aus südöstlicher Richtung.

Am nächsten Tag zeigt sich anfangs das gleiche Bild. Am Morgen herrscht praktisch Windstille und ab Mittag weht der Wind mit ca. 10 km h<sup>-1</sup> bis zum Abend. Die Windrichtung pendelt zwischen Süden und Osten. In der Nacht (21:15 ca. 40 km h<sup>-1</sup>; NNW) frischt der Wind mit einer durchziehenden Gewitterfront auf und weht mit Windspitzen bis zu 60 km h<sup>-1</sup> kräftig aus Nordwest. Im Laufe der Nacht lässt der Wind allmählich nach und weht am folgenden Morgen nur noch mit 8 - 10 km h<sup>-1</sup> aus NNW bis O. Die Windsituation ändert sich über Mittag kaum. Erst am späten Nachmittag (17:30 23,5 km h<sup>-1</sup>; NNW) frischt der Wind infolge einer herannahenden Regenfront wieder auf. Ab dem Abend weht der Wind beständig aus nördlicher Richtung mit ca. 28 km h<sup>-1</sup>.

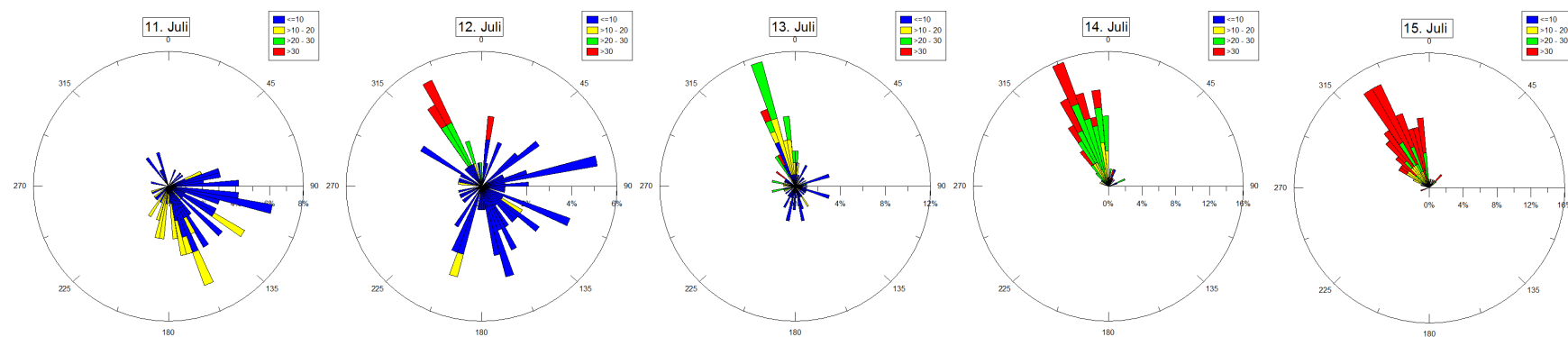
Am 14.07. schläft der Wind zwischen 8:00 – 10:00 ein und weht dann die nächsten zwei Tage konstant aus Nordwest. Die mittlere Windgeschwindigkeit nimmt dabei bis zum Morgen des 15.07 (09:45 40,7 km h<sup>-1</sup>) zu und lässt dann allmählich nach.

Vom 12. – 14. August zeigt sich folgende Windsituation:

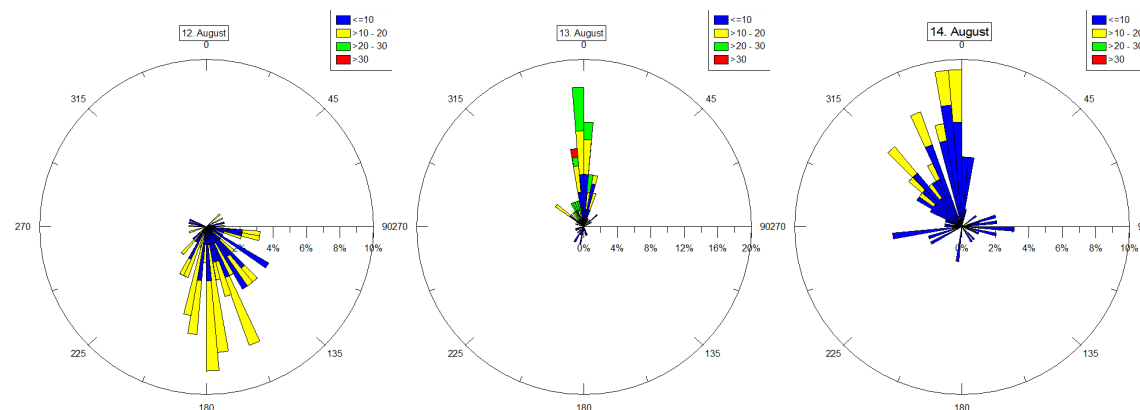
Am 12.08. weht der Wind beständig aus südlicher Richtung, die mittlere Windgeschwindigkeit um 07:00 liegt bei 7 km h<sup>-1</sup> und nimmt bis zum Nachmittag zu (15:45 18,3 km h<sup>-1</sup> (Max.)). Im Laufe der Nacht schläft der Wind ganz ein (0,2 km h<sup>-1</sup> 02:45).

Am 13.08. gegen 3:45 frischt Wind aus konstanter nördlicher Richtung auf und weht mit durchschnittlich 20 km h<sup>-1</sup>. Die Windspitze wird um 7:00 mit 32,4 km h<sup>-1</sup> erreicht. Gegen Mittag schläft der Wind ein und dreht dann auf N bis NW. Mit durchschnittlich 10 km h<sup>-1</sup> weht dann bis zum Abend des 14.08. ein beständiges Lüftchen.

11. – 15. Juli 2008



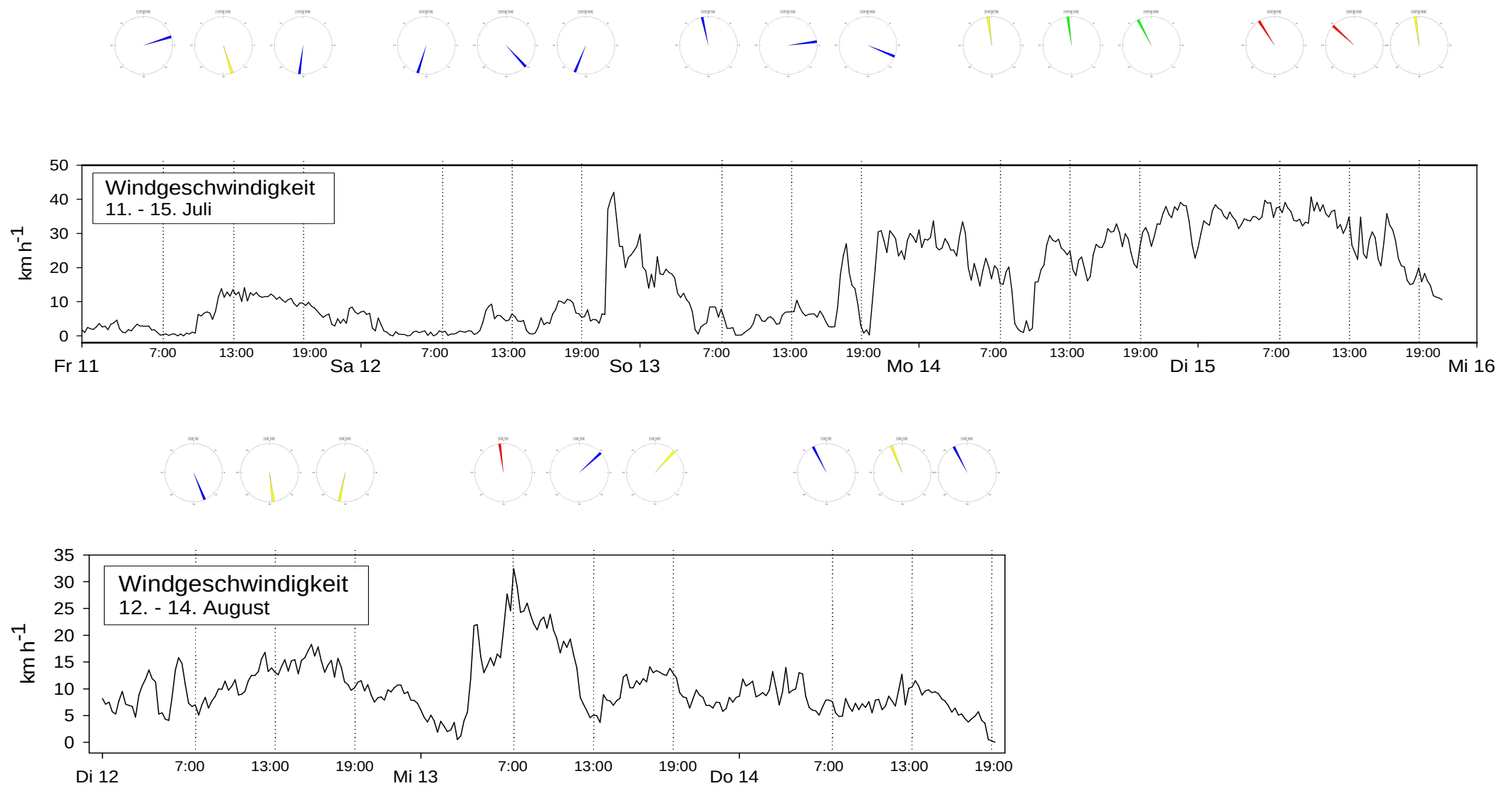
12. – 14. August 2008



**Abb. 21** Zusammenstellung der Änderung der mittleren Wind= geschwindigkeit und Windrichtung (Intervall = 15 min) an den einzelnen Untersuchungstagen im Juli und August.

Die Windrichtung ist wie bei einer Kompassnadel durch die Orientierung der Balken definiert. Die Länge der Balken zeigt den prozentuellen Anteil der jeweiligen Windrichtung an. Die mittleren Windgeschwindigkeiten [ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ] sind in folgende farblich getrennte Stärkekassen eingeteilt:

■  $\leq 10$  ■  $>10 - 20$  ■  $>20 - 30$  ■  $>30$   $\text{km/h}$



**Abb. 22** mittlere Windgeschwindigkeit (15 min Intervall) im Untersuchungszeitraum Juli und August; Windrichtung (Kreisdiagramme) um 7:00, 13:00 und 19:00 der einzelnen Tage

#### 4.2.2 Pegel und Niederschläge

Im Juli schwankt der mittlere Pegel (15 min Intervall) zwischen 155 cm im Minimum und 167 cm maximal (Abb. 11). Der Pegel liegt bei ruhiger Wetterlage (Vormittag des 12.07.) bei 159 cm. Zum kurzfristigen Absinken des Pegels um etwa 4 cm im Mittel, kommt es am 11.07. um 13:00, am 12.07. um 17:45, am 13.07. um 17:45, sowie am 15.07. gegen 18:00. Eine Zunahme des Pegelstandes zeigt sich am 12.07. um 21:15 und im Zeitraum vom 13.07. 19:30 bis 15.07. 09:45. In diesem Zeitraum ist der Pegel häufigen Schwankungen unterzogen.

Vom 12. – 14. August (Abb. 13) liegt der Pegel im Mittel bei 160 cm und schwankt in diesem Zeitraum kaum, lediglich im Bereich von 1 - 2 cm. Ein leichtes Absinken auf 158 cm im Minimum zeigt sich am Vor- und Nachmittag des 12.08. Eine schwache Zunahme des Pegels zeigt sich zeitweise am 13.08.

Die Niederschläge sind im Untersuchungszeitraum Juli (Abb. 23) sehr gering. Insgesamt fallen 14,4 mm Regen, davon 11,4 mm am Vormittag des 14.07. zwischen 04:00 – 9:00.

Vom 12. – 14. August wurde kein Niederschlag gemessen.

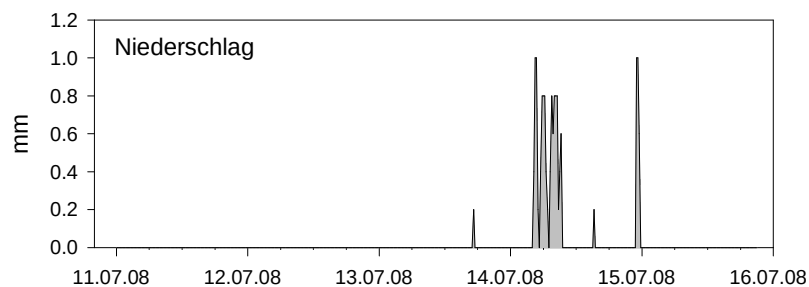


Abb. 23 Niederschlag in der Stationsbucht zwischen 11.07. – 15. 07.08

### 4.3 Biotische Parameter

#### 4.3.1 Chlorophyll-a

Die Menge an extraktiv bestimmtem Chlorophyll-a liegt im Juli (Abb. 24) zwischen  $2,4 \mu\text{g L}^{-1}$  (12.07.08 07:00) im Minimum und  $42,7 \mu\text{g L}^{-1}$  (15.07.08 13:00) maximal, zeigt also gewaltige Unterschiede in einem relativ kurzen Zeitraum. In den ersten beiden Tagen des Untersuchungszeitraums pendelt der Chlorophyll-a Wert zwischen  $2,4 - 8,6 \mu\text{g L}^{-1}$ . Der größte Unterschied innerhalb eines Tages zeigt sich am 13.07.08. Die Werte von 7:00 ( $\sim 9 \mu\text{g L}^{-1}$ ) und 13:00 ( $\sim 8 \mu\text{g L}^{-1}$ ) liegen noch in einem ähnlichem Bereich. Gegen 19:00 zeigt sich eine enorme Zunahme auf  $37,5 \mu\text{g L}^{-1}$ . In den folgenden beiden Tagen bleibt die Menge an Chlorophyll-a in etwa dieser Größenordnung (im Mittel bei ca.  $30 \mu\text{g L}^{-1}$ ) und schwankt zwischen  $21,3 - 42,6 \mu\text{g L}^{-1}$ .

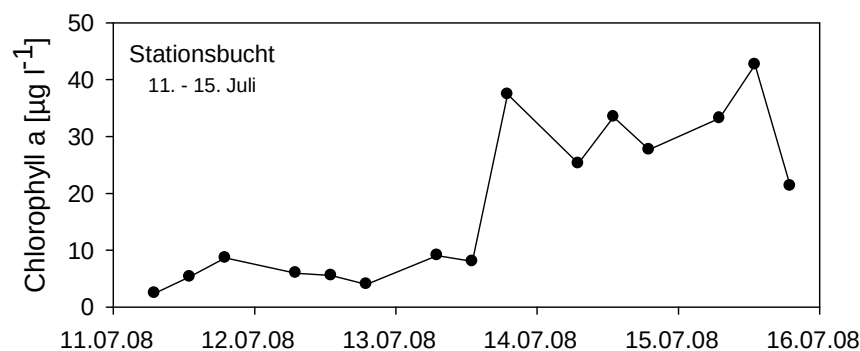


Abb. 24 Chlorophyll-a Werte (gesamt) vom 11.07. – 15.07.08

Im August (Abb. 25) schwanken die Chlorophyll-a Werte zwischen  $4,4 \mu\text{g L}^{-1}$  (14.08.08 19:00) im Minimum und  $27 \mu\text{g L}^{-1}$  (13.08.08 07:00) maximal. Bis auf den doch deutlich erhöhten Wert vom 13.08.08 um 07:00, liegen die Werte im Mittel bei etwa  $8 \mu\text{g L}^{-1}$ .

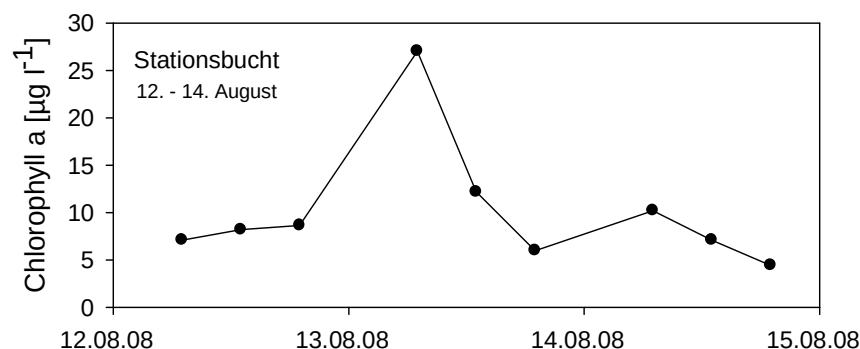


Abb. 25 Chlorophyll-a Werte (gesamt) vom 12.08. – 14.08.08

### 4.3.2 Phytoplankton

#### Zusammensetzung

Im Untersuchungszeitraum (Juli & August) wurden im Zuge der Phytoplankton-Zählungen insgesamt 43 taxonomische Einheiten unterschieden. Davon entfallen 17 auf die Gruppe der Chlorophyceae, 13 auf die Bacillariophyceae, 5 auf die Cyanobakterien, 4 entfallen auf die Gruppe der Euglenophyceae und je 2 auf die Cryptophyceae und Dinophyceae (vergl. Tab. 1).

| taxonomische Einheit              | Juli | August |
|-----------------------------------|------|--------|
| <b>Bacillariophyceae</b>          |      |        |
| <i>Campylodiscus clypeus</i>      | +    | +      |
| <i>Centrales klein</i>            | +    | +      |
| <i>Cyclotella sp.</i>             | +    | +      |
| <i>Cymbella sp.</i>               | +    | +      |
| <i>Diatoma sp.</i>                | +    | -      |
| <i>Fragillaria sp. Band</i>       | +    | -      |
| <i>Fragillaria ulna var. acus</i> | +    | +      |
| <i>Gomphonema sp.</i>             | +    | -      |
| <i>Gyrosigma sp.</i>              | +    | -      |
| <i>Navicula sp.</i>               | +    | +      |
| <i>Nitzschia sp.</i>              | -    | +      |
| <i>Pennales klein</i>             | +    | +      |
| <i>Surirella peisonis</i>         | +    | +      |
| <b>Chlorophyceae</b>              |      |        |
| <i>Chodatella sp.</i>             | +    | -      |
| <i>Closterium sp.</i>             | +    | +      |
| <i>Cosmarium sp.(subcostatum)</i> | +    | +      |
| <i>Crucigeniella sp.</i>          | +    | -      |
| <i>Oocystis sp. klein</i>         | +    | +      |
| <i>Monoraphidium contortum</i>    | +    | +      |
| <i>Oocystis lacustris</i>         | +    | +      |
| <i>Pediastrum boryanum</i>        | +    | +      |
| <i>Pediastrum simplex</i>         | +    | -      |
| <i>Pediastrum duplex</i>          | +    | +      |
| <i>Scenedesmus sp. klein</i>      | +    | -      |
| <i>Scenedesmus sp. (1)</i>        | +    | -      |
| <i>Scenedesmus cf. ecornis</i>    | +    | +      |
| <i>Scenedesmus sp. (2).</i>       | +    | -      |
| <i>Schroederia robusta</i>        | +    | +      |
| <i>Staurostrum sp.</i>            | +    | +      |
| <i>Tetraedron minimum</i>         | +    | +      |
| <b>Cryptophyceae</b>              |      |        |
| <i>Cryptomonas cf. erosa</i>      | +    | +      |
| <i>Rhodomonas sp.</i>             | +    | -      |

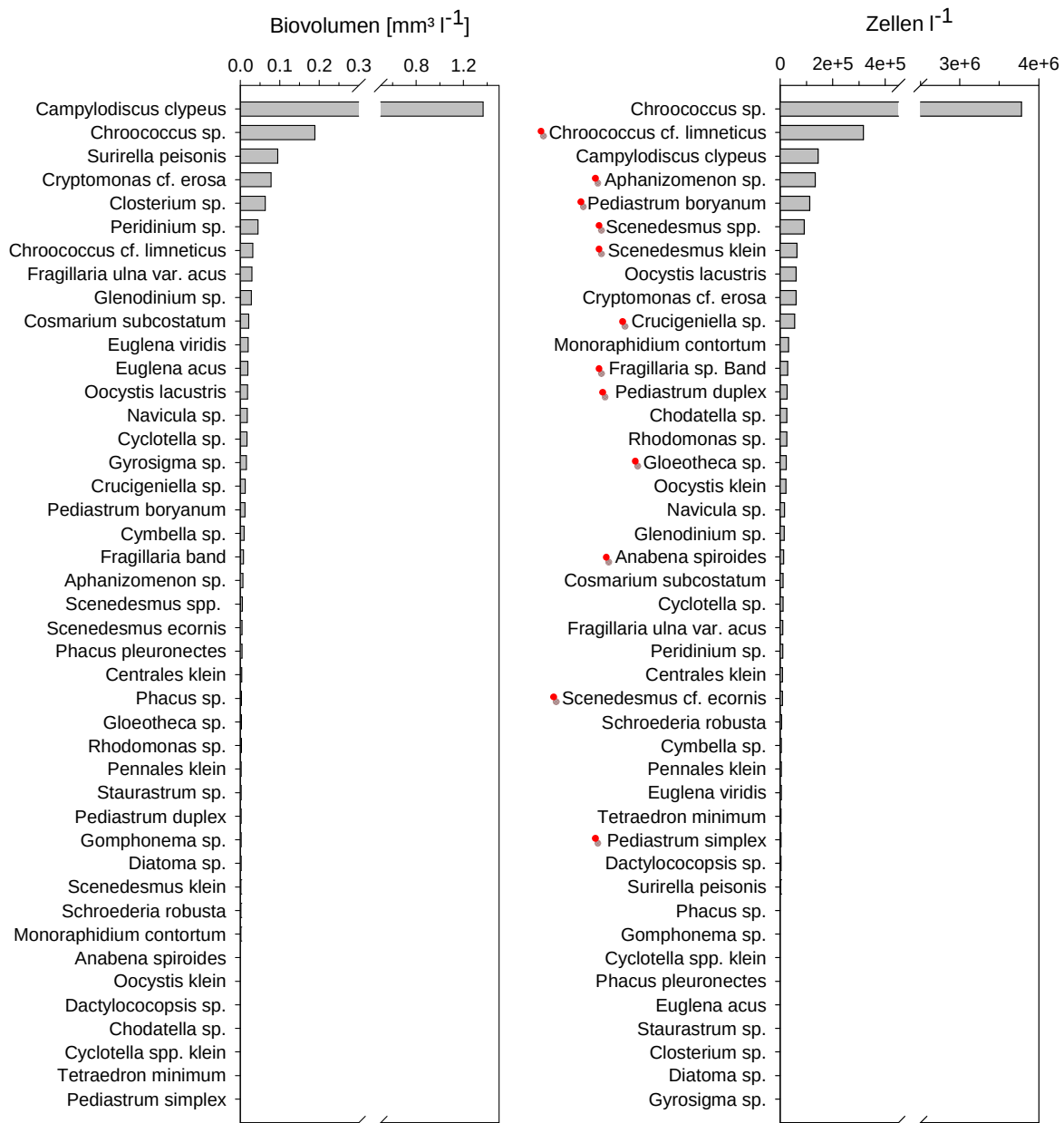
| <b>Cyanobakterien</b>            |   |   |
|----------------------------------|---|---|
| <i>Aphanizomenon sp.</i>         | + | + |
| <i>Chroococcus cf limneticus</i> | + | + |
| <i>Chroococcus sp</i>            | + | + |
| <i>Gloeotheca sp.</i>            | + | - |
| <i>Dactylocopsis sp.</i>         | + | + |
| <b>Dinophyceae</b>               |   |   |
| <i>Glenodinium sp.</i>           | + | + |
| <i>Peridinium spp.</i>           | + | + |
| <b>Euglenophyceae</b>            |   |   |
| <i>Euglena acus</i>              | + | + |
| <i>Euglena viridis</i>           | + | + |
| <i>Phacus pleuronectes</i>       | + | + |
| <i>Phacus sp.</i>                | + | + |
|                                  |   |   |
|                                  |   |   |

**Tab. 1** Liste der gefundenen „Arten“ (taxonomische Einheiten) im Juli und August 2008; „+“ bzw. „-“ bezeichnet, dass die Art im entsprechenden Monat gefunden wurde, bzw. „fehlt“.

In Abb. 26 sind die gemittelten Werte für Zellzahl und Biovolumen pro Liter, für die jeweiligen taxonomischen Einheiten, im Untersuchungszeitraum Juli (11.07.08 – 15.07.08) gegenüber gestellt. Die zahlenmäßig häufigste Gruppe ist die der kokkalen Cyanobakterien mit durchschnittlich  $3,8 \times 10^6$  Zellen  $L^{-1}$ . Die, der Einfachheit halber, als *Chroococcus sp.* bezeichnete tax. Einheit wird wahrscheinlich von mehreren, morphologisch nur schwer unterscheidbaren Arten gebildet. Zahlenmäßig gefolgt wird diese von der koloniebildenden Art *Chroococcus cf. limneticus* mit durchschnittlich  $3,2 \times 10^6$  Zellen  $L^{-1}$ . Weitere häufige Arten sind: *Campylodiscus clypeus* ( $\emptyset \sim 1,5 \times 10^6$  Zellen  $L^{-1}$ ), die fädige Cyanobakterie *Aphanizomenon sp. (A. flos-aquae)* ( $\emptyset \sim 1,3 \times 10^6$  Zellen  $L^{-1}$ ), die aus einem Coenobium von Einzelzellen bestehende Desmidiaceae *Pediastrum boryanum* ( $\emptyset 1,12 \times 10^5$  Zellen  $L^{-1}$ ), *Scenedesmus sp.* ( $\emptyset 91 \times 10^3$  Zellen  $L^{-1}$ ), eine weitere kleinere Scenedesmus-Art ( $\emptyset 65 \times 10^3$  Zellen  $L^{-1}$ ), *Oocystis lacustris* ( $\emptyset 61 \times 10^3$  Zellen  $L^{-1}$ ) *Cryptomonas cf. erosa* ( $\emptyset 61 \times 10^3$  Zellen pro Liter), *Crucigeniella sp.* ( $\emptyset 55 \times 10^3$  Zellen  $L^{-1}$ ) sowie *Monoraphidium contortum* ( $\emptyset 32 \times 10^3$  Zellen  $L^{-1}$ ).

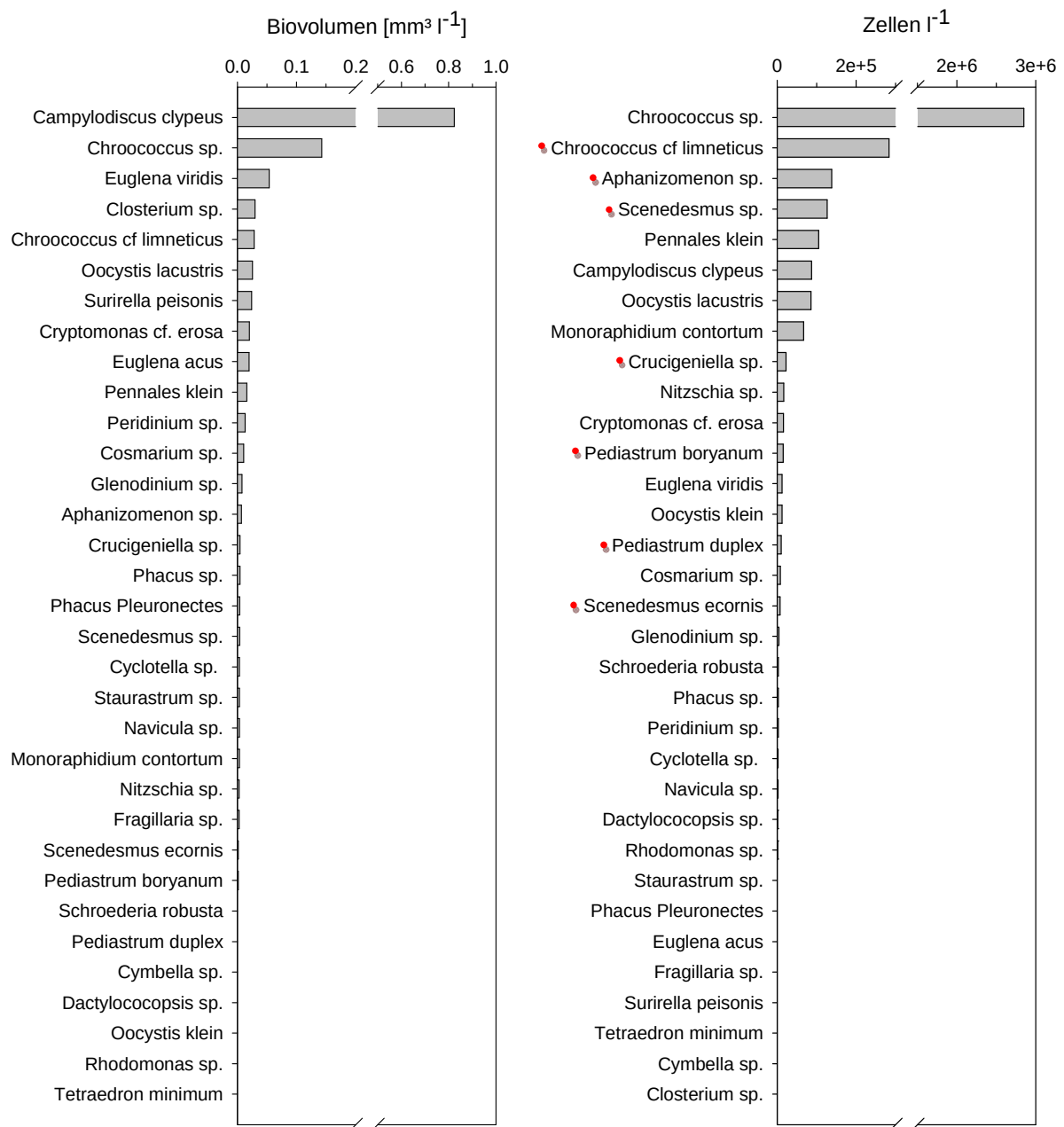
In Abb. 27 sind die Werte für mittlere Zellzahl und Biovolumen für den Zeitraum 12.08. – 14.08.08 gegenübergestellt. Die häufigste Art ist, wie im Juli, *Chroococcus sp.* ( $\emptyset 2,9 \times 10^6$  Zellen  $L^{-1}$ ), gefolgt von: *Chroococcus cf. limneticus* ( $\emptyset 2,8 \times 10^5$  Zellen  $L^{-1}$ ), *Aphanizomenon sp. (A. flos-aquae)* ( $\emptyset \sim 1,4 \times 10^5$  Zellen  $L^{-1}$ ), *Scenedesmus sp.* ( $\emptyset 1,3 \times 10^5$  Zellen  $L^{-1}$ ), kleine pennale Diatomeen ( $\emptyset 1,13 \times 10^5$  Zellen  $L^{-1}$ ), *Campylodiscus clypeus* (ca.  $88 \times 10^3$  Zellen  $L^{-1}$ ),

*Oocystis lacustris* ( $\emptyset 86 \times 10^3$  Zellen  $L^{-1}$ ) und *Monoraphidium contortum* ( $\emptyset 67 \times 10^3$  Zellen  $L^{-1}$ ).



**Abb. 26** Gegenüberstellung von Zellzahl und Biovolumen der jeweiligen Taxa. Die Werte für Zellzahl und Biovolumen pro Liter sind über den gesamten Untersuchungszeitraum (11.07.08 - 15.07.08) gemittelte Werte. Arten die mit einem roten Punkt gekennzeichnet sind, treten „stets“ in Kolonien oder in sog. Coenobien auf.



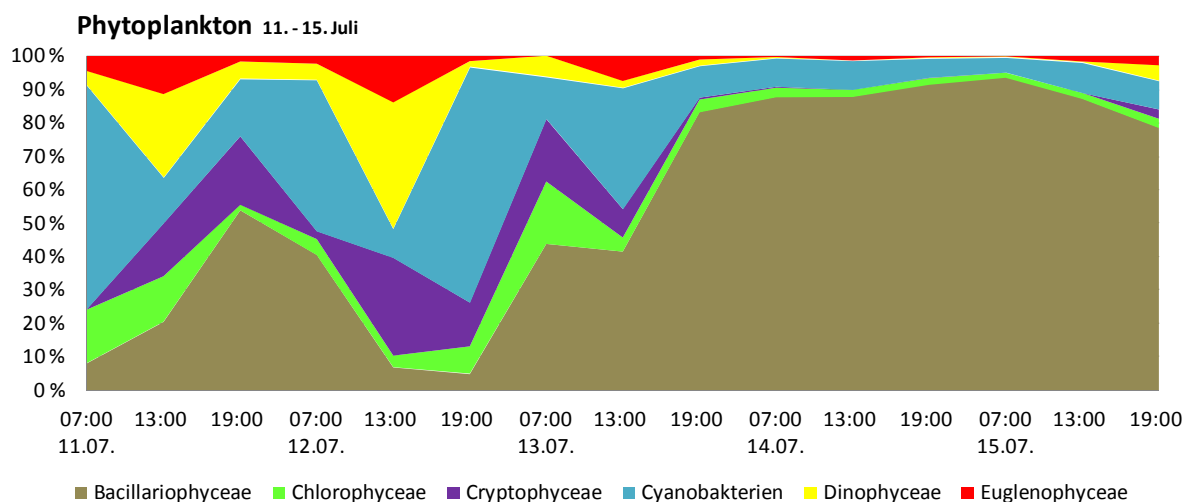


**Abb. 27** Gegenüberstellung von Zellzahl und Biovolumen der jeweiligen Taxa. Die Werte für Zellzahl und Biovolumen pro Liter sind über den gesamten Untersuchungszeitraum (12.08.08 - 14.08.08) gemittelte Werte. Arten die mit einem roten Punkt gekennzeichnet sind, treten „stets“ in Kolonien oder in sog. Coenobien auf.

### 4.3.3 Biovolumen

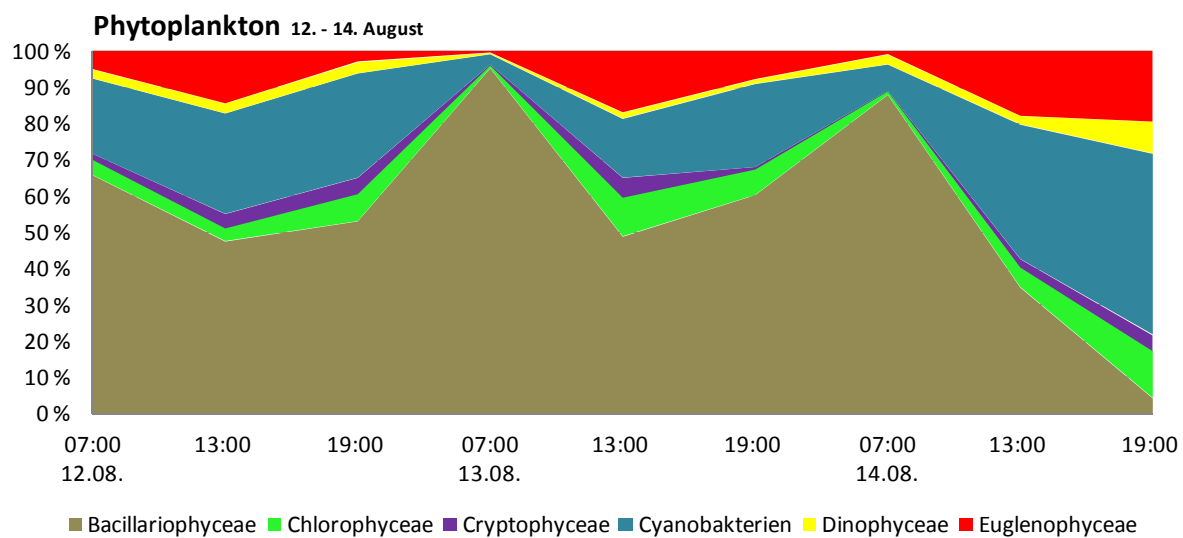
Weitaus wichtiger bzw. informativer als die reine Zellzahl ist das Biovolumen. In Abb. 26 ist das mittlere Biovolumen pro Liter für die unterschiedlichen taxonomischen Einheiten, im Zeitraum vom 11.07. – 15.07.08 dargestellt. Dabei zeigt sich, dass das größte Biovolumen von der Bacillariophyceae *Campylodiscus clypeus* mit durchschnittlich  $1,37 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$  gestellt wird, das entspricht durchschnittlich 63,6 % des gesamten Biovolumens. Weitere für das Biovolumen wichtige Arten sind: *Chroococcus* sp. ( $\bar{\varnothing} 0,19 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ ), *Surirella peisonis* ( $\bar{\varnothing} 0,0944 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ ), *Cryptomonas* cf. *erosa* ( $\bar{\varnothing} 0,0779 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ ), *Closterium* sp. ( $\bar{\varnothing} 0,0628 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ ) sowie *Peridinium* sp. ( $\bar{\varnothing} 0,0449 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ ). Im August (Abb. 27) zeigt sich ein ähnliches Bild. Der Großteil des Biovolumens entfällt, wie im Juli, auf die Art *Campylodiscus clypeus* mit durchschnittlich  $0,824 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ , gefolgt von: *Chroococcus* sp. ( $\bar{\varnothing} 0,1425 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ ), *Euglena viridis* ( $\bar{\varnothing} 0,054 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ ) und einigen anderen.

In Abb. 28 ist die Änderung der prozentuellen Zusammensetzung des Biovolumens vom 11.07. – 15.07.08 dargestellt. Vom 11.07. 7:00 Uhr bis zum 13.07. 13:00 unterliegt die Zusammensetzung des Biovolumens starken Schwankungen und wird abwechselnd von verschiedenen Gruppen dominiert: Cyanobakterien ( $\bar{\varnothing} 33,5 \%$ ), Bacillariophyceae ( $\bar{\varnothing} 27 \%$ ), Cryptophyceae ( $\bar{\varnothing} 13,4 \%$ ), Dinophyceae ( $\bar{\varnothing} 10,8 \%$ ), Chlorophyceae ( $\bar{\varnothing} 8,7 \%$ ) und Euglenophyceae ( $\bar{\varnothing} 5,4 \%$ ). Vom Abend des 13.07. (19:00) bis zum Abend des 15.07.08 (19:00) dominieren die Bacillariophyceae mit durchschnittlich 87 % (93,6 % maximal) des Gesamt-Biovolumens klar. Der Anteil der Cyanobakterien liegt bei durchschnittlich 7,7 %.



**Abb. 28** prozentuelle Zusammensetzung des Biovolumens vom 11.07. - 15.07.08 (Zeitachse ist nicht linear)

Vom 12.08. – 14.08.08 zeigt sich bezüglich der zeitlichen Änderung der prozentuellen Zusammensetzung des Biovolumens ein einheitlicheres Bild (Abb. 29). Das Phytoplankton wird (mit Ausnahme vom 14.08. 13:00 & 19:00) klar von den Bacillariophyceae dominiert. Im Durchschnitt liegt deren Anteil bei ca. 55 % und erreicht mit 95 % (13.08 7:00) und 88 % (14.08 7:00) deutliche Maximalwerte. Mit durchschnittlich 24 % (3 % min. – 50 % max.) stellen die Cyanobakterien die zweitwichtigste Gruppe. Die Euglenophyceae (10 % im Mittel) stehen an dritter Stelle, darauf folgen die Chlorophyceae mit durchschnittlich 6 %, Cryptophyceae und Dinophyceae spielen mit durchschnittlich 2,6 % bzw. 2,7 % eine geringere Rolle.



**Abb. 29** prozentuelle Zusammensetzung des Biovolumens vom 12.08. - 14.08.08 (Zeitachse ist nicht linear)

In Abb. 30 ist die Änderung des tatsächlichen Biovolumens zwischen 11.07. – 15.07.08, für das Gesamt-Biovolumen, sowie für die einzelnen Phytoplankton-Gruppen zusammengefasst. Vom 11.07 7:00 – 13.07. 13:00 schwankt das Gesamt-Biovolumen, mit Ausnahme von zwei kleinen Spitzen am 11.07. 19:00 ( $1,17 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ ) und am 13.07. 7:00 ( $1,7 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ ), kaum und liegt im Mittel bei ca.  $0,76 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ . Am Abend des 13.07. (19:00) kommt es zu einem sprunghaften Anstieg auf  $3,4 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ . In den folgenden zwei Tagen bleibt das Biovolumen ähnlich hoch und liegt im Mittel bei  $3,66 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$  ( $3,95 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$  max.). Erst am Abend des 15.07. (19:00) sinkt der Wert wieder auf rund  $1,07 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ .

Da die Bacillariophyceae das Biovolumen dominieren folgt dieses exakt dem Verlauf des Gesamt-Biovolumens. Der Maximalwert liegt bei  $3,64 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$  (15.07. 7:00).

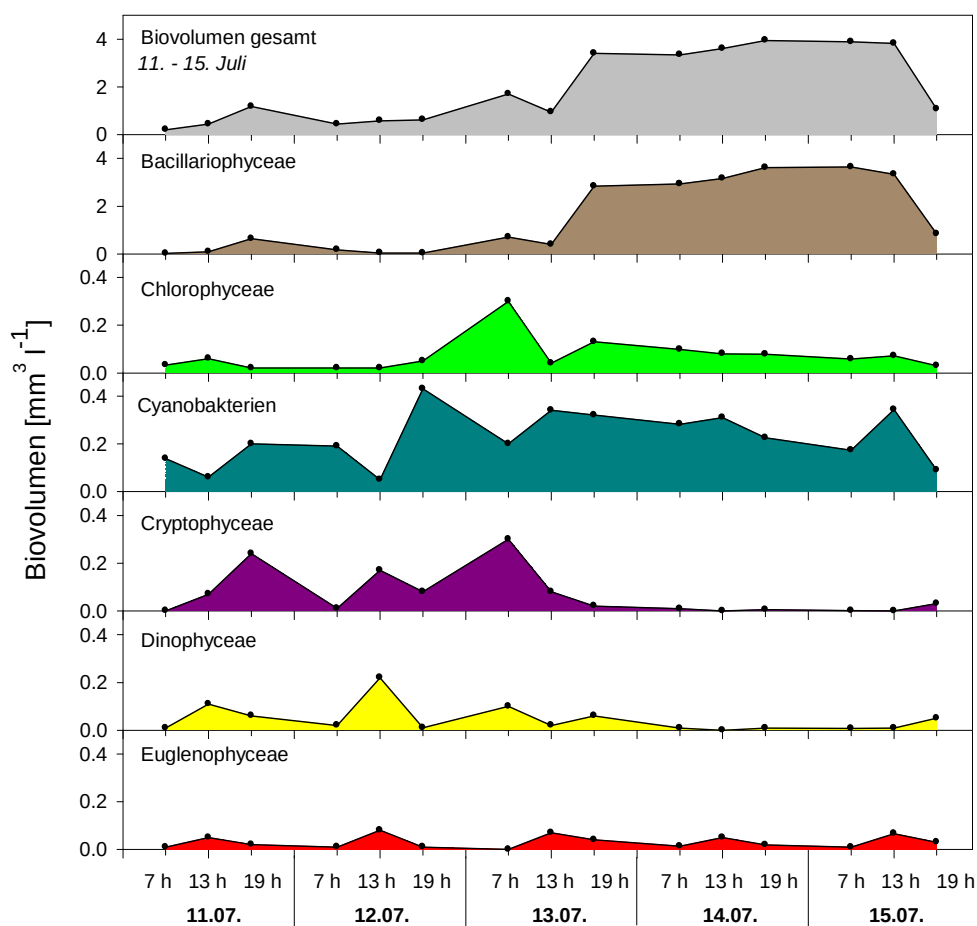
Vom 11.07 7:00 – 12.07. 19:00 liegt das Biovolumen der Chlorophyceae bei durchschnittlich  $0,034 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ . Am 13.07. 7:00 zeigt sich eine Spitze mit  $0,3 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ , im restlichen Teil der Woche ist das Biovolumen mit durchschnittlich  $0,073 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$  rund zweimal so hoch.

Das Biovolumen der Cyanobakterien schwankt um einen Mittelwert von ca.  $0,223 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$  und zeigt am 12.07 19:00 ein Maximum mit  $0,43 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ .

Die Cryptophyceae stellen nur vom 11. – 13.07. einen nennenswerten Teil des Biovolumens und schwanken zwischen praktisch 0 bis maximal  $0,3 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ . (13.07. 7:00) relativ stark.

Das Biovolumen der Dinophyceae zeigt einen ähnlichen Verlauf wie das der Cryptophyceae und erreicht maximal  $0,22 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$  (12.07.13:00).

Das Biovolumen der Euglenophyceae zeigt sich im Wesentlichen während des ganzen Untersuchungszeitraums unverändert ( $\emptyset 0,032 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ ) und schwankt vor allem im Tagesverlauf. Die Tagesmaxima zeigen sich jeweils um 13:00 ( $0,08 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$  maximal).



**Abb. 30** Werte des Biovolumens vom 11.07. – 15.07.08 für das Gesamt-Biovolumen und die jeweiligen Phytoplankton-Gruppen

Abb. 31 zeigt den Verlauf des Biovolumens vom 12.08. – 14.08.08. Mit Ausnahme einer Spitze am 13.08. 7:00 ( $3,59 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ ) liegt der Wert des Gesamt-Biovolumens ziemlich gleichbleibend bei durchschnittlich  $0,8 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ .

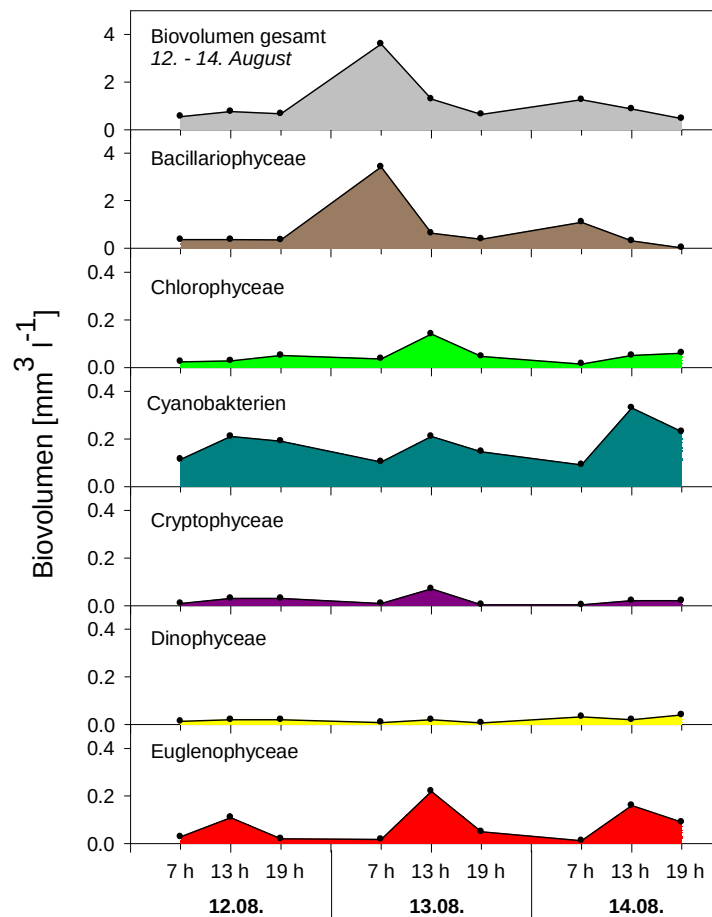
Das Biovolumen der Bacillariophyceae zeigt wiederum denselben Verlauf mit maximal  $3.41 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ .

Die Chlorophyceae liegen mit Ausnahme einer kleinen Spitze am 13.08. 13:00 ( $0,14 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ ) gleichbleibend bei ca.  $0,05 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ .

Das Biovolumen der Cyanobakterien schwankt zwischen  $0,103 - 0,33 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$  und liegt im Mittel bei rund  $0,18 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ .

Die Cryptophyceae ( $\emptyset 0,022 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ ) sowie die Dinophyceae ( $\emptyset 0,02 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ ) stellen nur einen kleinen Teil des Gesamt-Biovolumens dar.

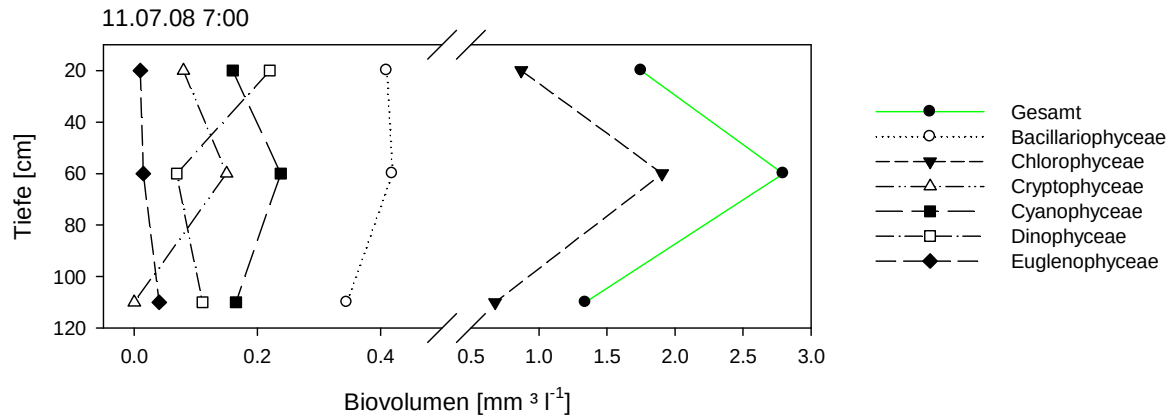
Das Biovolumen der Euglenophyceae schwankt, wie schon im Juli, vor allem im Tagesverlauf stark und zeigt je ein tägliches Maxima um 13:00 ( $0,22 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1} \text{ max.}$ ).



**Abb. 31** Werte des Biovolumens vom 12.08. – 14.08.08 für das Gesamt-Biovolumen und die jeweiligen Phytoplankton-Gruppen

#### 4.3.4 Vertikalverteilung des Biovolumens

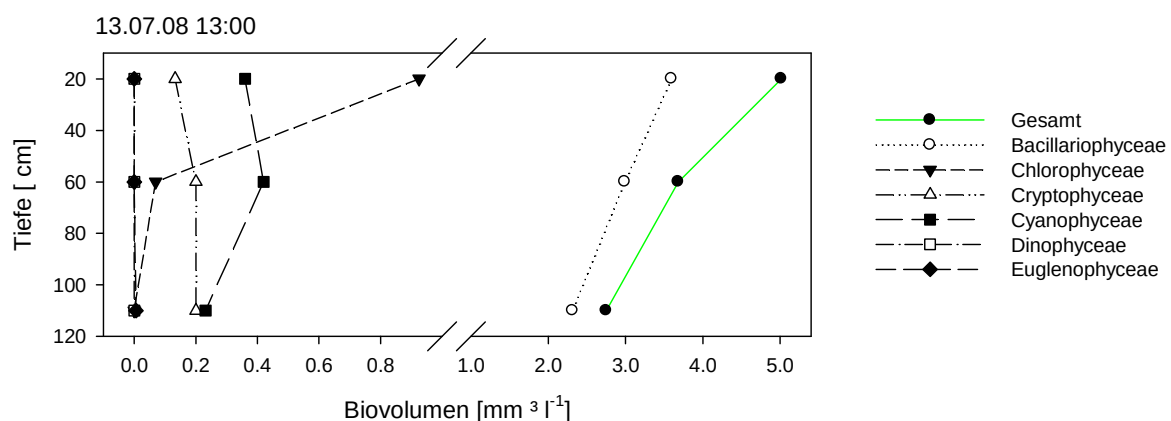
In Abb. 32, Abb. 33 und Abb. 34 sind Vertikalprofile des Biovolumens gesamt und in einzelne Phytoplankton-Gruppen gesplittet, exemplarisch an drei verschiedenen Tagen im Juli und zu drei verschiedenen Tageszeiten, dargestellt.



**Abb. 32** Vertikalprofile (11.07. 7 Uhr) der Biovolumina Gesamt und in einzelne Phytoplankton-Gruppen gesplittet

Am 11.07. um 7 Uhr morgens (Abb. 32) liegt das Gesamt-Biovolumen in 20 cm Tiefe bei  $1,75 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ , in einer mittleren Wassertiefe von 60 cm zeigt sich ein Maximum mit ca.  $2,796 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$  und zum Gewässergrund hin nimmt das Biovolumen wieder auf  $1,34 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$  ab. Interessanterweise liegen die Werte der Chlorophyceae, welche an diesem Tag den Hauptteil des Biovolumens ausmachen (max.  $1,91 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ ), in diesen 3 Proben wesentlich höher sind, als in der Phytoplankton-Zählprobe Probe aus 35 cm (vergl. Abb. 30), in der die Cyanobakterien den Hauptbestandteil des Biovolumens bilden.

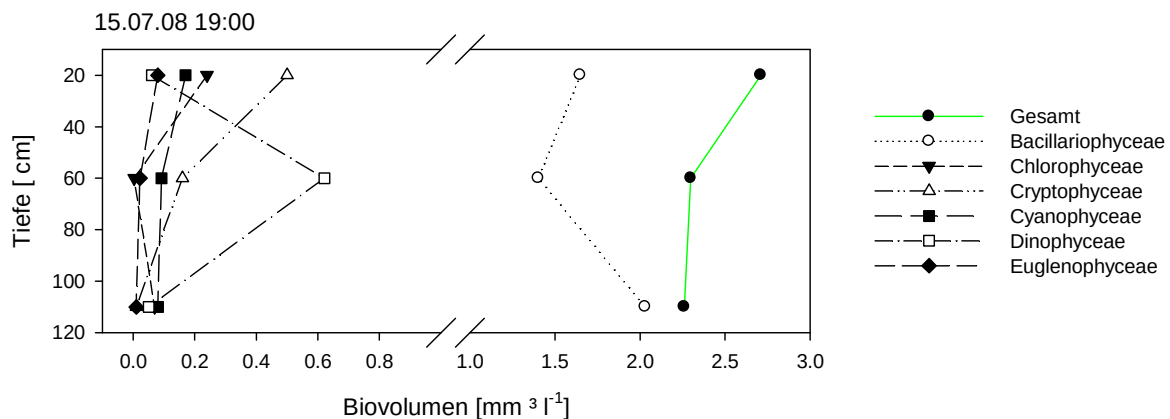
Nach den Cyanobakterien bilden die Bacillariophyceae mit durchschnittlich  $0,39 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$  die zweit größte Gruppe und zeigen eine gleichmäßige Verteilung des Biovolumens in der Wassersäule. Die übrigen Gruppen zeigen ebenso kaum Unterschiede hinsichtlich ihrer Tiefen-Verteilung und stellen nur einen kleinen Teil des Gesamt-Biovolumens dar.



**Abb. 33** Vertikalprofile (13.07. 13 Uhr) der Biovolumina Gesamt und in einzelne Phytoplankton-Gruppen gesplittet

Am 13.07. um 13 Uhr (Abb. 33) zeigt das Gesamt-Biovolumen ein oberflächennahes (in 20 cm) Maximum mit  $5,02 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$  und nimmt mit zunehmender Tiefe stetig ab und beträgt über Grund nur mehr  $2,75 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ . Den Hauptbestandteil bilden die Bacillariophyceae mit

maximal  $3,60 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$  (in 20 cm). Die Cyanobakterien zeigen keine großen Unterschiede bezüglich der Wassertiefe und liegen im Durchschnitt bei  $0,34 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ . Ähnliches gilt für die Cryptophyceae mit  $0,18 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$  im Mittel. Die Chlorophyceae zeigen ein Maximum mit  $0,925 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$  in 20 cm Tiefe und nehmen mit der Tiefe stark ab. Dinophyceae und Euglenophyceae spielen keine Rolle



**Abb. 34** Vertikalprofile (15.07. 19 Uhr) der Biovolumina Gesamt und in einzelne Phytoplankton-Gruppen gesplittet

Am 15.07 um 19:00 (Abb. 34) liegt das Maximum des Gesamt Biovolumens bei 20 cm Tiefe mit  $2,71 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ , in 60 und 110 cm bei ca.  $2,3 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ . Den größten Teil stellen wiederum die Bacillariophyceae dar. Deren Maximum liegt am diesem Tag knapp über Grund in 110 cm Tiefe mit  $2,03 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ . Mit Ausnahme der Cryptophyceae, die ein oberflächennahes Maximum mit  $0,50 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$  zeigen und den Dinophyceae die in 60 cm Tiefe auf  $0,62 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$  kommen, spielen die übrigen Gruppen für das Biovolumen kaum eine Rolle.

#### 4.3.5 Biomasse

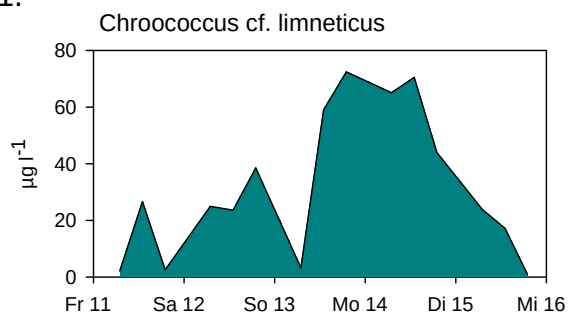
Die Werte der Biovolumina in den Gruppen-Übersichtsgrafiken Abb. 30 und Abb. 31, sind unter der Annahme die Dichte sei gleich 1, auch als Biomassewerte zu verstehen.

Dabei gilt  $1 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1} = 1 \text{ mg L}^{-1} = 1000 \mu\text{g L}^{-1}$ .

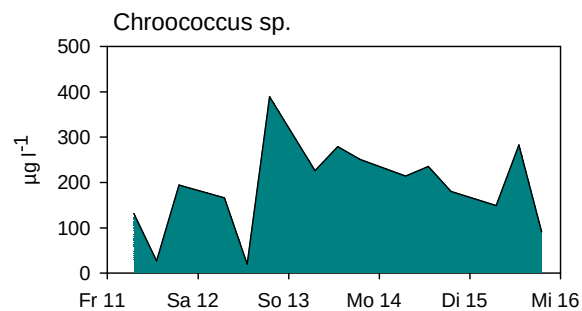
Im Folgenden sind die Biomassen (in  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) der einzelnen taxonomischen Einheiten, im Verlauf der jeweiligen Untersuchungszeiträume, (nach Phytoplankton-Gruppen geordnet, vergl. Abb. 30 und Abb. 31) dargestellt:

11. – 15. Juli

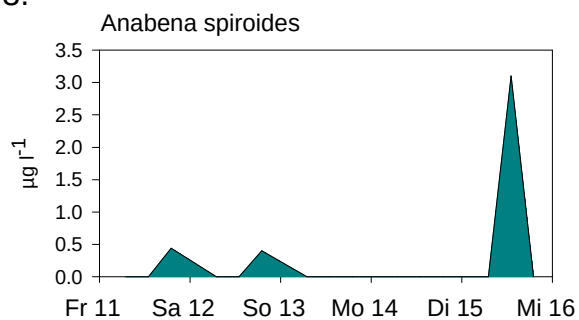
1.



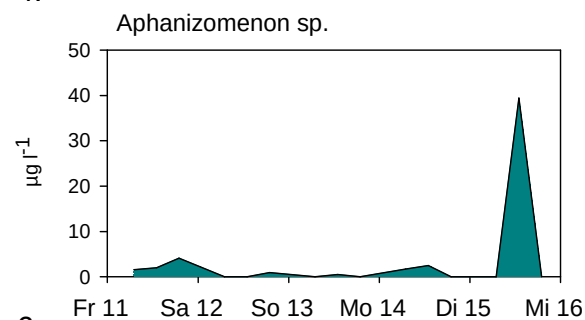
2.



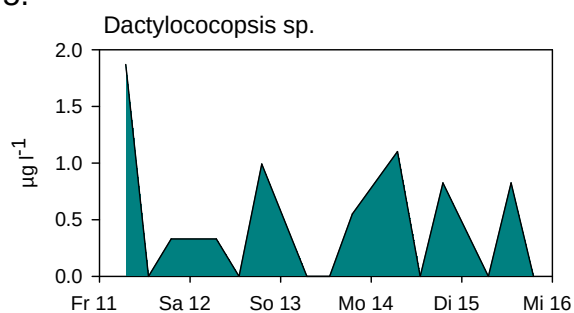
3.



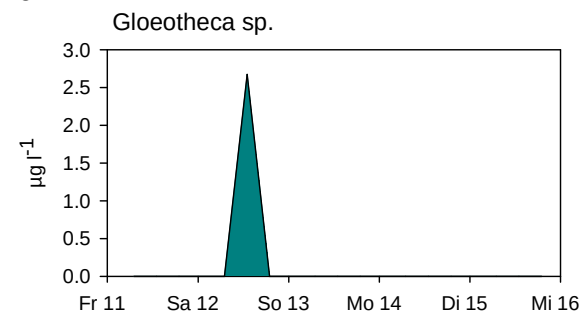
4.



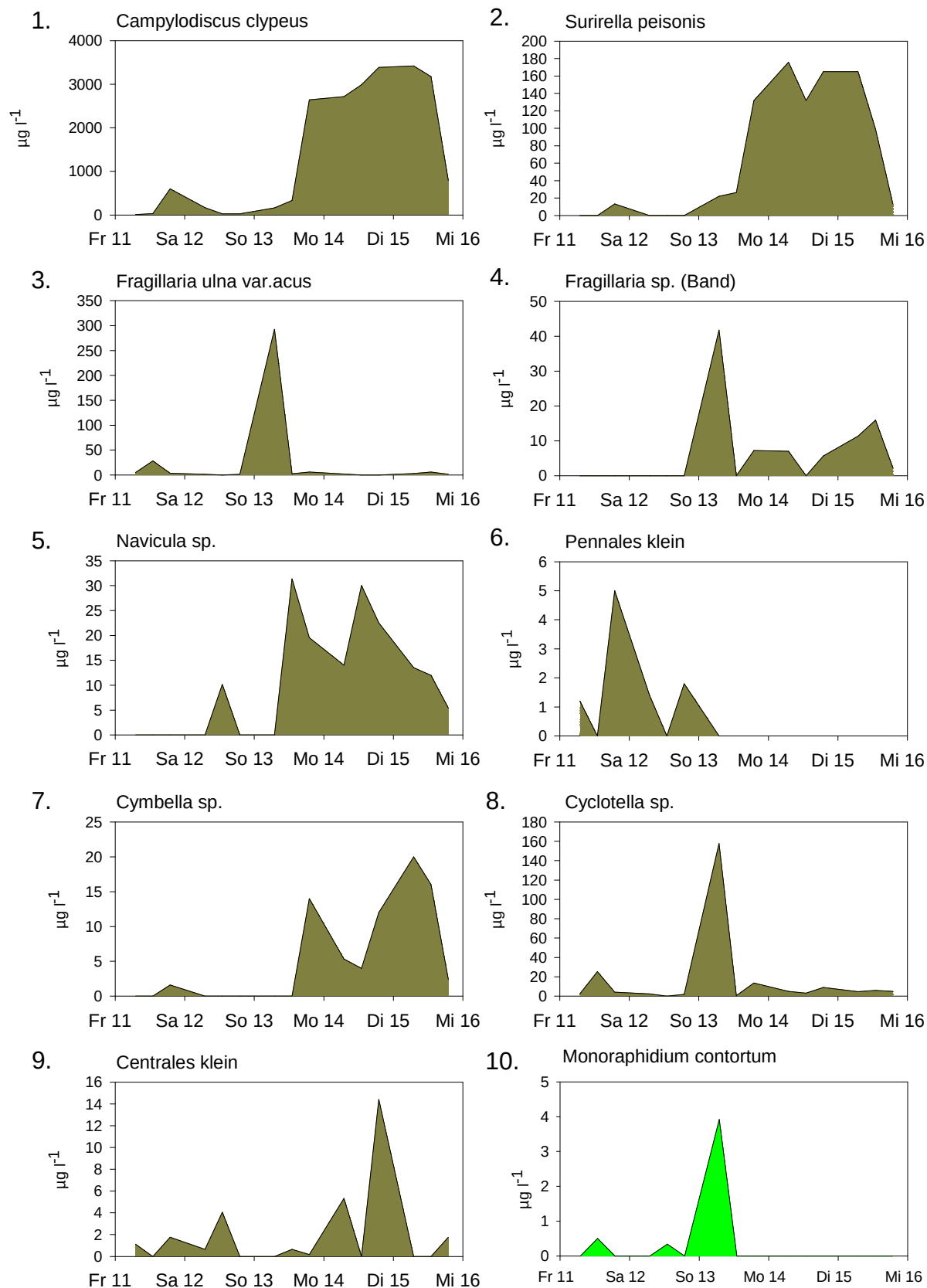
5.

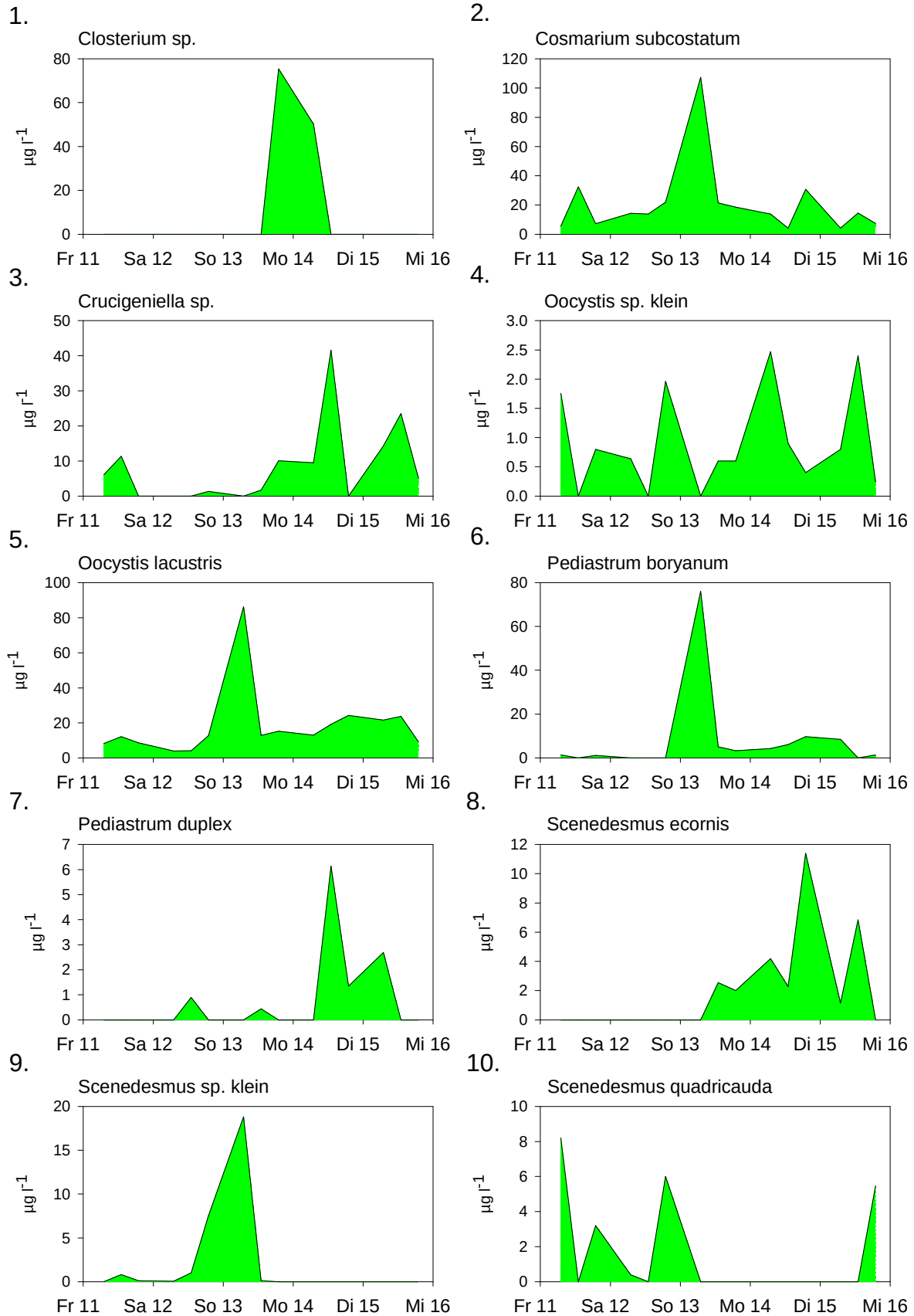


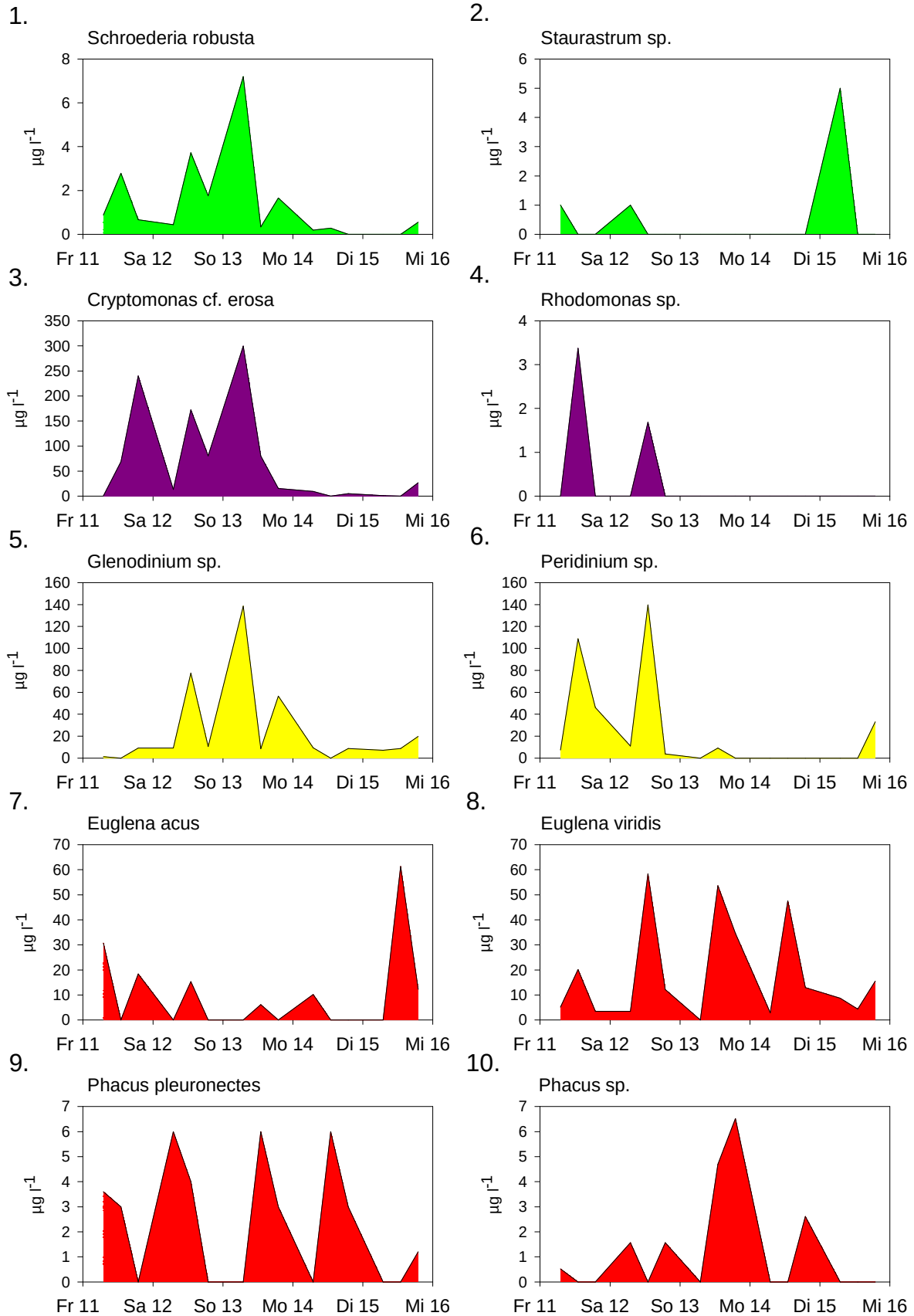
6.





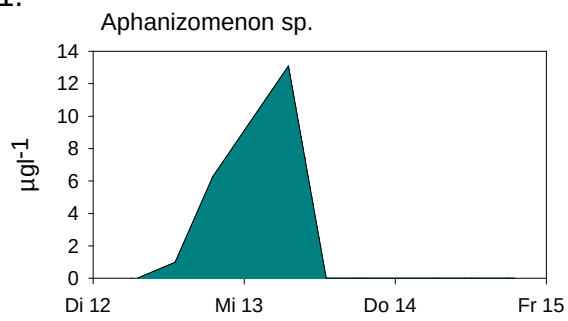




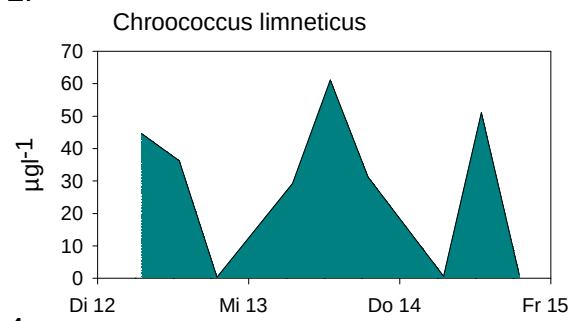


12. – 14. August

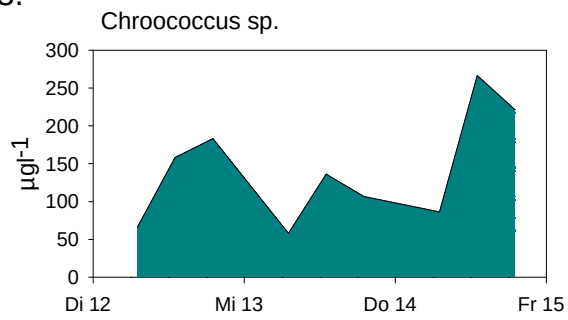
1.



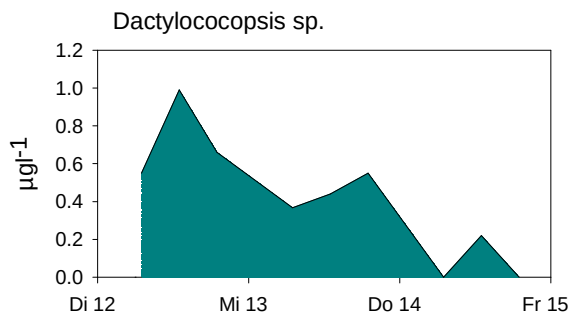
2.



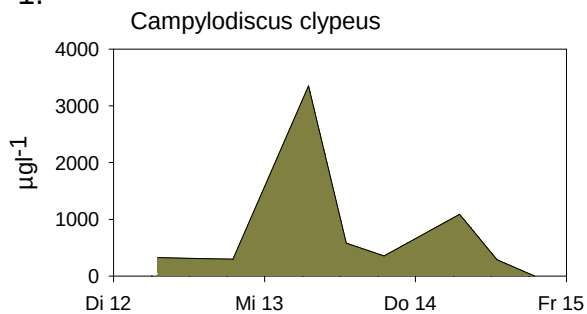
3.



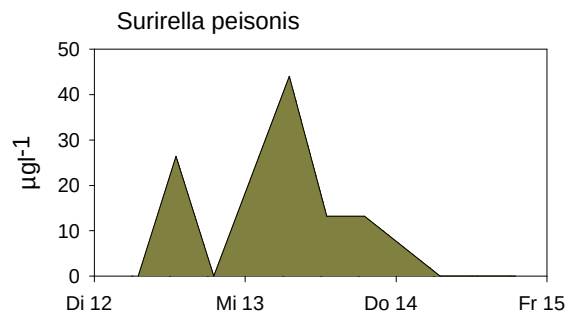
4.



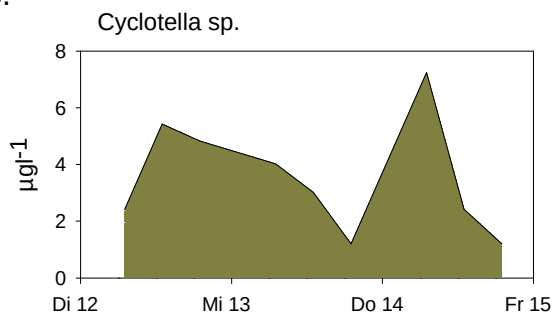
1.



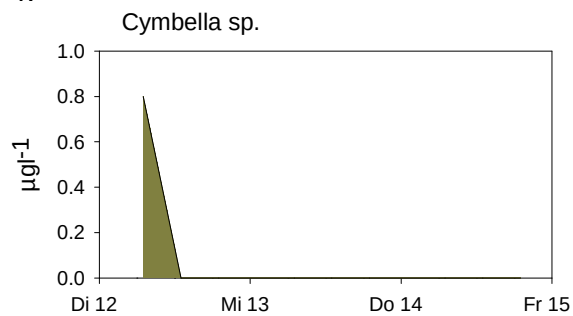
2.



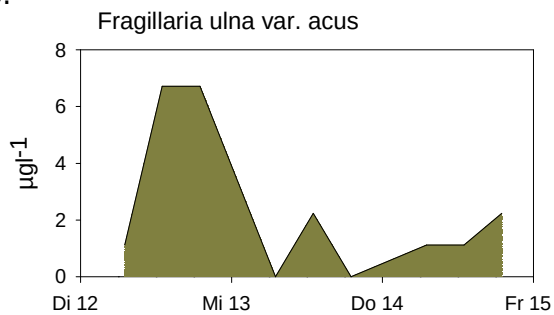
3.



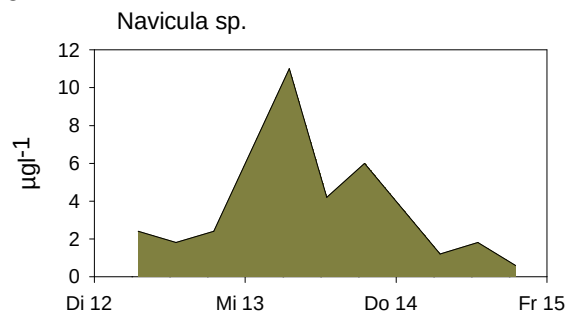
4.



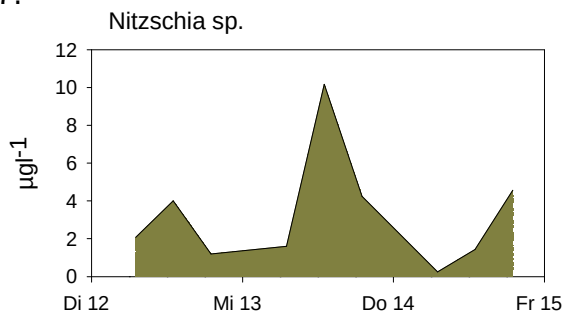
5.



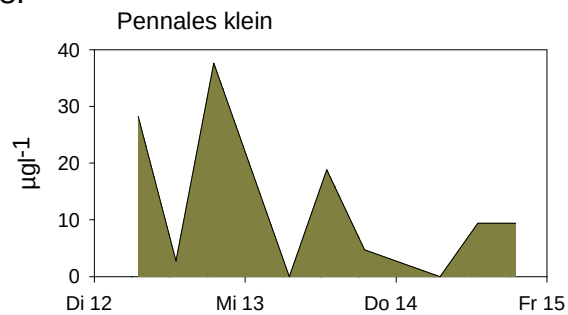
6.



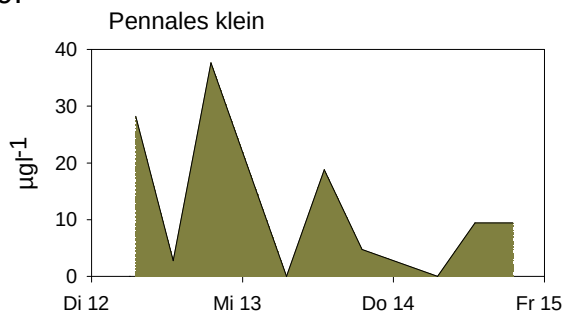
7.



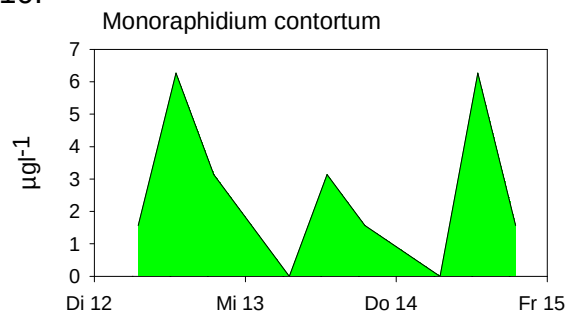
8.



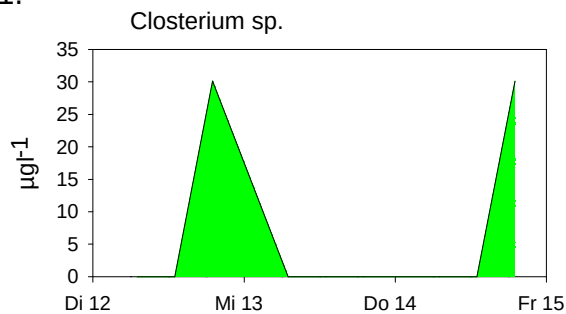
9.



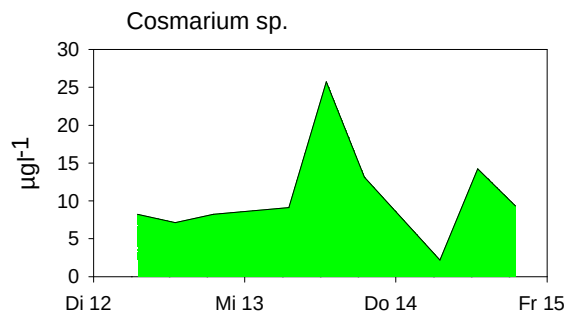
10.



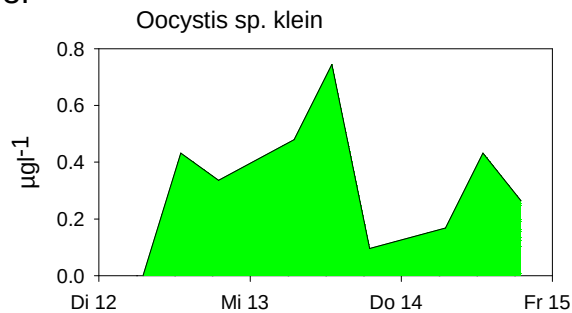
1.



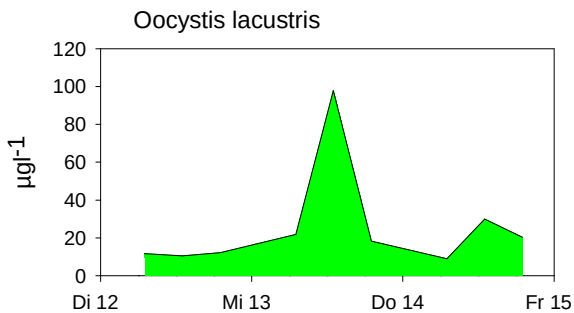
2.



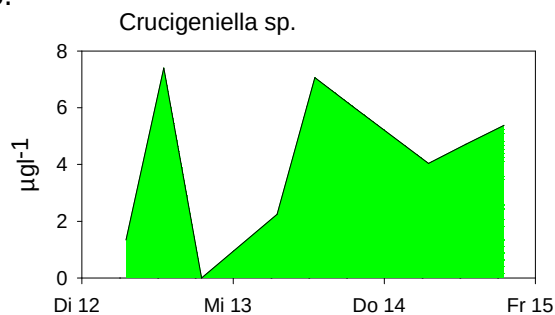
3.



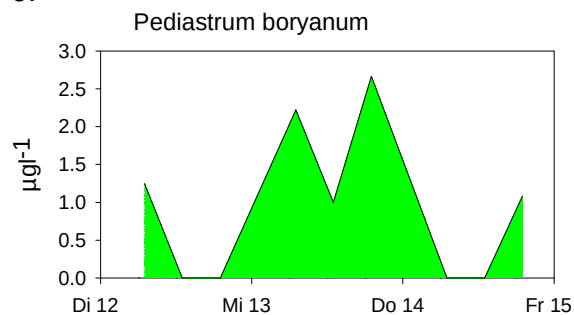
4.



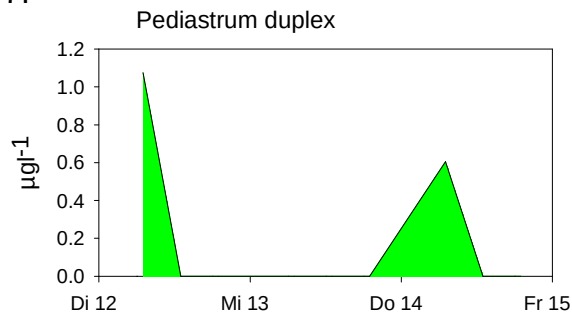
5.



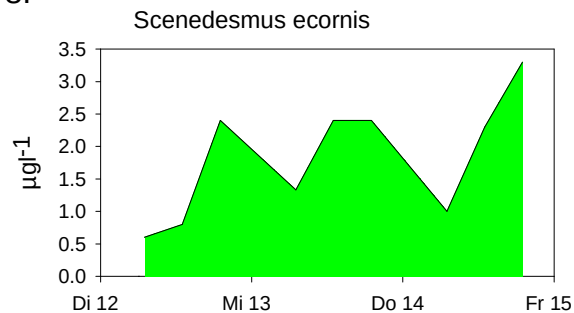
6.



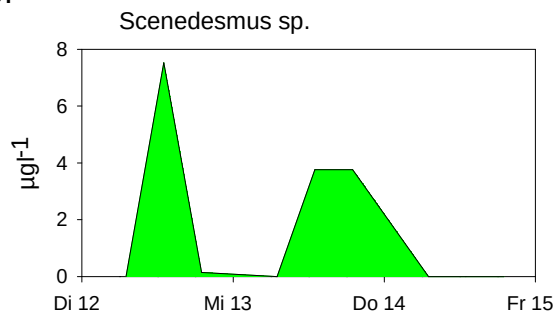
7.



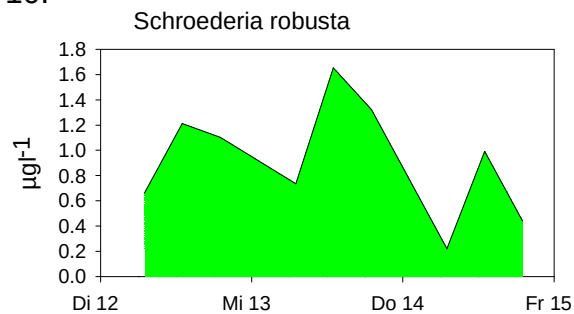
8.



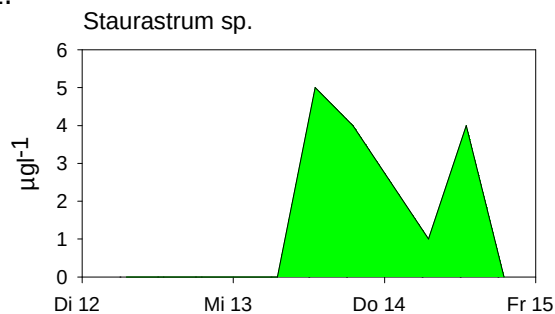
9.



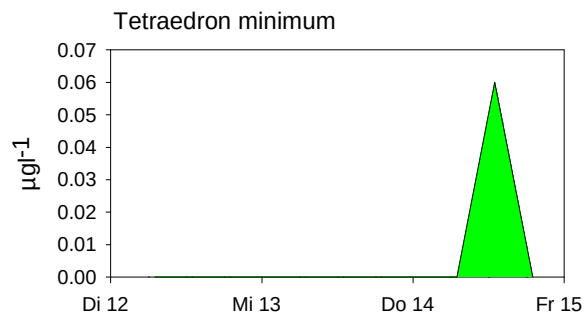
10.



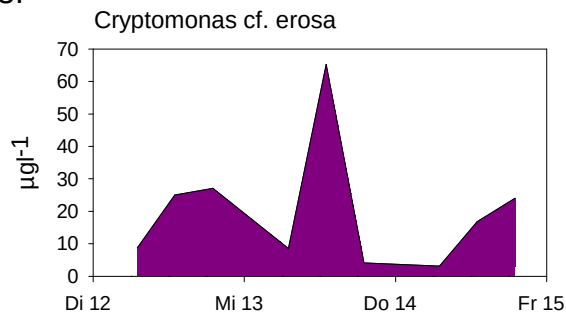
1.



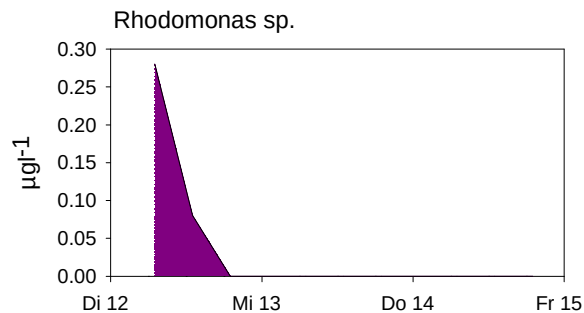
2.



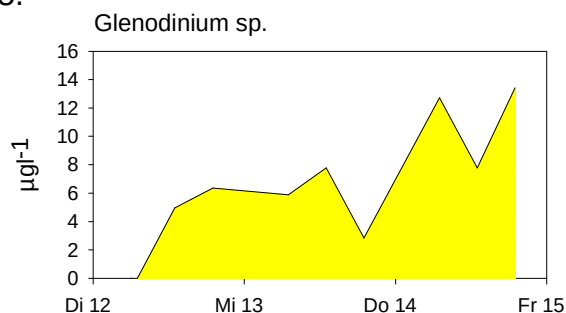
3.



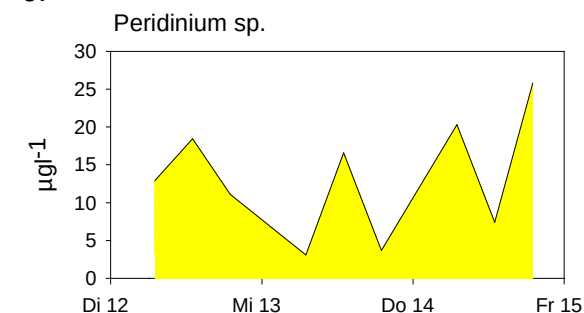
4.



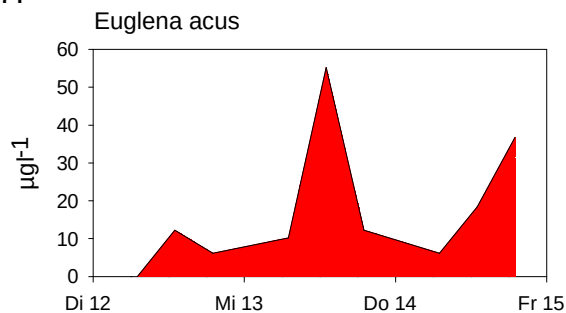
5.



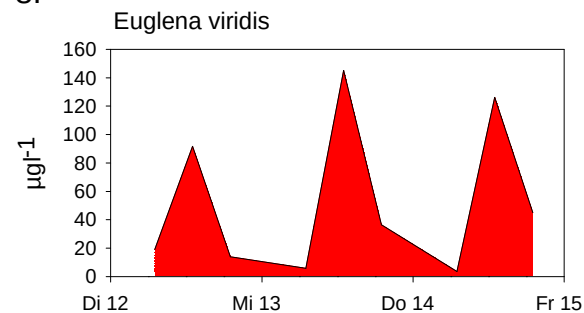
6.



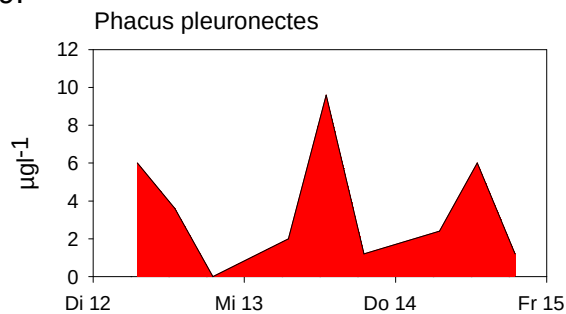
7.



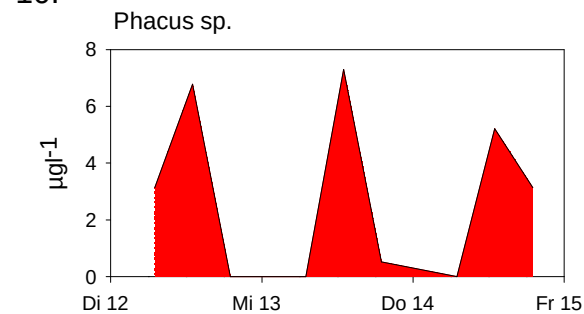
8.



9.



10.



#### 4.3.6 Vertikalverteilung von aktivem Chlorophyll-a

In Abb. 35 ist die Verteilung von aktivem Chlorophyll-a in der Wassersäule im Untersuchungszeitraum vom 11.07. – 15.07.08 zusammengefasst.

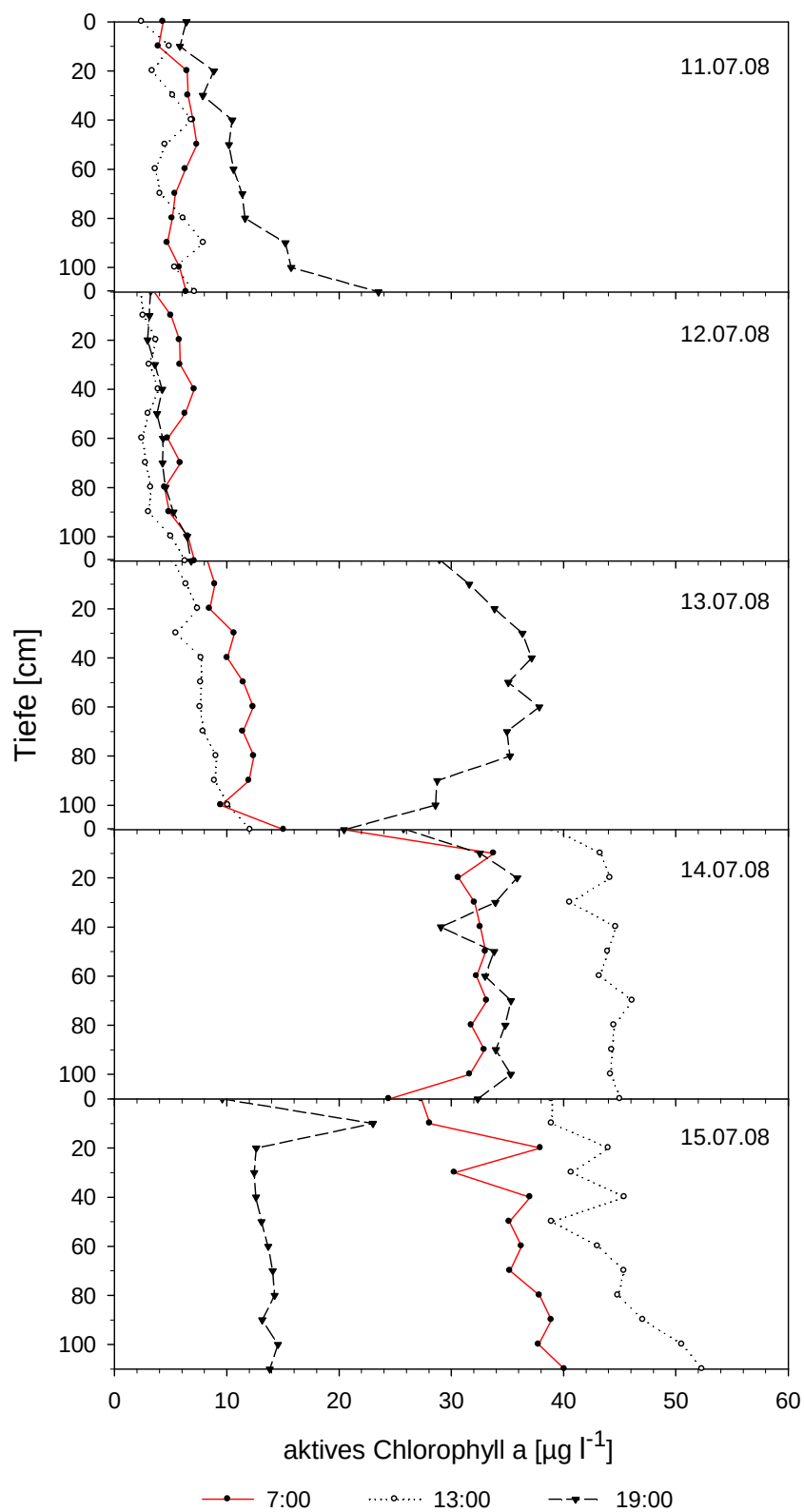
Am 11.07.08 um 7:00 morgens sind die Werte des aktiven Chlorophyll-a von der Wasseroberfläche bis knapp über Grund, sehr gleichmäßig verteilt und liegen im Mittel bei  $5,8 \mu\text{g L}^{-1}$ . Auch um 13:00 sind die Werte noch immer gleich verteilt und liegen durchschnittlich bei  $5,1 \mu\text{g L}^{-1}$ . Gegen Abend (19:00) kommt es zu einer Zunahme des aktiven Chlorophyll-a Gehalts mit zunehmender Tiefe. Der Oberflächenwert von  $6,4 \mu\text{g L}^{-1}$ , nimmt kontinuierlich bis auf  $23,5 \mu\text{g L}^{-1}$  in 110 cm zu.

Am darauf folgenden Tag, dem 12.07. zeigen sich zu den 3 Tageszeiten kaum Unterschiede. Die Werte liegen an der Oberfläche bei ca.  $3 \mu\text{g L}^{-1}$  und nehmen mit der Tiefe auf ca.  $6,7 \mu\text{g L}^{-1}$  zu. Am 13.07. um 7 Uhr morgens liegt der Wert für aktives Chlorophyll-a an der Oberfläche bei  $8,2 \mu\text{g L}^{-1}$  und nimmt mit der Tiefe auf  $15,1 \mu\text{g L}^{-1}$  zu. Die Chlorophyll-Werte der Verteilung von 13:00 liegen in einem ähnlichem Bereich:  $5,1 \mu\text{g L}^{-1}$  an der Oberfläche und  $12,1 \mu\text{g L}^{-1}$  in 110 cm Tiefe. Gegen 19:00 ergibt sich eine deutlich veränderte Verteilung des Chlorophyll-a. Der Wert liegt oberflächennah bei  $28,9 \mu\text{g L}^{-1}$ , nimmt bis in 60 cm Tiefe auf  $37,8 \mu\text{g L}^{-1}$  (Maximum) zu um dann gegen den Gewässergrund wieder bis auf  $20,4 \mu\text{g L}^{-1}$  abzusinken.

Am 14.07. liegen die Werte von 7:00, mit Ausnahme des Werts an der Oberfläche und über Grund, im Durchschnitt bei  $32,4 \mu\text{g L}^{-1}$ . Um 13:00 zeigt sich mit zunehmender Tiefe kaum eine Veränderung des aktiven Chlorophyll-a Gehalts. Der Wert liegt im Durchschnitt bei  $43,6 \mu\text{g L}^{-1}$ . Gegen Abend nimmt der Wert wieder ab und liegt (mit Ausnahme des Oberflächenwertes) durchschnittlich bei  $33,6 \mu\text{g L}^{-1}$ .

Am 15.07. um 7:00 morgens liegt der oberflächennahe Wert bei  $27,4 \mu\text{g L}^{-1}$  und nimmt mit der Tiefe auf bis zu  $40 \mu\text{g L}^{-1}$  (110 cm) zu. Gegen 13:00 liegen die Werte etwas höher,  $38,9 \mu\text{g L}^{-1}$  an der Oberfläche und  $52,3 \mu\text{g L}^{-1}$  in 110 cm Tiefe. Am Abend nimmt der Gehalt des aktivem Chlorophyll-a stark ab. Mit Ausnahme des Wertes in 10 cm Tiefe zeigt der Chlorophyll-a Wert keine Schwankungen und liegt bei durchschnittlich  $13,1 \mu\text{g L}^{-1}$ .





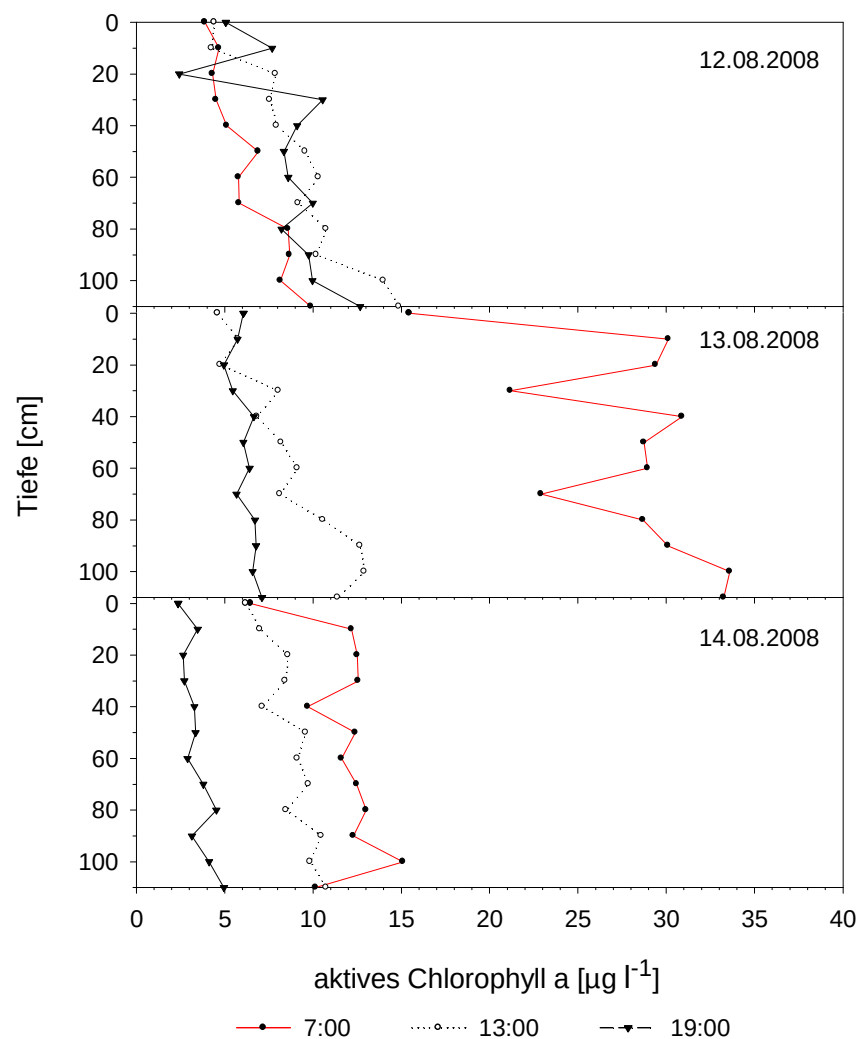
**Abb. 35** Tiefenverteilung von aktivem Chlorophyll-a im Zeitraum vom 11.07. – 15.07.08

In Abb. 36 ist die Verteilung von aktivem Chlorophyll-a mit zunehmender Wassertiefe, im Untersuchungszeitraum vom 12.08. – 14.08.08, zusammengefasst.

Am 12.08. zeigen sich bezüglich der Tageszeit keine großen Unterschiede in der Chlorophyll-a Verteilung. Die Werte liegen an der Oberfläche zwischen  $3,9 - 5 \mu\text{g L}^{-1}$  und nehmen mit der Tiefe auf  $9,9 - 14,9 \mu\text{g L}^{-1}$  zu.

Am 13.08. zeigen sich die Werte von 7:00 im Vergleich stark erhöht und schwanken relativ stark in einem Bereich von  $15,5 \mu\text{g L}^{-1}$  im Minimum (Oberfläche) und  $33,6 \mu\text{g L}^{-1}$  maximal (110 cm Tiefe). Um 13:00 liegen die Werte wieder im Bereich vom Vortag mit  $4,6 \mu\text{g L}^{-1}$  an der Oberfläche und  $12,9 \mu\text{g L}^{-1}$  in 1 m Tiefe. Um 19:00 zeigt sich mit durchschnittlich  $6,2 \mu\text{g L}^{-1}$  keine Veränderung mit zunehmender Tiefe.

Am 14.08. nimmt der Gehalt an aktivem Chlorophyll-a im Laufe des Tages ab. So liegen die Werte um 7:00 im Durchschnitt bei  $11,7 \mu\text{g L}^{-1}$ , um 13:00 im Mittel bei  $8,8 \mu\text{g L}^{-1}$  und um 19:00 nur mehr bei etwa  $3,4 \mu\text{g L}^{-1}$ .



**Abb. 36** Tiefenverteilung von aktivem Chlorophyll-a im Zeitraum vom 12.08. – 14.08.08

#### 4.3.7 Bestimmung der Phytoplankton-Gruppen mittels verzögerter Fluoreszenz

In den Untersuchungsserien Juli und August, fehlen Aufgrund technischer Probleme etliche Werte. Dennoch wurde versucht die Zeitreihen so vollständig wie möglich darzustellen.

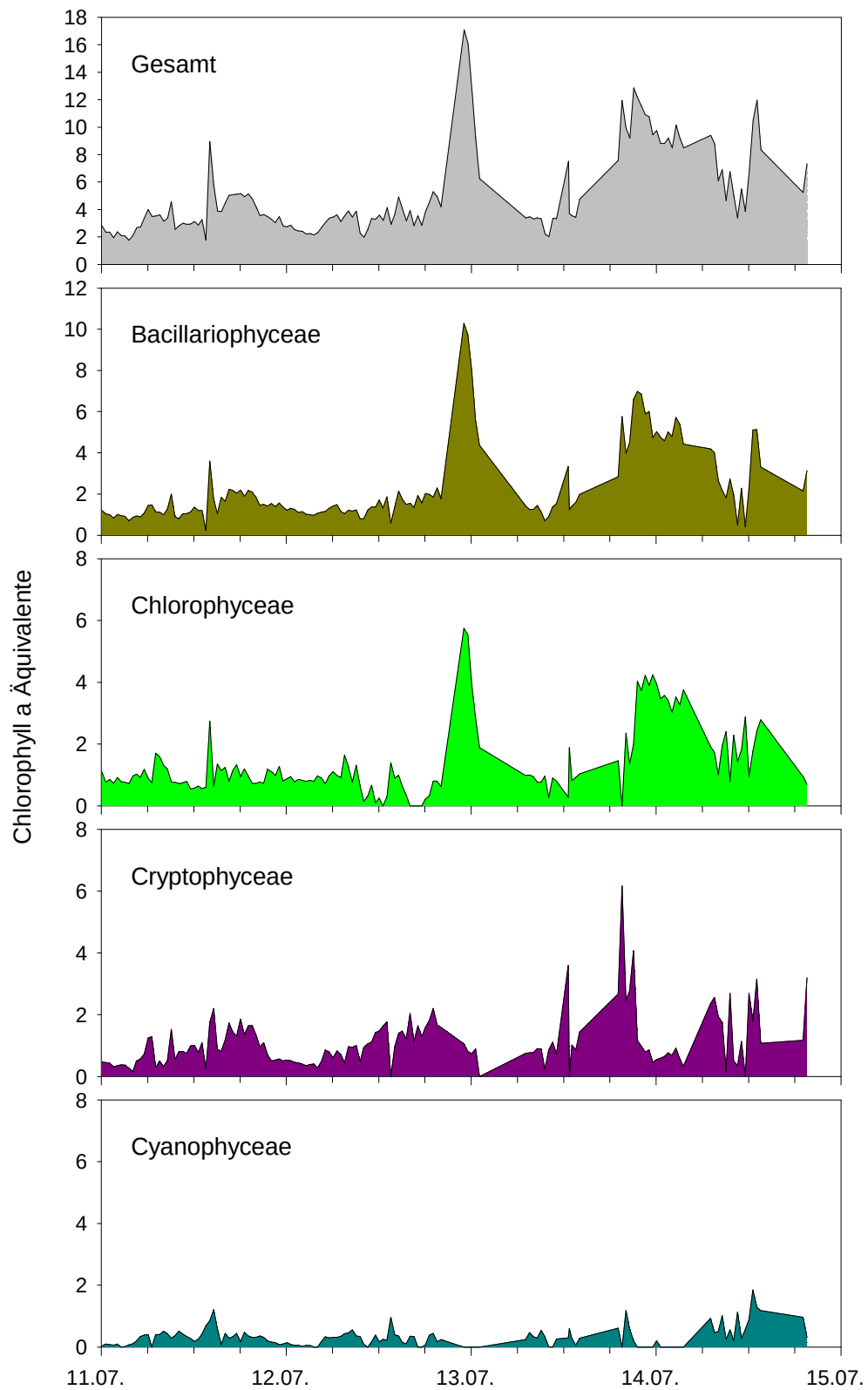
In Abb. 37 sind die Chlorophyll-Äquivalente aus der DF-Gruppenanalyse im Zeitraum 11. – 14.07. als Gesamtchlorophyll und für die vier unterscheidbaren Gruppen (Diatomeen, Grünalgen, Cyanobakterien und Cryptophyceen) zusammengefasst. Die dominante Gruppe stellen die Diatomeen. Vom 11. - 12.07 schwanken die Werte zwischen  $2 - 4 \mu\text{g L}^{-1}$  und steigen dann am 12.07. gegen 23 Uhr sprunghaft auf ein Maximum von ca.  $10 \mu\text{g L}^{-1}$  an. Im Folgenden nehmen die Werte wieder ab, steigen aber am 13.07 erneut an und bleiben dann im Vergleich zum Anfang der Messreihe hoch bei etwa  $5 \mu\text{g L}^{-1}$ . Der gleiche Verlauf gilt auch für die Grünalgen. Allerdings sind die Werte mit maximal  $5,7 \mu\text{g L}^{-1}$  (12.07. 23:00) nur in etwa halb so hoch wie bei den Diatomeen. Die Cryptophyceen schwanken im gesamten Zeitraum stark und zeigen am 13.07. gegen 19:00 ein Maximum mit rund  $6 \mu\text{g L}^{-1}$ . Die Cyanobakterien stellen den kleinsten Anteil und liegen im Mittel bei ca.  $0,3 \mu\text{g L}^{-1}$ .

In Abb. 38 sind die Ergebnisse der DF-Gruppenanalyse im Zeitraum 12. – 14.08. zusammengestellt. Dabei sind die Diatomeen ( $\bar{\varnothing} 1,4 \mu\text{g L}^{-1}$ ) und die Grünalgen ( $\bar{\varnothing} 1,1 \mu\text{g L}^{-1}$ ) ungefähr gleich stark. Beide Gruppen haben am 13.08. gegen 7:00 ihr Maximum mit je rund  $4 \mu\text{g L}^{-1}$ . Die Cryptophyceen schwanken stark und liegen im Mittel bei ca.  $0,67 \mu\text{g L}^{-1}$ . Am 13.08. um 7:00 zeigt sich ein leicht erhöhter Wert mit ca.  $2,5 \mu\text{g L}^{-1}$ . Die Cyanobakterien liegen im Durchschnitt bei ca.  $0,3 \mu\text{g L}^{-1}$  und erreichen ebenfalls am 13.08. gegen 7:00 ein Maximum mit  $1,67 \mu\text{g L}^{-1}$ .

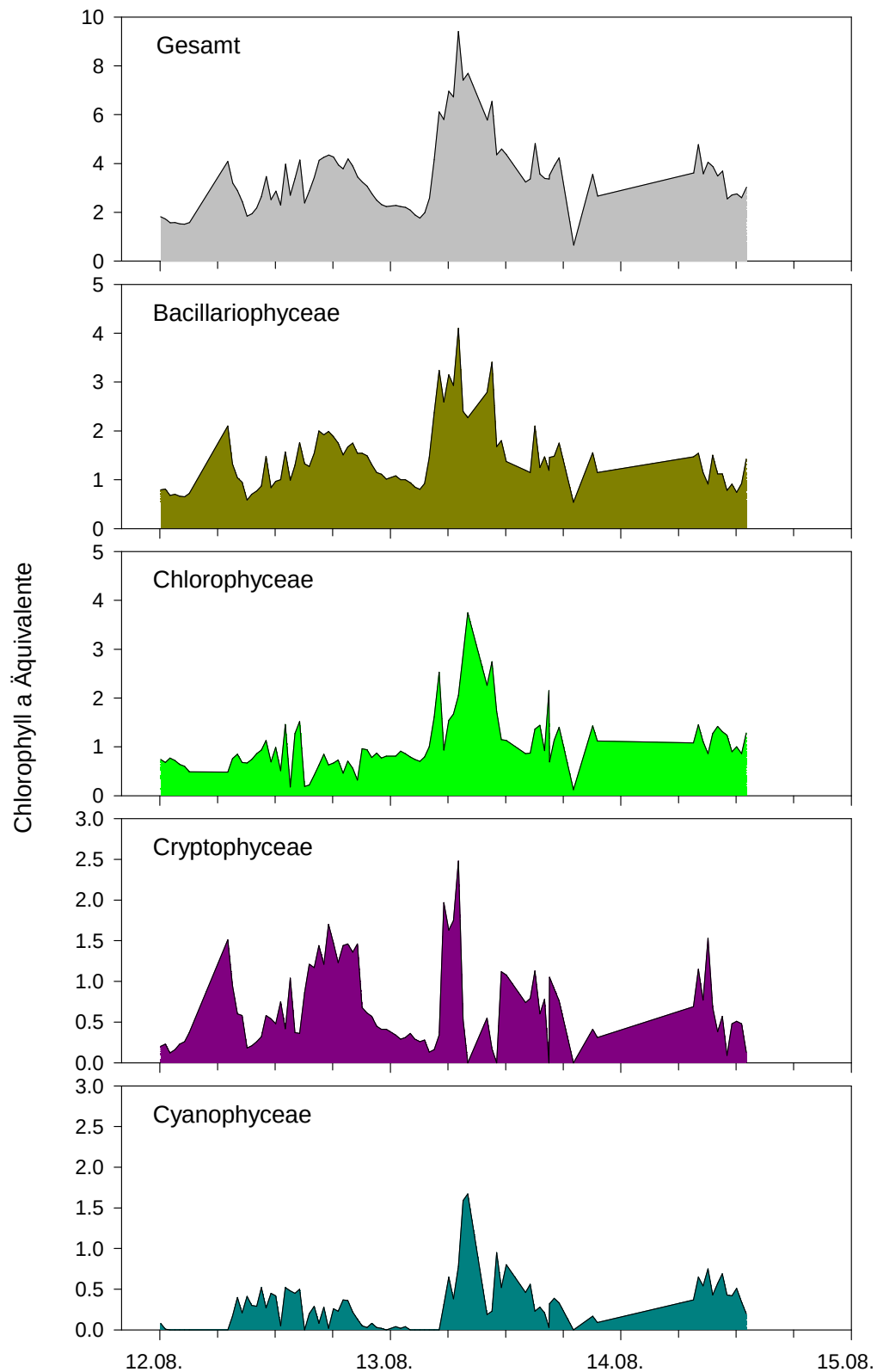
Die prozentuelle Zusammensetzung des Phytoplanktons nach der DF-Pop Analyse ist für den Juli in Abb. 39 dargestellt. Die Diatomeen und Grünalgen machen wie schon zuvor besprochen den prozentmäßig größten Teil aus. Die einzelnen Anteile schwanken kurzfristig stark zeigen im Mittel jedoch kaum größere Änderungen (Tab. 2). Auffällig ist, dass die Cyanobakterien und die Cryptophyceen tagsüber regelmäßig einen prozentuell höheren Anteil erreichen als in den Nachtstunden. Ähnliches gilt auch für die Zusammensetzung des Phytoplanktons im August (Abb. 40).

**Tab. 2** durchschnittlicher % - Anteil der nach DF-Pop unterschiedenen Gruppen

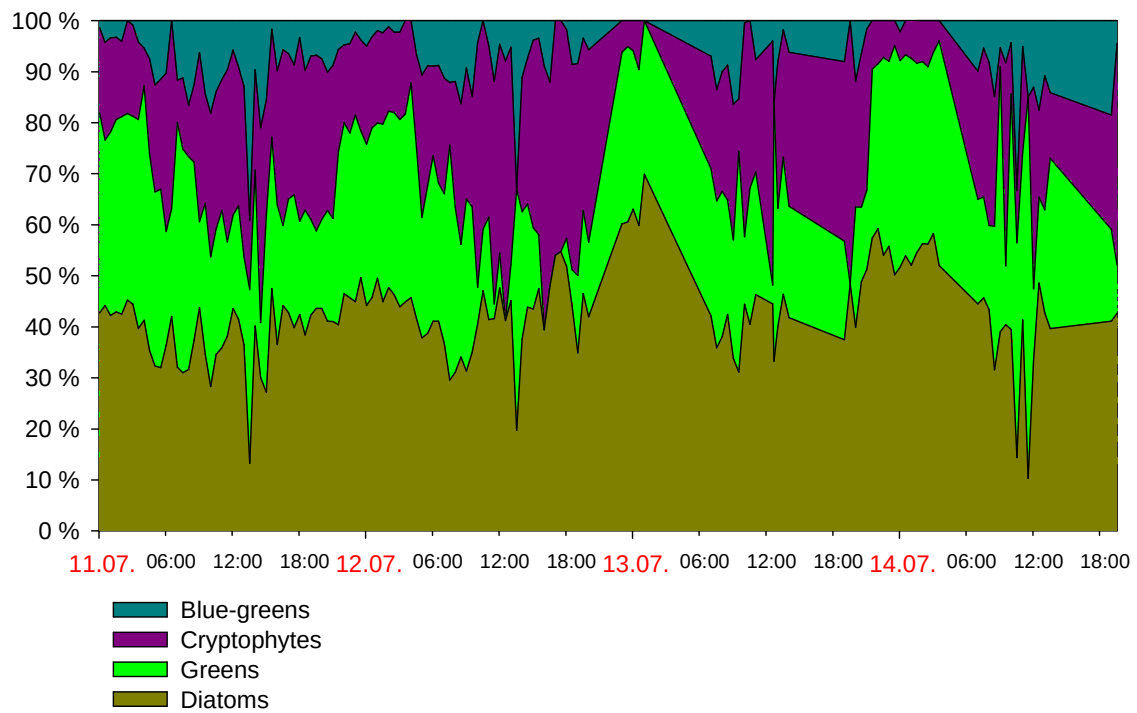
|        | Blue-greens | Greens  | Diatoms | Cryptophytes |
|--------|-------------|---------|---------|--------------|
| Juli   | 7.26 %      | 26.97 % | 42.30 % | 23.47 %      |
| August | 9.18 %      | 29.80 % | 41.71 % | 20.51 %      |



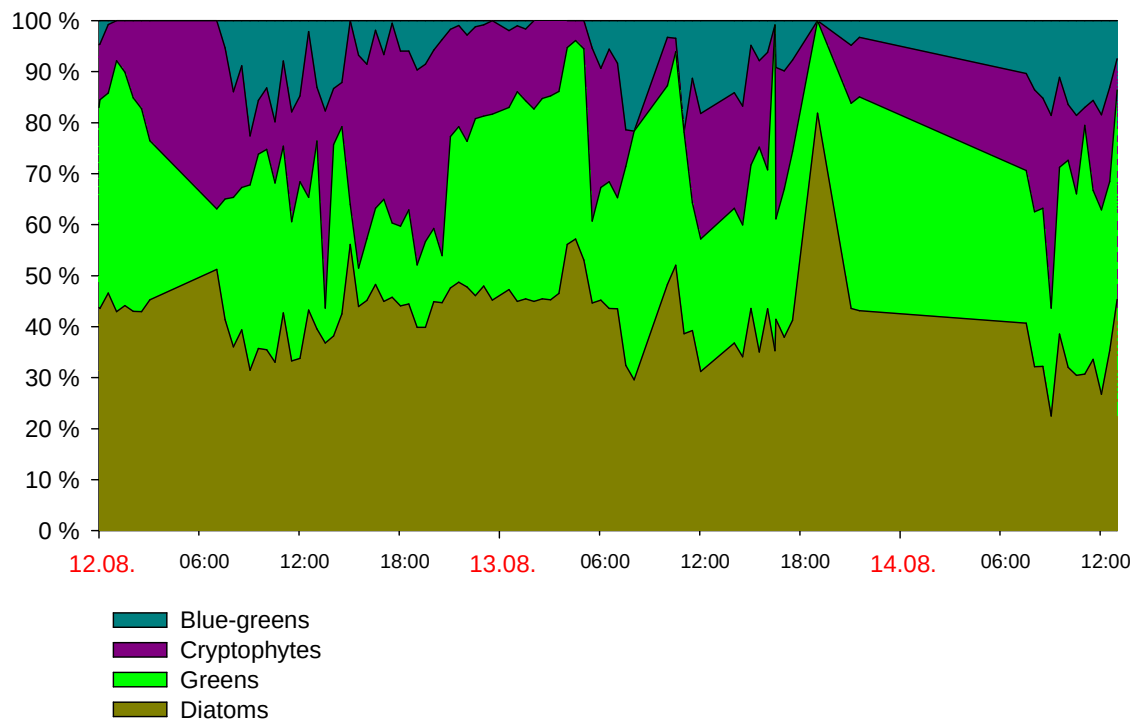
**Abb. 37** Chlorophyll-a Äquivalente der DF Pop-Analyse vom 11.07 -14.07.08



**Abb. 38** Chlorophyll-a Äquivalente der DF Pop-Analyse vom 12.07 -14.07.08



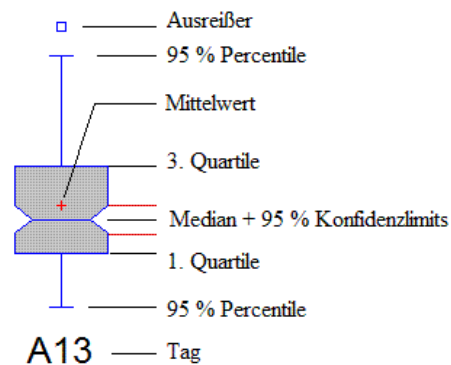
**Abb. 39** Prozentuelle Zusammensetzung des Phytoplanktons nach DF POP Analyse 11. – 14.07.08



**Abb. 40** Prozentuelle Zusammensetzung des Phytoplanktons nach DF POP Analyse 12. – 14.08.08

#### 4.4 Statistische Auswertung

In den Box-Whisker Plots (Abb. 41 – 45) wurden die gemessenen Werte der abiotischen Parameter (Wetter, chemisch - physikalische Parameter) nach den einzelnen Untersuchungstagen getrennt dargestellt. Jede Box stellt somit die Verteilung aller Werte eines Faktors dar, die an dem entsprechenden Tag gemessen wurden. Die Erstellung eines solchen Box-Plots ist nur mit einer ausreichenden Anzahl an Werten sinnvoll, und wurde daher nur für diejenigen Faktoren durchgeführt die diesen Vorgaben entsprechen. Um die Grafiken interpretieren zu können sollte zuerst geklärt werden wie die einzelnen Boxen zu lesen sind:



In Abb. 41 1. wird die mittlere Windgeschwindigkeit an den einzelnen Untersuchungstagen verglichen. Im Juli zeigt sich in den ersten zwei Tagen eine ruhige Windsituation. Die „Ausreißer“ am 12.07. mit signifikant höheren Windgeschwindigkeiten gehen mit einer Gewitterfront einher die in der Nacht über den See gezogen ist. In den folgenden Tagen nimmt die Windgeschwindigkeit mit Eintreffen einer Kaltfront am 13.07 stark zu und steigert sich stetig bis zum 15.07. Im August treten aufgrund des guten Wetters nur am 13.08. etwas höhere Windgeschwindigkeiten auf.

Dabei zeigt sich, dass die Windrichtung (Abb. 41 2.) an den Tagen mit geringeren Windgeschwindigkeiten stark dreht, während die Windrichtung an den beiden Tagen mit der konstant höchsten Windgeschwindigkeit (14. - 15.07) durchwegs NNW (~350 °) ist.

Der Pegel (Abb. 41 3.) zeigt eine deutliche Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit. Im Juli ist der Pegel am 11.07. gleichbleibend, am 12.07. zeigen sich durch das Gewitter und den einhergehenden starken Wind starke Pegelschwankungen (Ausreißer). Durch den konstanten NNW-Wind (Kaltfront) steigt der mittlere Pegel in den folgenden Tagen signifikant an, wobei es durchaus zu Pegelschwankungen kommt (breitere Verteilung, Whiskers). Im August zeigt der Pegel aufgrund der gleichbleibenden ruhigen Windsituation keine Schwankungen.

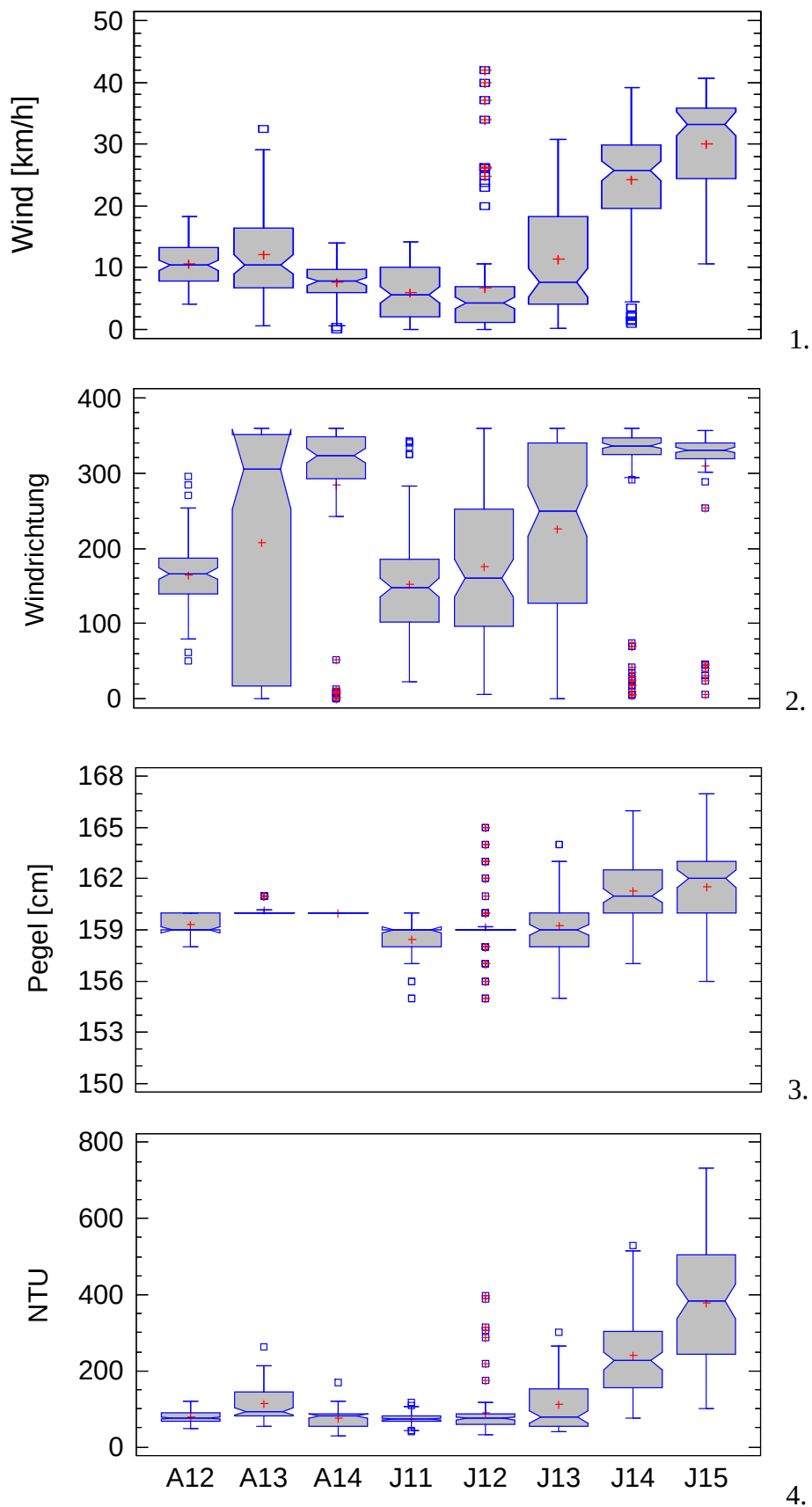
Die Trübe (NTU) der einzelnen Tage zeigt sich ebenfalls in Abhängigkeit von der mittleren Windgeschwindigkeit. Im August ist die Trübe am 13.08. im Vergleich leicht erhöht. Im Juli zeigt die Trübe den gleichen Verlauf wie die Windgeschwindigkeit. Am 11. und 12.07. liegt die Trübe noch gleich niedrig, mit Ausnahme vereinzelter signifikant höherer Werte am 12.07. (Gewitter). Vom 13.07 – 15.07. nimmt die Trübe von Tag zu Tag mit dem zunehmenden Wind deutlich zu und zeigt am 15.07. die höchste Trübe.

In der vorhandenen photosynthetisch aktiven Strahlung über Wasser (Abb. 42 1.) zeigen sich mit Ausnahme des 14.07., an dem die Strahlung aufgrund von Bewölkung deutlich verringert ist, keine signifikanten Unterschiede. Die konstante Breite der Verteilung ist auf den, sich mit dem Lauf der Sonne ändernden, Einfallswinkel der Strahlung zurückzuführen.

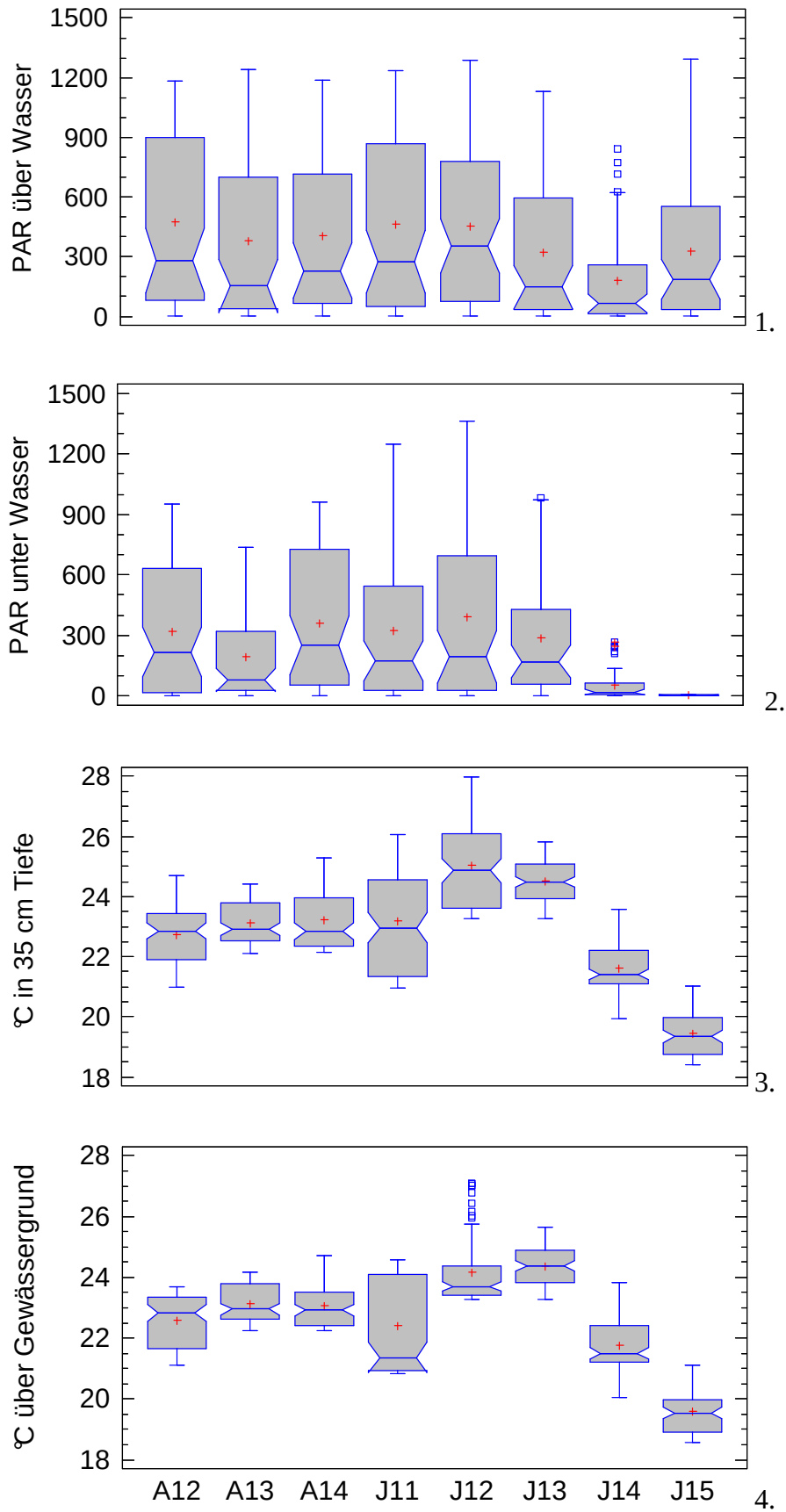
Die in 35 cm Wassertiefe vorhandene photosynthetisch aktive Strahlung (Abb. 42 2.) wird von der Trübe maßgeblich bestimmt. Im Juli nimmt die Strahlung mit der zunehmenden Trübe vom 13. – 15.07. kontinuierlich stark ab, wobei die Werte am 15.07. wahrscheinlich durch einen Fehler (Sedimentablagerung am Unterwassersensor bedingt durch die hohe Sedimentfracht), zu gering (praktisch 0) sind. Im August ist die Strahlung unter Wasser durch den flacheren Sonnenstand und somit einer höheren Reflexion an der Wasseroberfläche geringer als im Juli. Durch die etwas höhere Trübe am 13.08. ist auch die Strahlung im Vergleich niedriger.

Zwischen der Wassertemperatur, gemessen in 35 cm (Abb. 42 3.) und über Grund (Abb. 42 4.) gibt es kaum Unterschiede. Im Juli steigt die Temperatur vom 11.07. zum 12.07. aufgrund des gleichbleibend schönen Wetters an. Ab dem 13.07 nimmt die Temperatur mit dem Wind (mechanische Durchmischung) und der mit der Kaltfront einhergehenden Abkühlung kontinuierlich ab. Im August zeigt sich die Wassertemperatur konstant gleichbleibend.





**Abb. 41** Box-Whisker-Plots: Vergleich der einzelnen Untersuchungstage (A = August, J = Juli + Datum);  
1. Windgeschwindigkeit, 2. Windrichtung, 3. Pegel, 4. Trübe NTU



**Abb. 42** Box-Whisker-Plots: Vergleich der einzelnen Untersuchungstage (A = August, J = Juli + Datum);  
 1. PAR ( $\mu\text{Mol m}^2 \text{s}^{-1}$ ) über Wasser, 2. PAR ( $\mu\text{Mol m}^2 \text{s}^{-1}$ ) unter Wasser 3. Temperatur in 35 cm, 4. Temperatur über Grund

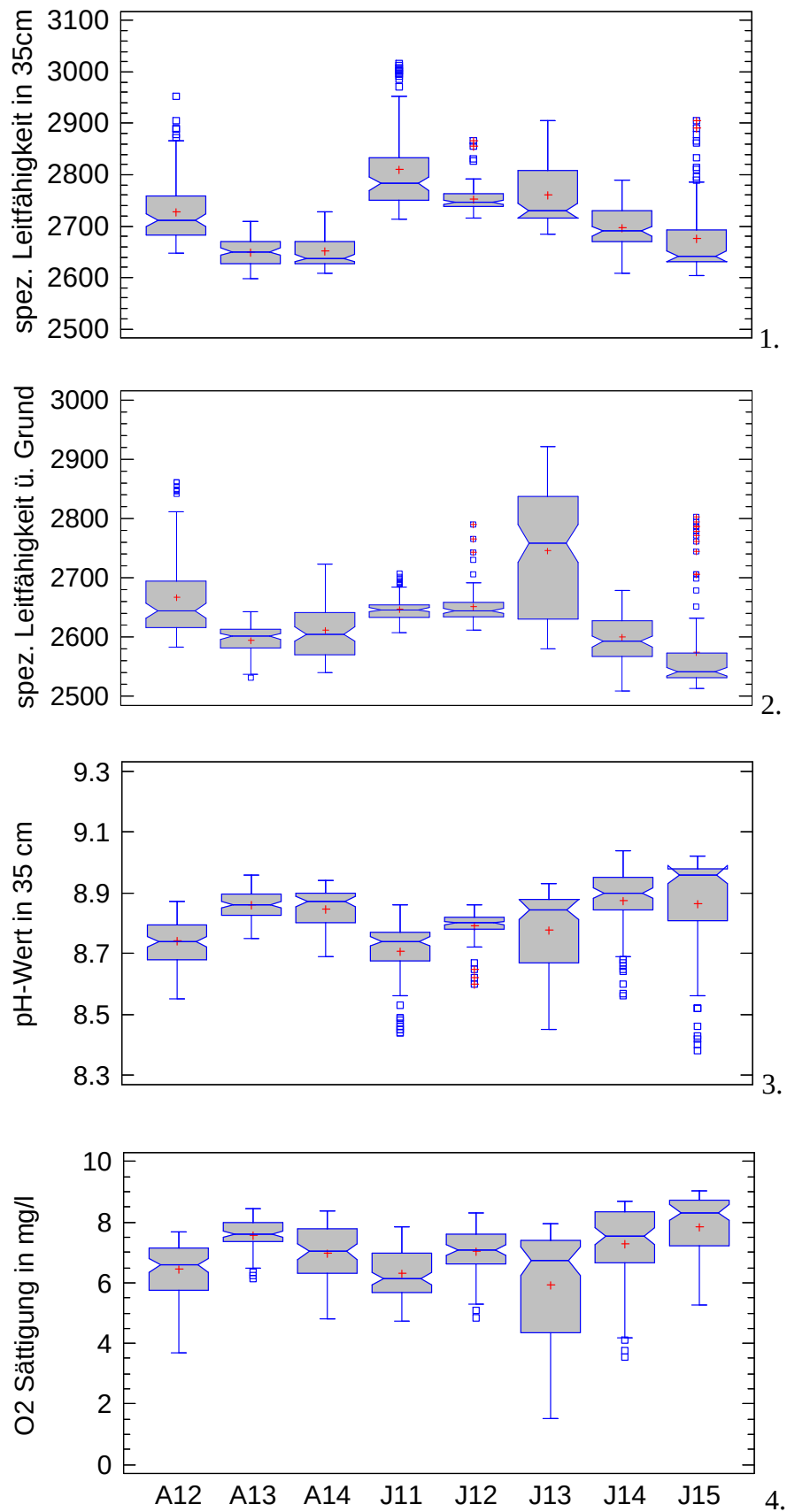
Die spezifische Leitfähigkeit zeigt eine negative Abhängigkeit vom mittleren Pegel.

( $r = -0,45$ ). Das ist höchstwahrscheinlich auf das Ausfließen von Schilfwasser in den See zurückzuführen. Aufgrund des saureren pH-Wertes besitzt dieses eine höhere Leitfähigkeit als das Seewasser. Zum Ausfließen von Schilfwasser kommt es bei Unterschreiten des durchschnittlichen Tagespegels, verursacht durch Seiches.

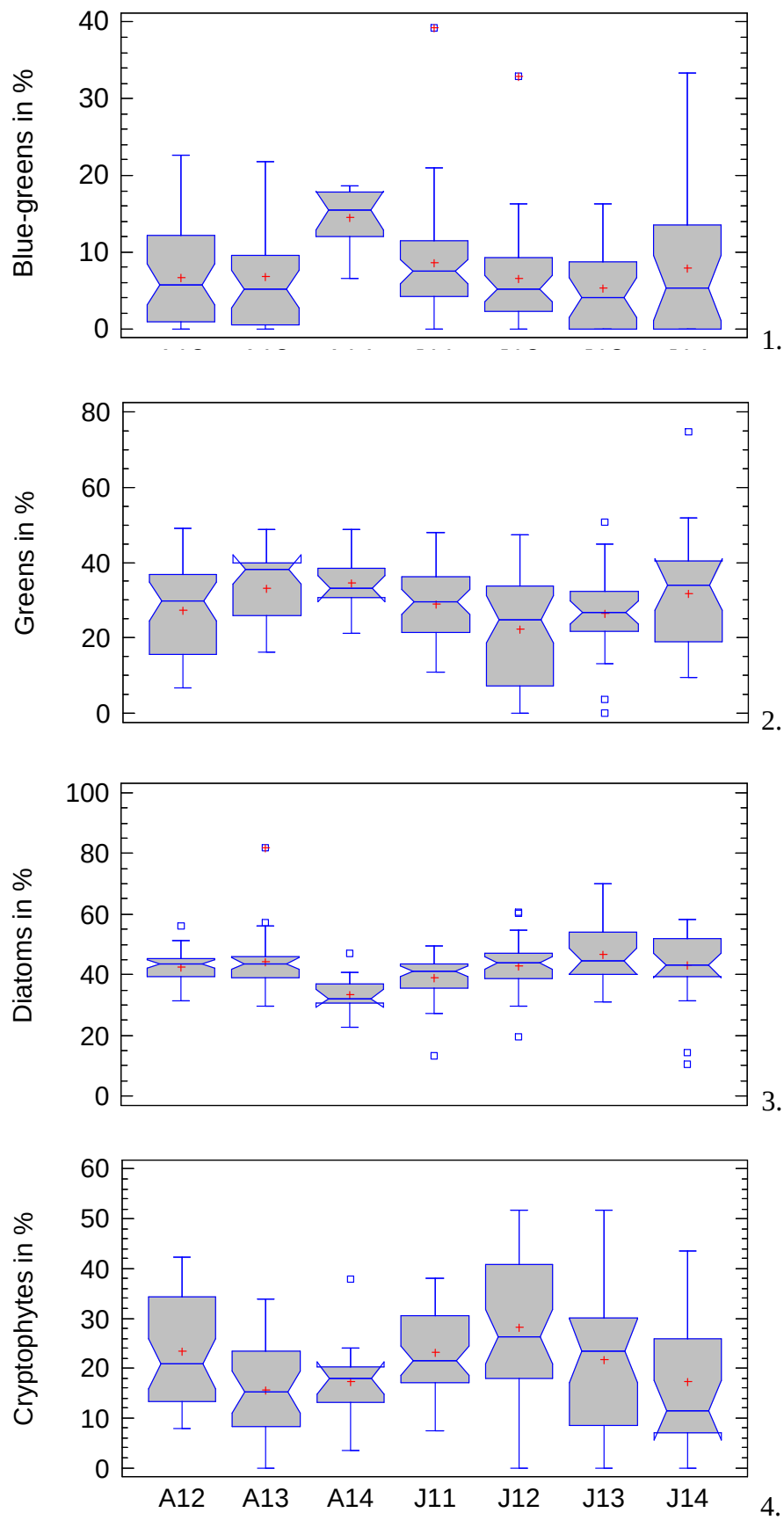
Im Juli nimmt die spezifische Leitfähigkeit in 35 cm Tiefe (Abb. 43 1.) vom 11. - 15.07. kontinuierlich ab. Während die spezifische Leitfähigkeit über Grund (Abb. 43 2.) in den ersten beiden Tagen gleichbleibt, steigt sie am 13.07. sprunghaft an und nimmt dann kontinuierlich ab. Das sprunghafte Ansteigen am 13.07. deutet auf ein bodennahes Ausfließen (Temperaturunterschied) von Wasser aus dem Schilf hin. Im August zeigt sich bezüglich der Wassertiefe kein Unterschied. Am 12.08. liegt die Leitfähigkeit signifikant höher als an den beiden anderen Tagen.

Der pH-Wert in 35 cm (Abb. 43 3.) verhält sich genau umgekehrt zur Leitfähigkeit in 35 cm. Der pH-Wert und die spezifische Leitfähigkeit sind hoch signifikant negativ zueinander korreliert ( $r = -0,87$ ). Die Schwankungen des pH-Werts sind wie schon zuvor erwähnt auf das Ausfließen von Schilfwasser in den See zurückzuführen.

Für die  $O_2$ -Sättigung in  $mg\ L^{-1}$  (Abb. 43 4.) gilt ähnliches wie für den pH-Wert. Das ausfließende Schilfwasser ist aufgrund der höheren biologischen Belastung bzw. die höhere Abbautätigkeit sauerstoffärmer (Herzig & Dokulil 2001).



**Abb. 43** Box-Whisker-Plots: Vergleich der einzelnen Untersuchungstage (A = August, J = Juli + Datum); 1. Leitfähigkeit in 35 cm, 2. Leitfähigkeit über Grund, 3. pH Wert, 4. O<sub>2</sub> Sättigung in mg l<sup>-1</sup>



**Abb. 44** Box-Whisker-Plots: Vergleich der einzelnen Untersuchungstage (A = August, J = Juli + Datum);  
DF POP Gruppenanalyse :1. Blue-greens in %, 2. Greens in %, 3. Diatoms in %, 4. Cryptophytes in %

In Abb. 44 wird die prozentuelle Zusammensetzung des Phytoplanktons (mittels DF-Pop gemessen) verglichen. Dabei fällt auf, dass Gruppen wie die Diatomeen, welche anhand der Phytoplankton-Zählungen einen hoch signifikanten positiven Zusammenhang mit der Windgeschwindigkeit aufweisen ( $r = 0,79$ ), nach den Ergebnissen der DF-Pop, diesen Zusammenhang nicht zeigen. Daher sind die prozentmäßigen Anteile, der nach DF-Pop unterschiedenen Gruppen, in Frage zu stellen.

Die prozentuellen Anteile der Blaualgen (Abb. 44 1.) zeigen bis auf den 14.08. keine signifikanten Unterschiede. Es ist jedoch unklar worauf diese einzelne Zunahme zurückzuführen ist.

Ähnliches gilt für die Diatomeen (Abb. 44 3.). Hier ist nur der Anteil am 14.08. signifikant, wenngleich nur geringfügig niedriger.

Bei den Grünalgen (Abb. 44 2) zeigen sich im Vergleich aller Tage keine signifikanten Unterschiede.

Am ehesten lässt sich noch eine Abhängigkeit zwischen dem prozentuellen Anteil der Cryptophyceae (Abb. 44 4) und der Leitfähigkeit vermuten. Beide zeigen eine ähnliche Verteilung. Das deutet auf einen höheren Anteil der Cryptophyceae im Schilfwasser hin.

### **Korrelationen**

Um festzustellen, ob die im Einzelnen gemessenen Parameter untereinander zusammenhängen, wurden die Variablen mit Hilfe einer Korrelationsmatrix (paarweise) zueinander korreliert. Der dabei errechnete Korrelationskoeffizient  $r$  (nach Pearson  $-1 \leq r \leq 1$ ) beschreibt ob ein Zusammenhang vorliegt, und wenn ja, wie stark und wie gerichtet (positiv bzw. negativ) der Zusammenhang zwischen zwei Variablen ist.

Im Folgenden sind die Korrelationskoeffizienten zwischen den abiotischen (chemisch-physikalisch) Parametern (Tab. 3), den biotischen und den abiotischen Parametern (Tab. 4) und den biotischen Parametern (Tab. 5) zueinander zusammengestellt. Dabei wurden alle Korrelationskoeffizienten markiert für die gilt:  $-0,5 \geq r \geq 0,5$ . Alle  **$r^{**}$**  (hoch signifikant;  $p < 0,01$ ) in **rot** und alle  **$r^*$**  (signifikant;  $p < 0,05$ ) in **blau** dargestellt.

Alle Korrelationskoeffizienten für die gilt:  $-0,7 \geq r \geq 0,7$ , wurden zusätzlich **fett** markiert.

### **Abiotische Parameter (Tab. 3)**

Bei den abiotischen Parametern zeigen sich folgende Korrelationen. Die mittlere Windgeschwindigkeit ist mit dem Pegel (0,57), der Trübe in NTU (0,82), der Trübe bei 430nm (0,86), den Schwebstoffen (gesamt TSS 0,79; anorganische IOSS 0,78; organische

OSS 0.80) und dem Totalphosphor (0.92) hoch signifikant positiv korreliert. Der Pegel zeigt schwache, hoch signifikante Korrelationen mit der Trübe in NTU (0.55), der Trübe bei 430nm (0.52), und den Schwebstoffen (TSS 0,52; IOSS 0,52). Alle gemessenen Trübe-Werte (NTU, Trübe bei 430nm, Schwebstoffe) zeigen sehr starke und hoch signifikante Korrelationen untereinander. Die Trübe in NTU ist stark positiv und hoch signifikant mit der Trübe bei 430nm (0.96), den Schwebstoffen (TSS 0,94; IOSS 0,93; OSS 0,91) sowie mit dem Totalphosphor (0,96) korreliert. Die Trübe bei 430nm zeigt ebenfalls starke Korrelationen mit den Schwebstoffen (TSS 0,95; IOSS 0,94; OSS 0,94) und mit dem Totalphosphor (0,98). Die Schwebstoffanteile sind wie nicht anders zu erwarten untereinander stark positiv korreliert, sowie mit dem Totalphosphor (TSS vs.  $P_{\text{tot}}$   $r = 0,97$ ).

Das Orthophosphat zeigt sich mit keinem abiotischen Parameter korreliert. Dasselbe gilt für die photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) über Wasser. Die PAR unter Wasser zeigt eine sehr schwache signifikant negative Korrelation mit der Trübe in NTU (-0,43) und eine positive mit der PAR über Wasser (0,43).

Die Temperatur in 35 cm zeigt negative hoch signifikante Korrelationen mit der Windgeschwindigkeit (-0.53), dem Pegel (-0,50), der Trübe in NTU (-0.64), der Trübe bei 430nm (-0,71) den Schwebstoffen (TSS -0,67; IOSS -0,66; IOSS -0,63), sowie eine signifikant negative Korrelation mit dem Totalphosphor (-0,72). Der Grund für diese negativen Korrelationen ist die mit dem Wind (Schlechtwetter) einhergehende Abkühlung des Gewässers und da die Windgeschwindigkeit stark positiv mit allen Trübe Werten (inkl.  $P_{\text{tot}}$ ) korreliert ist, zeigt sich diese auch mit der Temperatur.

Die spezifische Leitfähigkeit in 35 cm zeigt nur eine sehr schwache negative Korrelation mit dem Pegel (-0,43) und eine schwach positive mit der Temperatur in 35 cm (0,41).

Der pH-Wert ist mit der Trübe in NTU positiv (0,52) und mit der Leitfähigkeit in 35 cm stark negativ (-0,87) korreliert.

Die Sauerstoffsättigung in % ist mit der Leitfähigkeit in 35 cm negativ (-0,59) und mit dem pH-Wert stark positiv (0,77) korreliert. Gleiches gilt für die Sauerstoffsättigung in  $\text{mg L}^{-1}$ .

Die Temperatur in 110 cm zeigt aus den gleichen Gründen wie die Temperatur in 35 cm schwache negative Korrelationen mit der Trübe sowie mit den Schwebstoffen und ist natürlich mit der Temperatur in 35 cm stark positiv korreliert.

Die Leitfähigkeit in 110 cm ist mit der Trübe in NTU (-0,52), dem pH-Wert (-0,53) und der Sauerstoffsättigung ( $\text{O}_2$  Sättigung in %: -0,49, in  $\text{mg L}^{-1}$ : -0,59) negativ, sowie mit der Leitfähigkeit in 35 cm positiv (0,53) korreliert.

**Tab. 3** Korrelationsmatrix der untersuchten abiotischen Parameter (Pearson's – Korrelationskoeffizient)

|                   |      | [1]     | [2]      | [3]     | [4]     | [5]     | [6]     | [7]     | [8]     | [9]    | [10]   | [11]   | [12]   | [13]    | [14]    | [15]    | [16]    | [17]    | [18]   | [19] |
|-------------------|------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|------|
| Windrichtung      | [1]  | 1       |          |         |         |         |         |         |         |        |        |        |        |         |         |         |         |         |        |      |
| Windgeschw.       | [2]  | .454**  | 1        |         |         |         |         |         |         |        |        |        |        |         |         |         |         |         |        |      |
| Pegel             | [3]  | .280**  | .574**   | 1       |         |         |         |         |         |        |        |        |        |         |         |         |         |         |        |      |
| NTU               | [4]  | .348**  | .823**   | .550**  | 1       |         |         |         |         |        |        |        |        |         |         |         |         |         |        |      |
| Trübe             | [5]  | .466*   | .855**   | .519**  | .964**  | 1       |         |         |         |        |        |        |        |         |         |         |         |         |        |      |
| TSS               | [6]  | 0.372   | .785**   | .521**  | .937**  | .945**  | 1       |         |         |        |        |        |        |         |         |         |         |         |        |      |
| IOSS              | [7]  | 0.358   | .777**   | .523**  | .933**  | .938**  | .999**  | 1       |         |        |        |        |        |         |         |         |         |         |        |      |
| OSS               | [8]  | .461*   | .800**   | .469*   | .913**  | .937**  | .942**  | .927**  | 1       |        |        |        |        |         |         |         |         |         |        |      |
| P <sub>TOT</sub>  | [9]  | 0.594   | .919**   | 0.528   | .955**  | .980**  | .974**  | .970**  | .972**  | 1      |        |        |        |         |         |         |         |         |        |      |
| PO <sub>4</sub>   | [10] | 0.033   | 0.082    | -0.162  | 0.091   | 0.148   | 0.104   | 0.118   | 0.004   | 0.117  | 1      |        |        |         |         |         |         |         |        |      |
| PAR üW            | [11] | -0.016  | -0.168** | -.270** | -.336** | -0.355  | -0.176  | -0.168  | -0.207  | -0.422 | 0.142  | 1      |        |         |         |         |         |         |        |      |
| PAR uW            | [12] | -0.071  | -0.044   | -.175** | -.100*  | -.431*  | -0.298  | -0.286  | -0.372  | -0.559 | -0.018 | .427** | 1      |         |         |         |         |         |        |      |
| °C 35cm           | [13] | -.218** | -.525**  | -.502** | -.636** | -.712** | -.665** | -.663** | -.631** | -.715* | -0.413 | .257** | .103*  | 1       |         |         |         |         |        |      |
| Leitf. In 35 cm   | [14] | -.200** | -.340**  | -.425** | -.375** | -0.249  | -0.288  | -0.295  | -0.21   | -0.457 | 0.421  | -.106* | -0.069 | .411**  | 1       |         |         |         |        |      |
| pH Wert           | [15] | .175**  | .439**   | .401**  | .517**  | 0.351   | 0.395   | 0.403   | 0.3     | 0.53   | -0.521 | .150** | 0.076  | -.316** | -.873** | 1       |         |         |        |      |
| O <sub>2</sub> %  | [16] | .093*   | .336**   | .172**  | .338**  | 0.216   | 0.26    | 0.267   | 0.186   | 0.145  | -0.605 | .259** | .157** | 0.052   | -.591** | .771**  | 1       |         |        |      |
| O <sub>2</sub> mg | [17] | .142**  | .453**   | .280**  | .484**  | 0.349   | 0.386   | 0.393   | 0.306   | 0.395  | -0.54  | .221** | .134** | -.164** | -.668** | .831**  | .976**  | 1       |        |      |
| °C in 110 cm      | [18] | -.186** | -.476**  | -.396** | -.598** | -.665** | -.627** | -.627** | -.583** | -0.635 | -0.627 | 0.043  | -0.018 | .936**  | .357**  | -.304** | -0.028  | -.228** | 1      |      |
| Leitf. in 110 cm  | [19] | -.237** | -.483**  | -.412** | -.522** | -.471*  | -.478*  | -.494*  | -0.323  | -0.448 | -0.294 | 0.024  | -0.022 | .470**  | .525**  | -.528** | -.492** | -.588** | .472** | 1    |
|                   |      | [1]     | [2]      | [3]     | [4]     | [5]     | [6]     | [7]     | [8]     | [9]    | [10]   | [11]   | [12]   | [13]    | [14]    | [15]    | [16]    | [17]    | [18]   | [19] |

\*\* hoch signifikant p-Wert < 0,01; 99% Signifikanz (Test: two-tailed)

\* signifikant p-Wert < 0,05; 95% Signifikanz (Test: two-tailed)



**Tab. 4** Korrelationsmatrix zwischen biotischen und abiotischen Parametern (Pearson's – Korrelationskoeffizient)

|                   | Biovolumina    |             |                |               |               |                   | Biovolumen<br>(gesamt) | Chlorophyll-a<br>aktiv | Chlorophyll-a |
|-------------------|----------------|-------------|----------------|---------------|---------------|-------------------|------------------------|------------------------|---------------|
|                   | Euglenophyceae | Dinophyceae | Cyanobakterien | Cryptophyceae | Chlorophyceae | Bacillariophyceae |                        |                        |               |
| Pegel             | 0.031          | -.425*      | 0.207          | -0.38         | 0.123         | .560**            | .549**                 | .480*                  | .523**        |
| Windgeschw.       | -0.167         | -0.269      | -0.008         | -0.275        | -0.047        | .790**            | .761**                 | .681**                 | .744**        |
| Windrichtung      | -0.289         | -0.098      | 0.101          | -0.077        | 0.159         | .515**            | .515*                  | .469*                  | .444*         |
| PAR uW            | .538*          | -0.001      | 0.058          | -0.084        | -0.122        | -0.32             | -0.289                 | -0.292                 | -0.256        |
| PAR üW            | .662**         | 0.086       | 0.079          | 0.092         | -0.003        | -.459*            | -.423*                 | -.430*                 | -.416*        |
| °C 35cm           | 0.139          | .426*       | 0.186          | .501*         | 0.016         | -.556**           | -.496*                 | -.523**                | -.528**       |
| °C in 110 cm      | 0.082          | 0.313       | 0.287          | 0.395         | 0.087         | -.474*            | -.415*                 | -.441*                 | -.451*        |
| Leitf. In 35 cm   | -0.363         | 0.396       | 0.047          | .670**        | 0.245         | -0.25             | -0.198                 | -0.18                  | -0.15         |
| Leitf. in 110 cm  | -0.178         | 0.332       | 0.15           | .459*         | 0.272         | -.406*            | -0.354                 | -0.361                 | -0.304        |
| O <sub>2</sub> %  | .423*          | -0.234      | -0.043         | -.467*        | -.528**       | 0.18              | 0.136                  | 0.114                  | 0.132         |
| O <sub>2</sub> mg | 0.383          | -0.309      | -0.053         | -.537**       | -.508*        | 0.287             | 0.235                  | 0.217                  | 0.236         |
| pH Wert           | 0.285          | -0.358      | 0.074          | -.582**       | -0.266        | 0.354             | 0.315                  | 0.298                  | 0.234         |
| TSS               | -0.129         | -0.308      | 0.228          | -0.339        | 0.055         | .791**            | .780**                 | .802**                 | .821**        |
| OSS               | -0.153         | -0.216      | 0.226          | -0.289        | 0.109         | .840**            | .838**                 | .850**                 | .888**        |
| IOSS              | -0.125         | -0.317      | 0.227          | -0.342        | 0.048         | .778**            | .767**                 | .789**                 | .806**        |
| P <sub>TOT</sub>  | -0.187         | -0.353      | 0.521          | -0.477        | 0.272         | .936**            | .926**                 | .926**                 | .968**        |
| PO <sub>4</sub>   | -0.448         | 0.078       | -0.438         | -0.263        | -0.129        | -0.063            | -0.131                 | 0.01                   | -0.044        |
| NTU               | -0.215         | -0.35       | 0.113          | -0.345        | -0.009        | .833**            | .807**                 | .777**                 | .811**        |
| Trübe             | -0.273         | -0.336      | 0.136          | -0.366        | 0.03          | .905**            | .880**                 | .877**                 | .896**        |

\*\* hoch signifikant p-Wert < 0,01; 99% Signifikanz (Test: two-tailed)

\* signifikant p-Wert < 0,05; 95% Signifikanz (Test: two-tailed)

**Tab. 5** Korrelationsmatrix der biotischen Parameter (Pearson's – Korrelationskoeffizient)

|                              |     | [1]    | [2]           | [3]    | [4]    | [5]   | [6]           | [7]           | [8]           | [9] |
|------------------------------|-----|--------|---------------|--------|--------|-------|---------------|---------------|---------------|-----|
| Biovolumen Euglenophyceae    | [1] | 1      |               |        |        |       |               |               |               |     |
| Biovolumen Dinophyceae       | [2] | 0.016  | 1             |        |        |       |               |               |               |     |
| Biovolumen Cyanobakterien    | [3] | 0.152  | -0.391        | 1      |        |       |               |               |               |     |
| Biovolumen Cryptophyceae     | [4] | -0.058 | <b>.701**</b> | -0.034 | 1      |       |               |               |               |     |
| Biovolumen Chlorophyceae     | [5] | 0.046  | 0.273         | 0.295  | .482*  | 1     |               |               |               |     |
| Biovolumen Bacillariophyceae | [6] | -0.238 | -0.322        | 0.207  | -0.335 | 0.163 | 1             |               |               |     |
| Biovolumen (gesamt)          | [7] | -0.192 | -0.264        | 0.285  | -0.238 | 0.269 | <b>.990**</b> | 1             |               |     |
| Chlorophyll-a aktiv          | [8] | -0.192 | -0.3          | 0.342  | -0.342 | 0.225 | <b>.942**</b> | <b>.946**</b> | 1             |     |
| Chlorophyll-a                | [9] | -0.134 | -0.264        | 0.273  | -0.335 | 0.181 | <b>.937**</b> | <b>.938**</b> | <b>.956**</b> | 1   |

**Tab. 6** Korrelationsmatrix der Phytoplankton-Zusammensetzung (DF-Pop vs. Zählraten)

|               |     | Bacillariophyceae | Chlorophyceae | Cryptophyceae | Cyanobakterien | Dinophyceae | Euglenophyceae | [1]            | [2]            | [3]    | [4] |
|---------------|-----|-------------------|---------------|---------------|----------------|-------------|----------------|----------------|----------------|--------|-----|
| Diatoms       | [1] | 0.24              | -0.151        | -0.146        | -0.254         | -0.103      | 0.161          | 1              |                |        |     |
| Greens        | [2] | -0.207            | 0.342         | -0.354        | .472*          | -0.312      | 0.255          | -.193**        | 1              |        |     |
| Cryptophyceae | [3] | -0.057            | -0.164        | .478*         | -0.19          | 0.371       | -0.306         | -0.075         | <b>-.908**</b> | 1      |     |
| Blue-greens   | [4] | 0.085             | 0.003         | -0.156        | 0.011          | -0.054      | -0.135         | <b>-.803**</b> | 0.058          | -0.042 | 1   |

\*\* hoch signifikant p-Wert < 0,01; 99% Signifikanz (Test: two-tailed)

\* signifikant p-Wert < 0,05; 95% Signifikanz (Test: two-tailed)

**Biotische gegen abiotische Parameter (Tab. 4)**

Das Biovolumen der Euglenophyceae zeigt eine signifikante positive Korrelation (0,54) mit der photosynthetisch aktiven Strahlung unter Wasser und eine hoch signifikante positive (0,66) mit der PAR über Wasser. Das Biovolumen der Dinophyceae zeigt lediglich eine sehr schwache negative Korrelation mit dem Pegel (-0,43) und eine sehr schwache positive mit der Temperatur in 35 cm (0,43). Das Biovolumen der Cyanobakterien zeigt keine Korrelationen mit den abiotischen Parametern. Das Biovolumen der Cryptophyceae ist mit der Temperatur in 35 cm schwach positiv (0,50), mit der Leitfähigkeit in 35 cm positiv (0,67) und mit der Sauerstoffsättigung in  $\text{mg L}^{-1}$  (-0,54), sowie mit dem pH-Wert (-0,58) negativ korreliert. Das Biovolumen der Chlorophyceae zeigt eine schwache negative Korrelation mit der Sauerstoffsättigung ( $\text{O}_2$  Sättigung in %: -0,53; in  $\text{mg L}^{-1}$ : -0,50).

Das Biovolumen der Bacillariophyceae zeigt eine schwache positive Korrelation mit dem Pegel (0,56), eine stark positive mit der Windgeschwindigkeit (0,79), sowie eine schwach positive mit der Windrichtung (0,52). Mit der Wassertemperatur zeigt sich eine schwache negative Korrelation. Am stärksten korrelieren die Bacillariophyceae mit den Schwebstoffen (TSS: 0,79, OSS: 0,84, IOSS: 0,79), dem Totalphosphor (0,94), sowie mit der Trübe in NTU (0,83) und der Trübe bei 430nm (0,90). Da die Bacillariophyceae das Biovolumen stark dominieren (vergl. Punkt 4.3.3) zeigt sich gleiches natürlich beim Gesamt-Biovolumen.

Der Chlorophyll-a Wert zeigt gleich wie der Wert des aktiven Chlorophyll-a, dieselben Korrelationen wie das Gesamt-Biovolumen.

**Biotische Parameter (Tab. 5)**

Korreliert man die biotischen Parameter miteinander, so zeigt sich zwischen den Cryptophyceae und den Dinophyceae eine hoch signifikante und stark positive Korrelation (0,70). Ansonsten zeigt sich nur eine sehr schwache positive Korrelation zwischen den Chlorophyceae und den Cryptophyceae (0,48). Das Biovolumen der Bacillariophyceae ist mit dem Gesamt-Biovolumen (0,99), sowie den beiden Chlorophyll-a Werten (Chl.-a extraktiv: 0,94; Chl.-a aktiv: 0,94) sehr stark positiv korreliert. Wie zu erwarten zeigt sich eine sehr starke positive Korrelation zwischen Biovolumen und Chlorophyll.

**Phytoplankton-Zusammensetzung DF-Pop vs. Zählraten (Tab. 6)**

Vergleicht man die mittels DF-Anregungsspektrometer (DF-Pop) gewonnenen Werte der Phytoplankton-Zusammensetzung mit den Werten die aus den Zählraten errechnet wurden so zeigen sich zwischen diesen keine nennenswerten Korrelationen.

## 5. Diskussion

Als wesentlichster klimatischer Faktor, der die chemisch physikalischen Parameter des Neusiedler Sees bzw. des untersuchten Standortes in der Bucht nahe der Biologischen Station Illmitz am stärksten beeinflusst, zeigte sich im Laufe der Untersuchungen eindeutig der Klimafaktor Wind. Durch häufig auftretende Windereignisse ist der See immer gut durchmischt und durch eine andauernde Trübe charakterisiert, die von feinen Sedimentpartikeln stammt, welche durch Wellenbewegung, ständig vom Seeboden aufgewirbelt werden (Dokulil 1979).

Im untersuchten Zeitraum kam es zu mehreren Windereignissen mit einer mittleren Windgeschwindigkeit größer  $15 \text{ km h}^{-1}$  (vergleiche Abb. 21 Abb. 22). Als Hauptwindrichtung für Starkwindereignisse ergab sich N bis NNW. Diese Windereignisse führten zu einer hoch signifikanten Zunahme der Trübe (Korrelation der Windgeschwindigkeit mit der Trübe in NTU  $0,823^{**}$ , mit der Trübe bei 430nm  $0,855^{**}$ ), verursacht durch ein sprunghaftes Ansteigen der Schwebstoffmenge. Alle Korrelationen zwischen Trübe und Schwebstoffen zeigen einen hoch signifikanten Zusammenhang mit  $r > 0,9^{**}$ . Die ermittelten Schwebstoffmengen liegen zwischen  $21 \text{ mg L}^{-1}$  und  $211 \text{ mg L}^{-1}$ . Im Vergleich mit Werten früherer Studien,  $20 \text{ mg L}^{-1}$  bis  $>300 \text{ mg L}^{-1}$  (Padisák & Dokulil 1994) liegen die Werte des Sestons in einem ähnlichem Bereich. Der anorganische Anteil der Schwebstoffe überwiegt mit durchschnittlichen 83 % bei weitem, während auf die, durch Glühverlust bestimmten, „organischen“ Anteile in etwa 13 % entfallen.

Ebenso führt die Zunahme der Windgeschwindigkeit und infolge dessen der Trübe und Schwebstoffmenge zu einer starken Zunahme des Totalphosphors. Alle Korrelationen zwischen  $P_{\text{tot}}$  und Schwebstoffen bzw. Trübe zeigen einen hoch signifikanten Zusammenhang mit  $r > 0,9^{**}$ . Die gemessenen Werte von  $P_{\text{tot}}$  liegen zwischen  $30 - 120 \mu\text{g L}^{-1}$ . Im Vergleich mit einem langjährigem (1970-1990) Mittelwert für  $P_{\text{tot}}$   $100 - 150 \mu\text{g L}^{-1}$  (Herzig 1990) liegen die Werte im unteren bis normalen Bereich. Die niedrigeren  $P_{\text{tot}}$ -Werte zeigen eine inzwischen eingetretene Oligotrophierung des Gewässers. Während die Menge des Totalphosphors deutlich mit der Windgeschwindigkeit und der Resuspension des Sediments korreliert ist, zeigt die Menge an gelöstem Orthophosphat  $\text{PO}_4$  keinen derartigen Zusammenhang. Mit  $3 - 6 \mu\text{g L}^{-1}$  befindet sie sich an der unteren Nachweisbarkeitsgrenze ( $5 \mu\text{g L}^{-1}$ ) der photometrischen Methode (DIN EN 1189). Das ist jedoch nicht weiter verwunderlich, da die reaktive Form des Phosphors von Pflanzen und vor allem von Phytoplanktonorganismen hoch effizient aufgenommen wird.

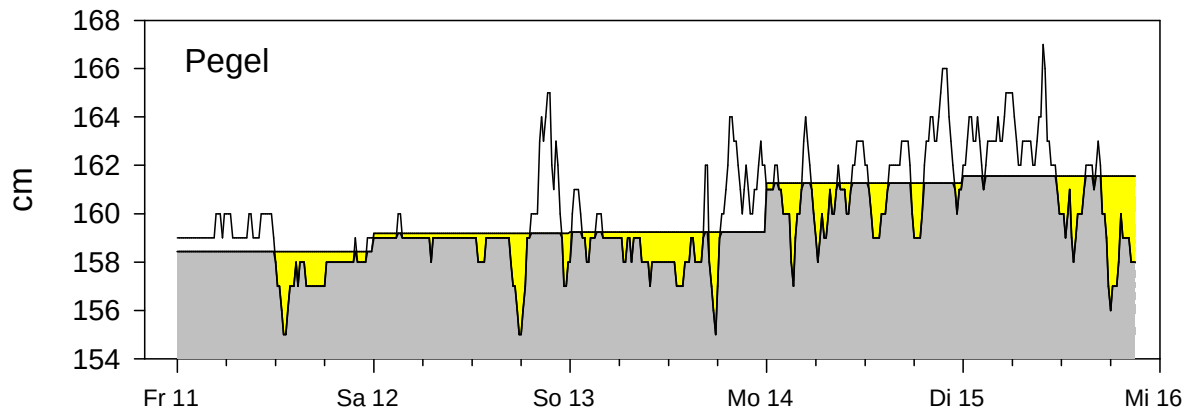
Eine weitere Folge der Windeinwirkung spiegelt sich in der Änderung des Pegelstandes an der untersuchten Stelle wider. Da die Hauptwindrichtung NNW mehr oder weniger parallel zur Längsachse des Neusiedler Sees verläuft, können anhaltende N – NW Winde zu beachtlichen Wasserstands-Änderungen führen. Diese Tatsache zeigt sich in einer positiven Korrelation ( $0.574^{**}$ ) der gemessenen mittleren Windgeschwindigkeit mit dem mittleren Pegel. Da im Untersuchungszeitraum nur im Juli wenige mm Niederschlag fielen, ist eine niederschlagsbedingte Zunahme des Pegels nicht zu beobachten. Die kurzfristigen Schwankungen des Pegels spielen am Untersuchungsstandort eine große Rolle, da sie zu einem lateralen Wassertransport führen. Dieser war mit freiem Auge relativ gut zu beobachten. Im linken Bild (Abb. 45) ist deutlich zu erkennen, dass das trübe Wasser des Sees vom Wind ins Schilf gedrückt wird (Neigungsrichtung der Schilfhalm und die Höhe in der sie im Wasser stehen), während im rechten Bild, unmittelbar nach Abflauen des Windes goldbraunes, relativ klares Schilfwasser (deutlich am unteren Bildrand zu erkennen), vor allem im Bereich der Mündung des Kanals in den See, zurückfließt.



**Abb. 45** Der Untersuchungsstandort während starkem Wind aus NNW und unmittelbar danach. Fotos J. Nesweda

Dieser Austausch zwischen Schilf und Seewasser schafft an den Übergangszonen (Ökotone) zwischen Schilfgürtel und freier Seefläche, hoch produktive Bereiche (Herzig & Dokulil 2001).

Das Ausfließen von Schilfwasser in den See (Abb. 46) ist mit hoher Wahrscheinlichkeit mit verantwortlich für die Schwankungen des pH-Werts (pH 8,4 – pH 9), der Leitfähigkeit (2500-3000  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) und der Sauerstoffsättigung (18 – 106 % bzw. 1,53 – 9,05  $\text{mg L}^{-1}$ ) und stimmt zeitlich mit den Änderungen, Absinken des pH-Wertes und der  $\text{O}_2$  Sättigung und dem Ansteigen der Leitfähigkeit (vergl. Abb. 10 Abb. 12) weitgehend überein.



**Abb. 46** Verlauf des Pegels im Juli + Tagesmittel des Pegels. Das Unterschreiten des Tagesmittels ist durch die gelben Flächen hervorgehoben

Das Schilfwasser hat durch die höhere Menge an Huminstoffen bzw. -Säuren einen niedrigeren pH-Wert (aus eigenen Messungen um  $\sim 0,4$  pH Einheiten saurer), als das Wasser des Sees. Die Zunahme der Konzentration von  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  (Sinken des pH-Wertes) resultiert gleichzeitig in einer höheren Leitfähigkeit. Diese ermittelte negative Korrelation (in 35 cm  $r = -0,873^{**}$ ) zwischen pH-Wert und Leitfähigkeit ist hoch signifikant. Durch die höhere organische Belastung und die mangelnde Durchmischung kommt es innerhalb des Schilfgürtels oft zu Sauerstoffmangel bis hin zu anoxischen Bedingungen, während das Wasser der freien Seefläche durch die gute Durchmischung und die vergleichsweise relativ geringe organische Belastung sehr gute Sauerstoffverhältnisse aufweist (Herzig & Dokulil 2001).

### Phytoplankton

Das Phytoplankton des Neusiedler Sees ist aufgrund der hohen Trübe und Salinität vergleichsweise artenarm. Vor allem Picoplankton, kokkale Cyanobakterien, meroplanktische Diatomeen, gelatinöse Grünalgen oder längliche Formen bilden die wichtigsten Gruppen des Phytoplanktons (Padisák & Dokulil 1994). Im Zuge der Phytoplankton-Analysen konnte diese Aussage bestätigt werden. Zahlenmäßig sind kokkale Cyanobakterien der Gattung *Chroococcus*, *C. sp.* (*C. minutus*) *C. limneticus* am häufigsten anzutreffen. Die Chlorophyceae (excl. Euglenophyceae) stellen mit 17 Arten die artenreichste Gruppe

(*Oocystis lacustris*, *Scenedesmus* sp., *Monoraphidium contortum*, *Schroederia robusta*, *Pediastrum boryanum* P. *duplex* um nur einige zu nennen).

Bezogen auf das Biovolumen bzw. die Biomasse stellen jedoch die Bacillariophyceae die mit Abstand wichtigste Gruppe dar. Während der Untersuchungsperiode dominieren vor allem meroplanktische Arten wie *Campylodiscus clypeus* und *Surirella peisonis*, sowie andere schwere pennate Formen wie *Fragillaria* sp., *Nitzschia* sp., *Navicula* sp. und *Gyrosigma* sp. . Kleinere Formen wie *Cyclotella* sp. und kleine pennate Formen sind jedoch auch durchgehen in allen Proben zu finden.

Neben den oben genannten Gruppen sind die Cryptophyceae (*Cryptomonas erosa*) Euglenophyceae (*Euglena acus*, *Euglena viridis*, *Phacus pleuronectes phacus* sp.) und Dinophyceae (*Peridinium* sp., *Glenodinium* sp.) zu nennen. Vor allem die beiden letzteren sind charakteristisch für den Übergangsbereich offener See – Schilfgürtel, dem sie eher zuzurechnen sind.

Das Gesamt-Biovolumen wird, wie zuvor erwähnt, von großen Diatomeen und im speziellen von einer einzigen Art *Campylodiscus clypeus* sowohl im Juli als auch im August dominiert. *Campylodiscus clypeus* und *Surirella peisonis* sind euryhaline Arten und auf Sodaseen beschränkt (Hustedt 1959) und dadurch beinahe endemisch (Kusel-Fetzmann 1979). Diese schweren Formen zählen nur in erweitertem Sinne zum Phytoplankton (besser Meroplankton) und kommen nur durch starke Durchmischung ins Freiwasser, während sie in Ruhephasen in der obersten Sedimentauflage zu finden sind (Padisák et al. 1990). Das zeigt sich in einer sehr starken und hoch signifikanten Korrelation der Biovolumina mit der mittleren Windgeschwindigkeit ( $r = 0,79^{**}$ ) sowie mit den Schwebstoffen (TSS  $r = 0,79^{**}$ , OSS  $r = 0,84^{**}$  IOSS  $r = 0,78^{**}$ ), sowie mit allen Trübe-Werten (NTU  $r = 0,83^{**}$ ; Extinktion bei 430nm  $r = 0,91^{**}$ ). Das Vorkommen solcher meroplanktischer Formen hängt von der Häufigkeit der Durchmischungsereignisse ab. Diese müssen häufig genug sein um eine positive Energiebilanz, durch ausreichend Licht für die Photosynthese, zu ermöglichen (Padisák & Dokulil 1994).

Die Cryptophyceae (*C. erosa*, *Rhodomonas* sp.) zeigen eine positive Korrelationen mit der Leitfähigkeit in 35 cm ( $r = 0,67^{**}$ ) und sind mit der O<sub>2</sub>-Sättigung in mg L<sup>-1</sup> ( $r = -0,54^{**}$ ), sowie mit dem pH-Wert ( $r = -0,58^{**}$ ) negativ korreliert. Das lässt darauf schließen, dass diese, wie bereits zuvor beschrieben, in dem ausfließenden Schilfwasser in größeren Mengen vorkommen. Das stimmt mit einer früheren Arbeit über Phytoplankton-Zusammensetzung in Braunwasserlacken im Schilfgürtel (Padisák 1993) überein in der planktische Flagellaten v.a. *Cryptomonas* und *Rhodomonas* als wichtigste Gruppe beschrieben werden.

Neben den Cryptophyceae zeigen die Euglenophyceae ein weiteres interessantes Muster. Es treten starke tageszeitliche Unterschiede in der Abundanz auf und zwar zeigt sich ein tägliches Maximum mit Sonnenhöchststand um 13:00. Das wird durch eine hoch signifikante positive Korrelation mit der photosynthetisch aktiven Strahlung über Wasser ( $r=0,66^{**}$ ) unterstrichen.

In dieser Arbeit wurde versucht die prozentuelle Zusammensetzung des Biovolumens bzw. der Biomasse des Phytoplanktons, einerseits durch Phytoplanktonzählungen (3 x täglich um (7:00, 13:00 u. 19:00) zu ermitteln sowie mit hochauflösenden, halbstündlichen Messungen mittels DF-Anregungsspektrometer kurzfristige Änderungen in der Phytoplankton-Zusammensetzung zu verfolgen.

Die aus den Zählungen ermittelte Zusammensetzung zeigt einen wetterbedingten Wechsel im Juli (vergl. Abb. 28). Im Zeitraum vom 11.07. 7:00 Uhr bis zum 13.07. 13:00 wechselt der prozentuelle Anteil der einzelnen Gruppen (Cyanobakterien Ø 33,5 %, Bacillariophyceae Ø 27 %, Cryptophyceae Ø 13,4 %, Dinophyceae Ø 10,8 %, Chlorophyceae Ø 8,7 % und Euglenophyceae Ø 5,4 %) stark, während vom Abend des 13.07. (19:00) bis zum Abend des 15.07.08 (19:00) die Bacillariophyceae mit durchschnittlich 87 % (93,6 % maximal) klar dominieren. Im August zeigt sich kein großer Wechsel und die Zusammensetzung des Phytoplanktons wird klar von den Bacillariophyceae mit durchschnittlich 55 % (95 % maximal) dominiert. Mit durchschnittlich 24 % (3 % min. – 50 % max.) stehen die Cyanobakterien an zweiter Stelle.

Diese starke Dominanz der Bacillariophyceae wird auch in einer früheren Studie erwähnt: 69 % Diatomeen und 22 % Grünalgen sind charakteristisch (Padisák & Dokulil 1994).

Die aus den Messungen mittels DF-Anregungsspektrometer (DF-Pop) erstellte Zusammensetzung (Abb. 39 Abb. 40) zeigt ebenfalls eine Dominanz der Bacillariophyceae (Ø 42 %), gefolgt von den Chlorophyceae (Ø 27-30 %), dahinter die Cryptophyceae (Ø 21-23 %) und die Cyanobakterien (Ø 7-9 %), welche den kleinsten Anteil stellen. Die einzelnen prozentuellen Anteile schwanken kurzfristig stark zeigen im Mittel jedoch kaum Änderungen. Vergleicht man die nach DF-Pop erstellten prozentuellen Zusammensetzungen mit jener aus den Phytoplankton-Zählungen so zeigen sich keine nennenswerten Korrelationen (die Fehlerquelle ist unklar möglicherweise eine mangelnde Kurvenanpassung der DF-Pop).

Betrachtet man die gemessenen Chlorophyll-a Werte so zeigen diese eine extrem gute und hoch signifikante positive Korrelation ( $r > 0,87^{**}$ ) mit dem Biovolumen, welches aus den Phytoplankton-Zählungen errechnet wurde. Das lässt darauf schließen, dass die



Zusammensetzung nach Phytoplankton-Zählungen eher die tatsächliche Phytoplankton-Zusammensetzung beschreibt.

Die Werte für Chlorophyll-a liegen zwischen  $2,4 \mu\text{g L}^{-1}$  und  $42,7 \mu\text{g L}^{-1}$  und stimmen ziemlich gut mit der Schwankungsbreite einer früheren Arbeit:  $2 - 40 \mu\text{g L}^{-1}$  (Padisák & Dokulil 1994) überein.

Betreffend die vertikale Verteilung von Biovolumen und aktivem Chlorophyll-a und der Trübe, gibt es für flache polymiktische Gewässer kaum Vergleichsdaten. Da eine tatsächliche vertikale Stratifizierung der Wassersäule nur gelegentlich auftritt (Dokulil 1976). Die Vertikalverteilung der Trübe (Abb. 14 Abb. 15), gemessen bei 430 nm, zeigt eine generelle Zunahme der Trübe gegen den Gewässergrund, wobei die Trübe an windstillen Tagen (Extinktion  $0,02 - 0,04 \text{ cm}^{-1}$ ), deutlich niedriger ist als an windigen. Nach einem Windereignis zeigt sich das Absetzen der zuvor aufgewirbelten Sedimentpartikel in einer deutlichen „Schiefe“ (15.07. 13:00) der Vertikalverteilung (niedrige Oberflächenwerte und eine stark erhöhte Zunahme der Trübe über Grund). Ein weiterer Grund für Unregelmäßigkeiten in der Vertikalverteilung könnte durch das Ausfließen von Schilfwasser in einer bestimmten Tiefe (temperaturbedingte Schichtung), sowie ein ungleichförmiges Mischen von Schilf- und Seewasser bedingt sein.

Durch die Schwebstoffe wird das Unterwasser-Lichtklima stark beeinflusst und es kommt zu einer steilen Abnahme des Lichtgradienten sowie einer qualitativer Veränderung der Strahlung (Dokulil 1979). Das wiederum hat weitreichende Folgen für die photoautotrophen Phytoplankton-Organismen. Nahe der Oberfläche kann es durch zu hohe Lichtintensität zur Lichthemmung der Photosynthese kommen, zu tief und die Effizienz der Photosynthese sinkt mit der Abnahme des Lichts. Das Optimum der Photosyntheserate liegt deshalb in einem relativ schmalen Bereich, häufig bereits bei 5 bis 10 cm Tiefe (Schellander 1994). Mit Änderung des Trübstoffanteiles und der Überwasserstrahlung kommt es zur vertikalen Verschiebung des Optimums. Bei hoher Trübe liegt das Optimum nahe der Oberfläche, während es sich bei Abnehmen der Trübe zunehmend in die Tiefe verschiebt (Schellander 1994).

Die Vertikalverteilung von aktivem Chlorophyll-a (Abb. 35 Abb. 36) zeigt eine tendenzielle Zunahme gegen den Gewässergrund, was auf eine generelle Zunahme der Biomasse gegen den Gewässergrund (meroplanktische Diatomeen) zurückzuführen ist. Der Oberflächenwert zeigt meist ein klares Minimum (Photoinhibition bzw. Photodestruktion). Teilweise kommt es zu schwer interpretierbaren Vertikal-Verteilungsmustern die ebenfalls durch ungleichförmiges

Mischen von Schilf- und Seewasser (Schichtungen), sowie Sedimentation von schweren Diatomeen verursacht sein können.

In einer früheren Arbeit wurde die vertikale Verteilung der Biomasse in Schilfwasser-Tümpeln untersucht. Dabei zeigten vor allem Flagellaten wie *Cryptomonas sp.* *Rhodomonas sp.* und Euglenophyta unterschiedliche Verteilung über die Tiefe (Padisák 1993).

Die vertikale Verteilung des Biovolumens (Abb. 32Abb. 33Abb. 34) wurde für drei Profile im Untersuchungszeitraum Juli untersucht (am 11.07 7 Uhr, am 13.07. 13 Uhr und am 15.07. 19 Uhr). Dabei zeigten sich verschiedene Maxima des Gesamt-Biovolumens, beziehungsweise für die einzelnen Gruppen in verschiedenen Tiefen. Um Aussagen über die genauen Mechanismen (lateralen Wasseraustausch, Durchmischungsereignisse bzw. Sedimentation) die hinter diesen Verteilungen stehen treffen zu können sind zu wenige Daten vorhanden, da auch methodische Fehler bei der Zählung nicht auszuschließen sind. Generell zeigt sich jedoch, dass das Phytoplankton im Übergangsbereich Schilf freie Seefläche nicht von vornherein als homogen über die Tiefe verteilt angesehen werden kann und stets in Abhängigkeit von Durchmischung sowie lateralem Wasseraustausch zwischen Schilf und See zu sehen ist.

## 6. Zusammenfassung

Im Sommer 2008 wurden in der Neusiedler-See Bucht nahe der Biologischen Station in Illmitz zwischen 11. – 15. Juli und vom 12. – 14. August zeitlich und räumlich hochauflösende Messungen biotischer Parameter (Biovolumen und Zusammensetzung des Phytoplanktons, Chlorophyll-a, aktives Chlorophyll-a) und wesentlicher chemisch-physikalischer Parameter (Wind, Licht (PAR), Niederschlag, Pegel, pH-Wert, Leitfähigkeit, Temperatur, O<sub>2</sub> Sättigung, Phosphor (P<sub>tot</sub>, PO<sub>4</sub>), Trübe (in NTU, bei 430 nm), Schwebstoffe) durchgeführt. Dabei zeigten sich:

starke kurzfristige Schwankungen des Gesamt-Biovolumens (0,2 – 3,95 mm<sup>3</sup> L<sup>-1</sup>), des Chlorophyll-a Gehalts (2,4 - 42,7 µg L<sup>-1</sup>), der Schwebstoffmenge (21 - 211 mg L<sup>-1</sup>), dem Gesamt-Phosphor (30 - 120 µg L<sup>-1</sup>) der Trübe (30 - 730 NTU), die alle hoch signifikant mit der Änderung der mittleren Windgeschwindigkeit korreliert sind.

Kurzfristige Schwankungen der spezifischen Leitfähigkeit (ca. 2500 – 3000 µS cm<sup>-1</sup>), des pH-Werts (pH 8,4 – pH 9) und der Sauerstoffsättigung (18 – 105 % bzw. 1,5 -9 mg L<sup>-1</sup>) wurden infolge eines lateralen Wasseraustauschs zwischen Schilf- und Seewasser beobachtet. Dieser Wasseraustausch wird durch windbedingte Pegelschwankungen (Seiches) angetrieben.

Die Biomasse des Phytoplanktons wird deutlich von meroplanktischen Diatomeen (*Campylodiscus clypeus*, *Surirella peisonis*) dominiert (bis zu 93 %), während kokkale Cyanobakterien (*Chroococcus* sp. *Chroococcus* cf. *limneticus*) die höchsten Abundanzen pro Liter erreichen (J. Padisák, M. Dokulil 1994). Das Biovolumen der Diatomeen ist hoch signifikant mit der Schwebstoffmenge der Trübe und der mittleren Windgeschwindigkeit korreliert, was deren meroplanktischen Charakter deutlich unterstreicht.

Es konnten Unterschiede in der vertikalen Verteilung von aktivem Chlorophyll-a, sowie des Biovolumens des Phytoplanktons beobachtet werden. Welche Mechanismen hinter diesen Verteilungsmustern stehen konnte aufgrund der zu geringen Probenanzahl nicht bestimmt werden. Wahrscheinlich sind diese auf Durchmischungsereignisse, Sedimentation und lateralen Wasseraustausch zwischen Schilfgürtel und freier Seefläche zurückzuführen.

## 7. Abstract

High resolution measurements of biotic variables (biovolume and composition of phytoplankton, chlorophyll-a content, content of active chlorophyll-a) and environmental parameters such as wind-speed, radiation (PAR), precipitation, water-level, pH-value, conductivity, temperature, O<sub>2</sub>-saturation, phosphorus (P<sub>tot</sub>, PO<sub>4</sub>), turbidity as NTU and extinction at 430nm, were recorded in a bay of the Neusiedler See next to the biological Station in Illmitz, during summer 2008. Experiments lasted from the July 11-15 and from August 12-14.

Results indicate a high short term fluctuation of total phytoplankton-biovolume (0.2 – 3.95 mm<sup>3</sup> L<sup>-1</sup>), total chlorophyll-a concentration (2.4 – 42.7 µg L<sup>-1</sup>), seston dry-weight (21 - 211 mg L<sup>-1</sup>), total phosphorus (30 - 120 µg L<sup>-1</sup>) and turbidity (30 - 730 NTU), which are all highly significant correlated to changes in average of wind-speed.

Short term fluctuations of specific conductivity (~ 2500 – 3000 µS cm<sup>-1</sup>), pH-value (pH 8.4 – pH 9) and O<sub>2</sub>-saturation (18 – 105 % or 1.5 - 9 mg L<sup>-1</sup>) were recognized due to lateral exchange of brown-water (originating from the reed-belt) and the water of the open lake. This exchange of water is caused by wind-forced water-level fluctuations (seiches).

The total biovolume of phytoplankton is dominated by meroplanktonic diatoms such as *Campylodiscus clypeus* and *Surirella peisonis* (up to 93 %), while coccal cyanobacteria of picoalgal size (*Chroococcus* sp. *Chroococcus* cf. *limneticus*) dominate in abundance (Padisák & Dokulil 1994). The biomass of diatoms is significantly correlated to seston-weight, turbidity and average wind-speed, which clearly underlines their meroplanktonic character.

Although differences in vertical distribution of active chlorophyll-a concentration and total biovolume of phytoplankton are recognizable, it is not clear which mechanisms contribute to the pattern of vertical distribution, because too few samples have been analyzed to make distinct conclusions. Probably the observed distribution patterns have been caused by mixing events, sedimentation and lateral water-exchange as well.

## **8. Danksagung**

Bei meinem Betreuer Herrn Univ.-Prof. Dr. Martin Dokulil, möchte ich mich aufrichtig für die Überlassung des Diplomarbeitsthemas und die vielen anregenden Ideen und Gespräche, sowie für die geduldvolle Einführung in die umfangreiche Methodik und für die wirklich herzliche und gute Betreuung bedanken.

Bei Herrn Univ.-Prof. Dr. Alois Herzig bedanke ich mich aufrichtig für die Bereitstellung eines Arbeitsplatzes und für die Unterbringung an der Biologischen Station in Illmitz, inmitten der traumhaften Landschaft des Seewinkels.

Bei Herrn Ing. Rauchwarter bedanke ich mich für die Hilfestellung bei den chemischen Analysen, sowie für die zur Verfügung gestellten Wetterdaten.

Herrn Dipl.-Ing. Karl Maracek vom hydrografischen Dienst des Landes Burgenland möchte ich herzlich für die zur Verfügung gestellten Pegel- und Niederschlags-Daten danken.

Bei Herrn Univ.-Prof. Mag. Dr. Michael Schagerl bedanke ich mich für den zur Verfügung gestellten Arbeitsplatz zur Aufarbeitung des Phytoplankton-Probenmaterials.

Zu guter letzt möchte ich mich von ganzem Herzen bei meinen Eltern und Freunden bedanken die mich auf meinem Weg durch das Studium begleitet haben. Die mich stets moralisch unterstützt und somit wesentlich zum Entstehen dieser Arbeit beigetragen haben.

## Literaturverzeichnis

Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren e. V. (ATT) Titel: Erfassung und Bewertung von Planktonorganismen, (elektronischer Katalog von Planktonorganismen und deren Biovolumina). Wahnachtalsperrenverband Postfach 1933 53709 Siegburg

Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Stand: DIN EN ISO 6878:2003 (D), DIN 38405 - D30, DIN 38407-22 (2001), DIN EN 1189

DOBESCH, H., NEUWIRTH, F. (1979) Climatic conditions. In H. Löffler (ed.) Neusiedlersee The limnology of a shallow lake in central Europe. Dr. W. Junk Publishers, The Hague: Boston, London 47-63

HERZIG, A., DOKULIL, M. (2001) Neusiedler See – ein Steppensee in Europa. In Dokulil, M., Hamm, A., Kohl, J.G. (eds.) Ökologie und Schutz von Seen; 1. Auflage Facultas UTB 499 pp. (ISBN 3-85076-438-9)

DOKULIL, M. (1979) Optical properties, colour and turbidity. In H. Löffler (ed.) Neusiedlersee The limnology of a shallow lake in central Europe. Dr. W. Junk Publishers, The Hague: Boston, London 151-167

DOKULIL, M. (1979) Seasonal pattern of phytoplankton. In H. Löffler (ed.) Neusiedlersee The limnology of a shallow lake in central Europe. Dr. W. Junk Publishers, The Hague: Boston, London 203-134

DOWNING, J.A., PRAIRIE, Y.T., COLE, J.J., DUARTE, C.M., TRANVIK, L.J., STRIEGL, R.G., MCDOWELL, W.H., KORTELAINE, P., CARACO, N.F., MELACK, J.M., MIDDELBURG, J.J. (2006) The global abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments. *Limnol. Oceanogr.*, 51, 2006, 2388–2397

FORMAYER, H. (2006) Impact of Climate change on Lake Neusiedl and potential adaption strategies. Adaptation to Climatic Change in the European Alps, Workshop 04 – 06 October 2006

GERHARDT, V., BODEMER, U. (1998) Delayed fluorescence spectroscopy: A method for automatic determination of phytoplankton composition of freshwaters and sediments (interstitial) and of algal composition of benthos. – *Limnologica* 28: 313-322

GERHARDT, V., PUTZGER, J. (1991) Differenzierung verschiedener Algentaxa durch Anregungsspektren der verzögerten Fluoreszenz. – Deutsche Ges. f. Limnologie, Tagungsband Essen 1990: 14-18.

HERZIG, A. (1990) Zur limnologischen Entwicklung des Neusiedlersees. In AGN (ed.) Schutz und Entwicklung großer mitteleuropäischer Binnenseenlandschaften. Bodensee – Neusiedler See- Balaton. Tagungsband, Eisenstadt 91 -98

HUSTEDT, F. (1959) Bemerkungen über die Diatomeenflora des Neusiedlersees und des Salzlachengebietes. In *LandschaftNeusiedler See Wiss. Arb. Burgenland* 23.

- KRAUSE, H., KRETSCH, G., GERHARDT, V. (1984) Differential equations of delayed fluorescence kinetics of living plants. *J. Luminescence* 31/32: 885-887
- KRAUSE, H., GERHARDT, V., WACHTVEITEL, J. (1987) Temperature dependence of DF – Kinetics and PQ-conductivity. In J. Biggins (ed.) *Progress in Photosynthesis Research*, Vol. II (Proc. VII Intern. Congress on Photosynthesis, Providence, Rhode Island, U.S.A., 1986): 505 - 508
- KRETSCH G., GERHARDT, V. (1987) Numerische Analyse der Kinetik der verzögerten Fluoreszenz von Algen. *Arch. Hydrobiol., Beih. Ergebn. Limnol.* 29:47-54
- KUSEL-FETZMANN, E. (1979) The algal vegetation of Neusiedlersee. In H. Löffler (ed.): *Neusiedlersee The limnology of a shallow lake in central Europe*. Dr. W. Junk Publishers, The Hague: Boston, London 171 -202
- LÖFFLER, H. (1979) *Neusiedlersee. The limnology of a Shallow Lake in central Europe*. Monogr. Biol. 37. Dr. W. Junk Publishers, The Hague: Boston, London 543pp.
- LORENZEN, C.J. (1967) Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations - *Limnol. Oceanogr.* 12: 343-346.
- MEYBECK, M. (1995) Global distribution of lakes. In A. Lerman, D. M. Imboden and J. R. Gat (eds.) *Physics and chemistry of lakes*. Springer-Verlag 1–35.
- NAGL, H. (1979) The catchment area, a geographical review. In H. Löffler (ed.) *Neusiedler See The limnology of a shallow lake in central Europe*. Dr. W. Junk Publishers, The Hague: Boston, London. 3-32.
- PADISÁK, J., TÓTH, L.G., RAJZY, M. (1990) Stir up effect of wind on a more or less stratified shallow lake phytoplankton community, Lake Balaton, Hungary. *Hydrobiologia*, 191: 249-254
- PADISÁK, J. (1993) Species composition, spatial distribution, and the seasonal and interannual dynamics of phytoplankton in brown-water lakes enclosed with reed-belts (Neusiedlersee/Fertő; Austria/Hungary) BFB-Bericht (Biologisches Forschungsinstitut für Burgenland) 79, 13-29
- PADISÁK, J., DOKULIL, M. (1994) Meroplankton dynamics in a saline, turbulent, turbid shallow lake (Neusiedlersee Austria & Hungary). *Hydrobiologia* 289: 23-42
- PRÉZELIN, B.B. (1981) Light reactions in Photosynthesis. *Can. Bull. Fish. Aquat. Sci.* 210 (Physiological Bases of Phytoplankton ecology): 1-43
- ROWAN, K.S. (1989) *Photosynthetic pigments of algae*. - Cambridge University Press

SCHELLANDER, A. (1994) Beeinflussung der planktischen Primärproduktion und der Phytoplanktonzusammensetzung durch mittelfristige Störungen in einem turbulenten, stark getriebenen Flachsee (Neusiedlersee). Diplomarbeit an der Formal- und Naturwissenschaftlichen Fakultät Wien.

STRICKLAND, J.D.H., PARSONS, T.R. (1972) A practical handbook of seawater analysis (2<sup>nd</sup> ed.) Fish. Res. Bd. Can. Bulletin 167, Ottawa

TÜMPLING W. V., FRIEDRICH, G. (1999) Biologische Gewässeruntersuchung In Friedrich G. (1999) Methoden der Wasseruntersuchung (Band 2); ISBN 3-437-35170-2

UTERMÖHL, H. (1958) Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitt. Int. Verein theor. Angew. Limnol.5: 567-596.



## LEBENS LAUF

Name: Johann Michael Nesweda  
 geboren am: 3.12.1983  
 Geburtsort: in Melk an der Donau  
 Eltern: Johann Nesweda      Hafnermeister  
           Friederike Nesweda    Hafnermeisterin & Keramikerin

### Bildungsweg:

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1990 - 1994        | Volksschule in Emmersdorf an der Donau                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 1994 - 2002        | AHS: Stiftsgymnasium Melk<br>Unterstufe<br>Oberstufe: Neusprachlicher Zweig (Französisch)                                                                                                                                                                                                           |
| 19.6.2002          | Ablegung der Reifeprüfung                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| seit Oktober 2003  | Studium der Biologie an der Universität Wien                                                                                                                                                                                                                                                        |
| seit Oktober 2005  | Studienzweig Ökologie mit Schwerpunkt Limnologie                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Juli - August 2006 | Praktikum an der Biologischen Station Illmitz im Nationalpark<br>Neusiedler See-Seewinkel:<br><i>Arbeit als Chemielaborant im Bereich Wasseranalytik</i>                                                                                                                                            |
| 1.10.06 – 28.02.07 | Arbeit als Tutor im Rahmen der Lehrveranstaltung<br><i>Chemische Übungen für Ernährungswissenschaftler</i>                                                                                                                                                                                          |
| September 2007     | Praktikum am Bundesamt für Wasserwirtschaft in Scharfling am<br>Mondsee „Fließgewässer- & Seenökologie“<br><i>Datenanalyse, und Elektrofischungen im Rahmen eines Projektes zur<br/>         Bestandsaufnahme und zur Elimination der Regenbogenforelle im<br/>         Nationalpark Kalkalpen.</i> |