

Der Einfluss der Öffnungsmaßnahmen auf die Phytoplanktongemeinschaft im Regelsbrunner Altarmsystem

Michael SCHAGERL, Patricia RIEDLER & Astrid WITTMANN

Die Baumaßnahmen im Regelsbrunner Altarmsystem bewirkten eine größere Durchlässigkeit, die sich in messbaren Änderungen ausgesuchter Variablen ausdrückte. Generell wurde festgestellt, dass mit den baulichen Tätigkeiten eine Vereinheitlichung im Hauptarm einher ging und eine Annäherung an den Donaustrom stattfand. Der Donaustrom wurde als Referenzstandort gewählt, nachdem sichergestellt wurde, dass vor und nach den Baumaßnahmen im Donaustrom gleiche Verhältnisse herrschten. Um den Fehler durch saisonale Schwankungen zu minimieren, wurden Differenzen zwischen Au-Standorten und dem Donaustrom gebildet und diese statistisch ausgewertet.

Das Lichtklima unter Wasser verschlechterte sich durch die Baumaßnahmen im Ausystem, die Algen beantworteten dies mit einer (nicht signifikanten) effizienteren Lichtausbeute. Eine signifikante Annäherung an den Donaustrom ergaben die Chlorophyll-a-Differenzen im Hauptarm auf Höhe der Regelsbrunner Traverse. Die weiteren Standorte zeigten nach den Baumaßnahmen geringere Streuungen und auch geringe Differenzen zum Donaustrom (allerdings insignifikant). Bei Auftrennung der Chlorophyll-a-Differenzen nach Pegelgruppen wies die Klasse MW bis MW+1,5 m eine signifikante Annäherung an den Donaustrom aus. Gerade diese Gruppe wurde durch die Bautätigkeit stark beeinflusst.

Unter den Algen sind Bacillariophyceae weiterhin die bedeutendste Klasse, auch hier konnte eine Annäherung an die Zusammensetzung im Donaustrom belegt werden. Waren vor den Bautätigkeiten die Mengen der Cryptoflagellaten und Chlorophyta zwischen Donau und Auegebiet signifikant verschieden, konnten nach den Maßnahmen keine Differenzen in der Quantität der Algenklassen mehr festgestellt werden. Bei einem faktorenanalytischen Ansatz wurde festgestellt, dass für die Algenmengen die hydrologischen Verhältnisse an Bedeutung gewinnen, während die Saisonalität etwas in den Hintergrund tritt.

Bei visuellem Vergleich der potentiellen Nettoproduktion zeigt sich, dass sich nun offenbar Extreme nicht mehr so deutlich ausbilden. Insgesamt erhöhte sich die Nettoproduktivität von 0,4 g Sauerstoff m⁻² d⁻¹ (1995/96) auf nunmehr 1,2 g Sauerstoff m⁻² d⁻¹ (1999). Trotz der hohen Stochastizität in diesem dynamischen System ist anzunehmen, dass die Baumaßnahmen zu einer Steigerung der pelagischen Produktivität führten. Längerfristige Untersuchungen wären hier aber dringend vonnöten, um diese Hypothese auch abzusichern. Auch bei der Produktion konnte gezeigt werden, dass eine signifikante Annäherung an die Verhältnisse im Donaustrom stattfand.

SCHAGERL M., RIEDLER P. & WITTMANN A., 2004: The impact of restoration measures on the phytoplankton community in the "Regelsbrunner Au"

The construction work in the Regelsbrunn area led to an increased permeability, which was expressed in selected variables. A general trend was observed, namely a standardization of environmental variables within the stretch of the backwater system coincident with an approximation to the River Danube.

Light climate became worse due to the construction work, algae responded to this with a more efficient light harvesting. After construction measures were done, chlorophyll-a of the backwater at sampling station Regelsbrunner Traverse significantly approximated to that of the River Danube. Other sampling stations of the backwater area showed lower deviations but also decreased differences. When split up into water-level classes, the group MW to MW+1.5 m approached significantly to the River Danube. Exactly this group was heavily influenced by the construction work.

Looking at the algal composition, an approximation between River Danube and the backwater system could be observed. Diatoms were the most abundant group further on, but cryptoflagellates as well as greens showed no more differences after measures

were carried out. Principal component analysis indicated a gain in importance of hydrology, whereas the influence of seasonality decreased.

A comparison of the potential net productivity indicated, that extremes generally decreased. All in all, net productivity raised from 0.4 g oxygen m⁻² d⁻¹ (1995/96) up to 1.2 g oxygen m⁻² d⁻¹ (1999). The pattern of productivity indicated an approximation to the situation found in River Danube. Despite the high stochasticity of the system a trend towards higher pelagic productivity can be assumed, but further investigations are necessary to provide security of this hypothesis.

Keywords: restoration, phytoplankton community, Danube, algal composition, Diatoms.

Einleitung

Nach VANNOTE (1980) ändert sich im Längsverlauf eines Flusses nicht nur das relative Verhältnis zwischen allochthonem und autochthonem Eintrag, vielmehr variiert auch die Bedeutung der einzelnen Primärproduzentengruppen. Obwohl der österreichische Donauabschnitt noch Gebirgsflusscharakter aufweist (WAWRIK 1962), konnte eine autochthone Potamoplanktonentwicklung eindeutig nachgewiesen werden (KISS & NAUSCH 1987). Die Organismen stammen aus den Voralpenseen und auch aus den Ausystemen entlang des Donaustromes. Zusätzlich bewirkte der Kraftwerksbau mit den damit verbundenen Stauhaltungen eine längere Aufenthaltsdauer des Wasserkörpers, die sich nunmehr auch in einer Erhöhung der Planktonmengen ausdrückt.

Augewässer sind durch eine eigenständige, dynamische Hydrologie gekennzeichnet, die sich in einem häufigen Wechsel zwischen Stagnation und Durchfluss ausdrückt. Die Gewässer sind über den Grundwasserkörper, besonders aber über oberflächige Anbindungen mit dem Fluss vernetzt. Die Verbindungen stehen mit der Ausdehnung, Frequenz und Dauer von Überschwemmungen in ursächlichem Zusammenhang und steuern damit den Ein- und Austrag von Substanzen, Partikeln und Lebewesen.

Mit Beginn der Donauregulierung in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts kam es zu einer grundlegenden Störung des Gleichgewichtes Fluss-Ausystem. Der Abfluss wurde mit befestigten Uferdämmen kanalisiert, Nebenarme abgetrennt, die Hochwasserwirkung eingeschränkt und durch den Bau von rückstauenden Traversen in die Altarme eine höhere Wasserretention geschaffen. All diese Maßnahmen bewirkten eine beschleunigte Verlandung der Nebenarme und eine rasche Eintiefung des Donaustromes in den freien Fließstrecken. Weitere Folge war der Verlust von nahezu der Hälfte an aquatischen und amphibischen Arealen!

Mit Beginn des Gewässernetzungsprojektes Regelsbrunn wurde 1995 ein großer Schritt zur langfristigen Restaurierung der Donauauen vollzogen. Die Frage, warum gerade dieser Donauabschnitt als geeignet erscheint, beantworteten TÖCKNER & SCHIEMER (1997) folgendermaßen: (i) zwischen Donau und Grundwasserkörper der Au kann eine weitgehend intakte Verbindung festgestellt werden, (ii) es sind nur geringfügige Eingriffe nötig, um die Durchlässigkeit des Systems zu erhöhen, (iii) es existiert bereits umfangreiches Datenmaterial und (iv) das Areal ist groß genug, um Änderungen nachweisen und interpretieren zu können. Als vorrangiges Ziel dieses Projektes kann die Instandsetzung einer natürlichen Gewässerdynamik in diesem Auegebiet genannt werden, womit auch die Tier- und Pflanzenwelt nachhaltig beeinflusst wird. Durch streckenweise Absenkung des Treppelweges und der Öffnung von Traversen im Altarmsystem wurde eine deutlich höhere Anbindung an den Donaustrom in flussab gelegenen Bereichen erreicht (siehe HEIN et al., dieser Bericht). Im Zuge von Voruntersuchungen in den

Jahren 1996/97 wurde eine Status-quo-Erhebung des Systems durchgeführt, die darauf ausgerichtet war, Änderungen in den Augewässern, die durch die Öffnungsmaßnahmen verursacht wurden, zu dokumentieren. Die Nachuntersuchung zeigte nunmehr jene Änderungen auf, die bereits kurzfristig zu verzeichnen waren.

Neben Nährstoffen und dem Bakterioplankton (siehe HEIN et al., dieser Bericht) eignen sich auch pelagische Algengemeinschaften (Phytoplankton) als Indikatororganismen sehr gut, da sie kurze Generationszyklen aufweisen. Eine Population kann nur dann aufgebaut werden, wenn ihre Nettowachstumsrate (einschließlich Verlusten) die Auswaschungsrate übersteigt. Potamoplankton besteht aufgrund der kurzen Verweildauer des Wassers in Flusssystemen im wesentlichen aus r-Strategen mit hohen Wachstumsraten (REYNOLDS 1994), nur bei sehr geringen Auswaschungsraten können zunehmend K-Strategen wie fädige Cyanobakterien auftreten (DESCY 1993, KÖHLER 1993). Im Donaustrom dominieren mit zentrischen Kieselalgen r-Strategen (HOLAREK et al. 1996, RIEDLER & SCHAGERL 1998, SCHAGERL & RIEDLER 2000). Das Vorherrschen dieser Algengruppe ist für temperate, nährstoffreiche Flüsse typisch (DESCY 1987 & 1993, KÖHLER 1994, MOSS & BALLS 1989, SCHMIDT 1994).

Wie bereits erläutert wurde, ist der Durchfluss in dynamischen Augewässern ein Schlüsselparameter für die Algengemeinschaften und deren Produktion. Hochwasserereignisse wirken als Störungen („external disturbances“, DESCY 1993). Sie bedingen einen Rückschritt zu früheren Sukzessionsstadien (GARCIA DE EMILIANI 1993). Die oberflächige Anbindung der Seitenarme an den Hauptstrom bringt einerseits Nährstoffe, andererseits führt die eingebrachte hohe anorganische Trübe zu äußerst schlechten Lichtbedingungen. Mit der oberflächigen Abkopplung vom Hauptstrom treten zunehmend autogene Steuerfaktoren in den Vordergrund (Nährstofflimitation, Konkurrenzdruck, Grazing, Parasitismus).

Im Zuge des Gewässervernetzungsprojektes Regelsbrunn wurde mit den Baumaßnahmen einerseits das Ausystem verstärkt an den Donaustrom angebunden (oberflächige Verbindung mit dem Hauptstrom ab MW-0,5 m), andererseits die Durchgängigkeit des Wassers im Regelsbrunner System erhöht (Öffnung mancher Traversen; Details bei HEIN et al., dieser Bericht, SCHIEMER et al. 2000). Damit waren vor allem im Bereich zwischen MW-0,5 m bis MW+1,5 m Änderungen in der Phytoplanktongemeinschaft zu erwarten. Zwischen diesen Pegelständen sollte hypothetisch eine Annäherung an die Verhältnisse im Donaustrom feststellbar sein (durch Öffnungsmaßnahmen verkürzte Verweildauer des Donauwassers im Ausystem).

Material & Methoden

Die Voruntersuchungen wurden zwischen 10. 9. 1995–16.10.1995 und 22. 4. 1996–22. 5. 1996, die Nachuntersuchungen im Zeitraum 13. 4. 1999–20. 7. 1999 in wöchentlichen Abständen an den 7 Hauptprobestellen durchgeführt (P1–P7; Lageplan siehe HEIN et al., dieser Bericht). Für statistische Analysen wurden zusätzlich Daten aus den Arbeiten von RIEDLER (1997) und WITTMAN (2001) herangezogen, um eine ausreichende Absicherung der Ergebnisse zu erreichen. Details sind den Jahresberichten zu entnehmen (SCHAGERL & RIEDLER 1997). Im vorliegenden Bericht wurden vorrangig die Ergebnisse des Probenpunktes P4 (Hauptarm Regelsbrunner Traverse) dargestellt; einerseits waren an diesem Standort die größten Änderungen zu erwarten (die weiteren zeigten ähnliche,

jedoch nicht derart ausgeprägte Muster), andererseits sollten damit Redundanzen weitestgehend vermieden werden.

Im **Freiland** wurden Unterwasser-Lichtmessungen im Vertikalprofil durchgeführt und daraus vertikale Attenuationskoeffizienten berechnet (Fa. LI-COR, LI 1000 mit Flachkopfsensor, Messung in $\mu\text{mol Photonen PhAR}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Für Pigmentanalysen und Messungen der pelagischen Primärproduktion wurden Wasserproben 15 cm unter der Wasseroberfläche entnommen und in 10-l-Kanistern rasch ins Labor gebracht. Die qualitative Phytoplanktonanalyse erfolgte mit Netzplanktonzügen (Maschenweite 37 μm).

Laboruntersuchungen: Nach Abfüllen der Wasserproben in genormte Glasflaschen wurde unter definierten Licht- und Temperaturbedingungen die Primärproduktion ermittelt (WINKLER-Methode modifiziert nach SCHWOERBEL 1994, elektrochemische Titration zur Bestimmung des Endpunktes). Die Temperatur in der Klimakammer wurde den Freilandtemperaturen angepasst. Die ermittelten Produktionsraten wurden in ein nicht-lineares Regressionsmodell von JASSBY & PLATT (1976) eingesetzt:

$$P = P_{\max} \cdot \tanh(I \cdot \alpha / P_{\max})$$

P aktuelle Bruttoproduktion, P_{\max} maximale Produktionsrate, I aktuelle Einstrahlung, α Anfangsanstieg

Aus diesem Modell wurde der Anfangsanstieg α , der ein aussagekräftiger Parameter für die Lichtausbeute unter niedrigen Lichtintensitäten ist, sowie die maximale Photosyntheserate berechnet. Auftretende Lichthemmungen im Labor wurden in der Modellberechnung nicht berücksichtigt. Aus der Division von P_{\max} / α wurde die Lichtintensität I_k ermittelt, sie kennzeichnet den Übergangsbereich von der Lichtlimitation zur Lichtsättigung und gibt Auskunft über den Adaptationszustand des Phytoplanktons. Die spezifischen Produktionsraten wurden auf Chlorophyll-a bezogen.

Die Berechnung der potentiellen Produktivität im Freiland aus den Labordaten erfolgte nach folgender Methodik: Für die Ermittlung der Brutto- und Nettoproduktivität wurden Globalstrahlungsdaten (ZAMG, Messstelle Fischamend) in PhAR-Unterwasserstrahlung umgerechnet (mittlerer stündlicher Lichtgenuss; PhAR = Photosynthetically Active Radiation). Für die Umrechnung von Globalstrahlung in PhAR wurde dabei ein Faktor von 0.46 herangezogen (KOHL & NIKLISCH 1988, WETZEL & LIKENS 1991) und der Reflexionsverlust an der Gewässeroberfläche mit 5% angenommen (WETZEL & LIKENS 1991). Aus den vertikalen Attenuationskoeffizienten wurde der mittlere stündliche Lichtgenuss in verschiedenen Tiefen berechnet (cm-Schritte) und aus den Labordaten die Bruttoproduktion bei diesen Lichtintensitäten ermittelt. Durch Vergleich der so berechneten Daten kann für die Lichtintensität in der jeweiligen Tiefe die Produktion zugeordnet werden. Für die Kalkulation der flächenbezogenen Primärproduktion (m^2) wurden danach die in cm-Schritten berechneten Bruttoproduktionen aufaddiert, wobei als Korrekturfaktor zusätzlich Chlorophyll-a einbezogen wurde.

Chl-a tritt in allen Algenklassen einschließlich der Cyanobakterien (Blaualgen) auf und eignet sich daher als einfach zu ermittelnder Ersatzparameter für die Algenmenge. Für die Pigmentanalyse wurden Wasserproben im Labor auf GF/C-Filter (Fa. WHATMAN) filtriert. Nach kurzer Lagerung bei $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ wurden die Filter in 90% Aceton homogenisiert. Die anschließende Extraktion fand bei $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ statt (Extraktionsdauer 15 Stunden). Am darauffolgenden Tag wurde der Extrakt zentrifugiert, der Überstand dekantiert und spektralphotometrisch vermessen (Berechnung nach JEFFREY & HUMPHREY 1975, LORENZEN 1968). Ein Teil des Pigmentextraktes wurde mittels HPLC aufgetrennt und quan-

tifiziert (HPLC-System: Fa. Merck-Hitachi; ternärer Lösungsmittelgradient mit Aqua destillata, Methanol und Acetonitril; Vorderderivatisierung mit Ammoniumacetat; Säule: Merck-Superspher RP-18 250/4, Vorsäule: Merck-Lichrospher RP-8 endcapped). Die Peakdetektion erfolgte bei 440 nm (JEFFREY et al. 1997, SCHAGERL 1993, SCHAGERL & DONABAUM 1998, WRIGHT et al. 1991).

Die Ermittlung der prozentuellen Anteile der einzelnen Algenklassen erfolgte durch Berechnung des jeweiligen Chlorophyll-a-Klassenanteiles am Gesamtchlorophyll-a mit Hilfe von Pigmentverhältnissen: Bacillariophyceae + Chrysophyceae: Fucoxanthin; Cyanobacteria: Echinenone; Chlorophyta + Euglenophyta: Chl-b; Dinophyta: Peridinin; Cryptophyceae: Alloxanthin.

Bei der systematischen Auswertung der Netzplanktonzüge wurden die relativen Abundanzen der einzelnen Arten ermittelt. Zusätzlich fand im Labor eine Membranfiltration des Probenwassers statt, um auch Organismen unter 30 µm berücksichtigen zu können. Die Bestimmung erfolgte nach: Blaualgen: BOURRELLY (1970), GEITLER & PASCHER (1925), Chlorococcales: KOMAREK & FOTT (1983); Ulotrichales: BOURRELLY (1972), HEERING (1914); Bacillariophyceae: KRAMMER & LANGE-BERTALOT (1986, 1988, 1991a, b). Zusätzlich zur systematischen Einordnung wurden auch Abundanzschätzungen nach einer fünfstufigen Skala vorgenommen (1 vereinzelt, 2 selten, 3 ... häufig, 4 sehr häufig, 5 massenhaft).

Quantitative Phytoplanktonanalyse: Aus den Kanistern wurden Proben in Braunglasflaschen abgefüllt und mit Lugol'scher Lösung fixiert. Die Ermittlung der Algenbiomasse erfolgte nach der UTERMÖHL-Methode in vierzehntägigen Abständen (UTERMÖHL 1958).

Statistische Analysen wurden mit SPSS 9.0.1 durchgeführt, wobei teilweise die Daten gruppiert wurden (siehe auch HEIN et al., dieser Bericht):

1. Gruppe unter MW (hypothetisch keine großen Änderungen zu erwarten)
2. Gruppe MW bis MW +1,5 m (große Änderungen durch Maßnahmen)

Um saisonale Schwankungen zu korrigieren, wurde auf Differenzbildungen zurückgegriffen. Hierbei wurde die Donau als Referenzstandort herangezogen, nachdem für die jeweiligen Variablen sichergestellt wurde, dass sich der Donaustrom in der Voruntersuchung nicht signifikant von der Nachuntersuchung unterschied. Die Beträge der Differenzen zu Standort P4 wurden hinsichtlich signifikanter Unterschiede geprüft (Kolmogorov-Smirnow-Test auf Normalverteilung; t-Test, Mann-Whitney-Test für unabhängige Stichproben).

Ergebnisse & Diskussion

Vertikale Attenuationskoeffizienten

Der vertikale Attenuationskoeffizient ϵ – ein Maß für die Lichtabschwächung – wird maßgeblich vom Schwebstoffgehalt des Wasserkörpers beeinflusst. Im Hauptstrom (P1) wurden infolge der starken Turbulenzen generell höhere Koeffizienten als im Ausstrom verzeichnet. Die Baumaßnahmen führten zu einer Angleichung der ϵ . Während vor den Bautätigkeiten P1 und P4 signifikant voneinander verschieden waren, zeigten sich bei der Nachuntersuchung keine Unterschiede mehr (Abb. 1, 2). Im jeweils rechten Teil der Abb. 1 und 2 sind deutlich die Erhöhungen von ϵ bei P4 zu erkennen, damit wird der Regelsbrunner Hauptarm als Folge der Baumaßnahmen mit weniger Licht versorgt.

Klasse 1 (unter MW)

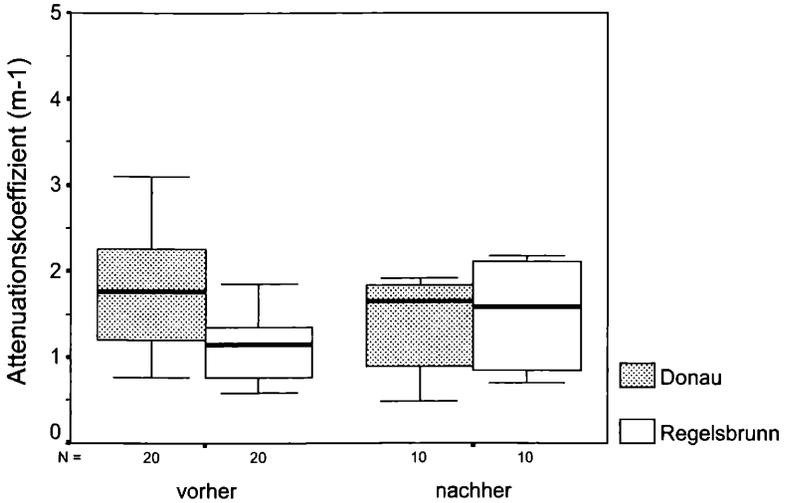


Abb. 1: Vergleich der vertikalen Attenuationskoeffizienten in der Gruppe <MW (Boxplot: Median, Interquartilbereich 50% und berechnete Extreme). – Comparison of the attenuation coefficient before and after restoration.

Klasse 2 (MW bis MW+1,5)

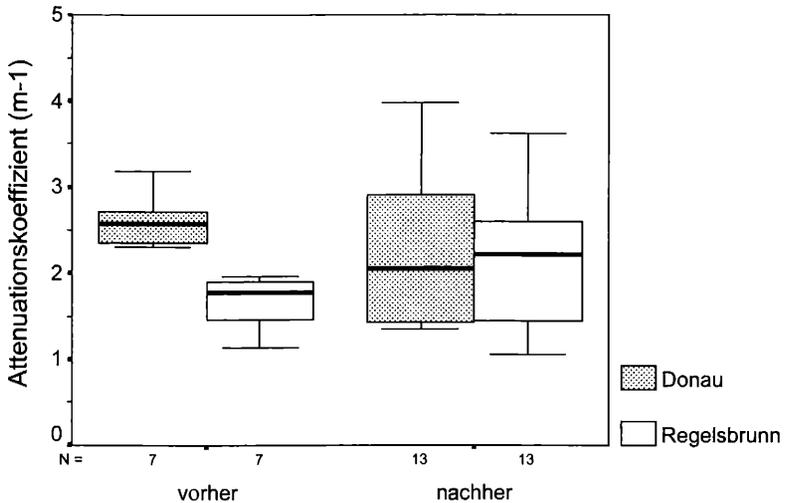


Abb. 2: Vergleich der vertikalen Attenuationskoeffizienten in der Gruppe MW bis MW+1,5 m (Boxplot: Median, Interquartilbereich 50% und berechnete Extreme). – Comparison of the attenuation coefficient before and after restoration.

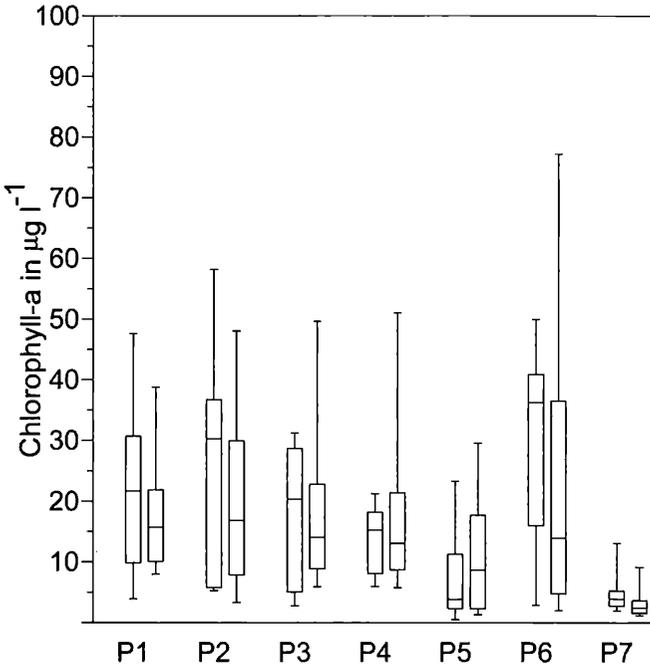


Abb. 3: Chl-a-Vergleich vor und nach den Baumaßnahmen (Boxplot: Median, Interquartilbereich 50% und berechnete Extreme). – Comparison of chl-a concentration before and after restoration.

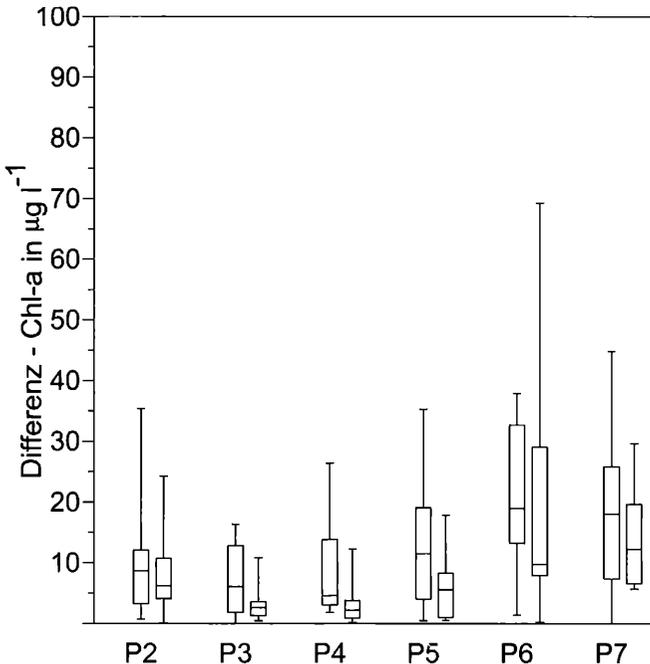


Abb. 4: Differenzen im Chl-a-Gehalt – Donau gegen jeweiligen Au-Standort (Median, Box = Interquartilbereich 50% und berechnete Extreme). – Comparison of differences between chl-a concentration in the Danube and at the sampling sites before and after restoration.

Klasse 1 (unter MW)

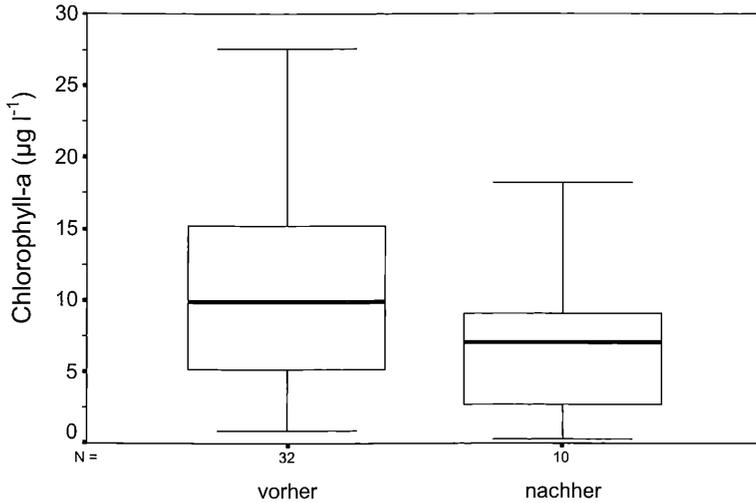


Abb. 5: Chl-a-Differenzbeträge P1-4 in der Gruppe <MW, sie scheinen durch die Baumaßnahmen nicht beeinflusst (Boxplot: Median, Interquartilbereich 50% und berechnete Extreme). – Comparison of the differences between chl-a concentration in the Danube and at the sampling site 4 before and after restoration.

Klasse 2 (MW bis MW+1,5)

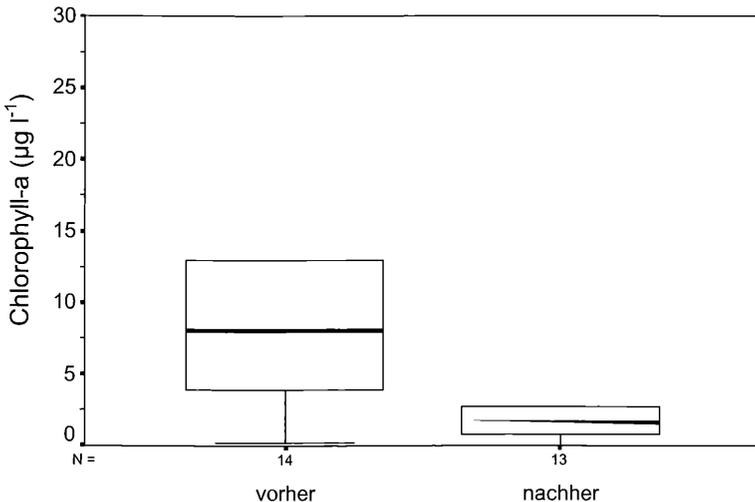


Abb. 6: Differenzbeträge P1-P4 in der Gruppe MW bis MW+1,5 m; deutliche Entwicklung in Richtung Donau infolge der Maßnahmen (Boxplot: Median, Interquartilbereich 50% und berechnete Extreme). Comparison of the differences between chl-a concentration in the Danube and at the sampling site 4 before and after restoration.

Chlorophyll-a und Biovolumen

Bei Vergleich der Situation vor und nach den Baumaßnahmen konnten hinsichtlich der Absolutwerte keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden, was sich auf die Überlagerung saisonbedingter Schwankungen zurückführen ließ. Die jahreszeitlichen Maxima und Minima der Algenmengen führten zu hohen Streuungen, die die Mittelwertvergleiche verschleierte (Abb. 3).

Um die Schwankungen in der Saisonalität zu korrigieren, wurde die „Donauähnlichkeit“ der Standorte als Differenzbetrag zwischen Donaustrom als Referenzpunkt (P1) und jeweiliger Au-Messstelle errechnet. Im Resultat zeigte sich lediglich bei P4 (Regelsbrunner Traverse) eine signifikante Änderung (Abb. 4).

Aus den Boxplots in Abb. 4 geht jedoch deutlichst hervor, dass besonders die Standorte P3 bis P5 nach den Baumaßnahmen geringere Streuungen, aber auch geringe Differenzen zum Donaustrom aufweisen. Die Erhöhung der Durchlässigkeit im Ausystem führte zu einer Angleichung an die Verhältnisse in der Donau. Um etwaige Beeinflussungen der Baumaßnahmen auf die unterschiedlichen Pegelgruppen herauszuarbeiten, wurde exemplarisch der Hauptarmpunkt P4 herangezogen (Abb. 5 und 6). Während bei der Gruppe <MW keine signifikanten Änderungen zu verzeichnen waren, konnte im Bereich zwischen MW und MW+1,5 m eine starke Annäherung des Au-Standortes an den Donaustrom festgestellt werden (Abb. 6). Dies ist genau jener Pegelbereich, der von den Baumaßnahmen betroffen war.

Am Beispiel der Nachuntersuchungen konnte gezeigt werden, dass zwischen dem Verhältnis Chl-a zu Glühverlust und dem Pegel eine inverse Beziehung besteht. Höhere Durchflussraten bedingen einen geringeren Anteil des Chl-a an der organischen Substanz (Abb. 7), d. h. bei sehr hohen Wasserständen treten Algen gegenüber anderen organischen Partikeln in den Hintergrund. Bei längerdauernden NW-Perioden hingegen erhöhen sich die Algenmengen. Dies hat auch unmittelbare Auswirkungen auf die Konsumenten.

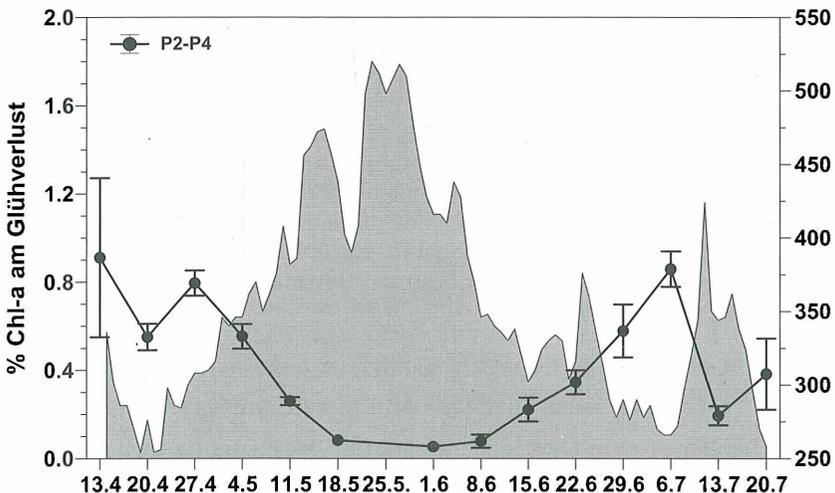


Abb. 7: Mittelwert (Standardabweichungen, Linie) des Chlorophyll-a-Gehaltes am Glühverlust in % sowie Pegelgang Höhe Orth (graue Fläche), Periode 1999. – Relative proportion of chl-a of ash-free dry weight (total organic suspended solids. line) and ater level in the Danube.

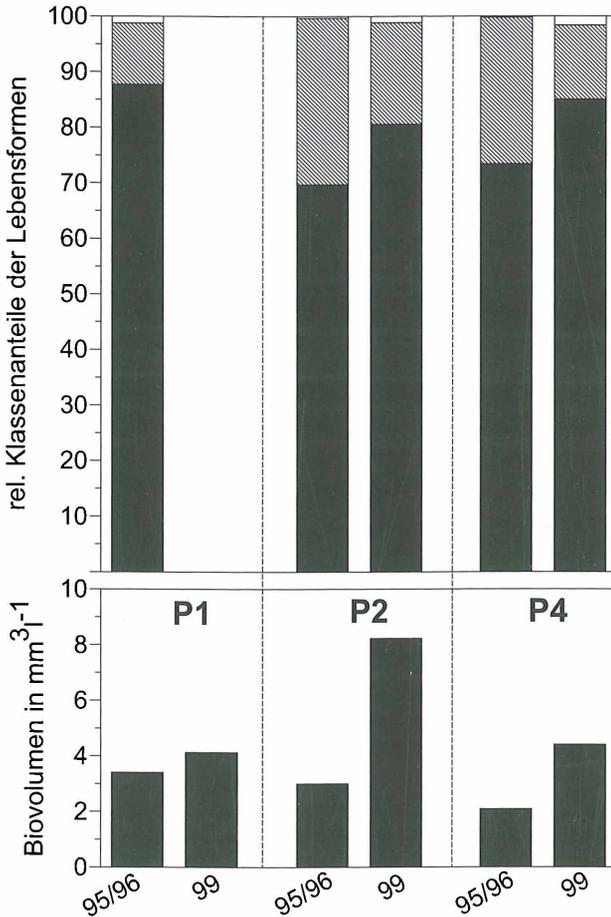


Abb. 8 oben: Lebensformen der Algen (schwarz kokkal, schraffiert monadal, weiß trichal). unten: Gesamtbiovolumen. Gegenübergestellt sind die Mittelwerte der Vor- und Nachuntersuchung. – Composition of algae: upper graph: coccal, monadal and trichal algae; lower graph: total volume of algae.

Da die Biovolumbestimmung in 14-tägigen Intervallen durchgeführt wurde, lassen sich quantitative Aussagen nur bedingt ableiten. Minimale Biovolumina mit Werten deutlich unter $< 0,5 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$ wurden unmittelbar nach Hochwasserperioden verzeichnet, maximale Mengen mit rund $17 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$ im Frühsommer bei P4 festgestellt. Generell konnten hohe Algenmengen bei Mittelwassersituationen im Spätfrühling bis Sommer beobachtet werden. Die Biovolumswerte der Nachuntersuchung lassen vermuten, dass die Dotation zu einer Erhöhung der Algenmengen im Regelsbrunner System führte (Abb. 8). Diese Aussage wird mit der wesentlich besseren Datenlage der Chlorophyllmessungen teilweise bestätigt.

Zusammensetzung der Algengemeinschaft

Mikroskopische Analysen der Artenzusammensetzung

P1 Donau: Im Donaustrom wurden als wichtigste Gruppe die Kieselalgen festgestellt. Typische planktische Formen wie *Asterionella formosa*, *Stephanodiscus hantzschii* oder *Cyclotella meneghiniana* waren stets in großen Abundanzen anzutreffen. Bei höheren Wasserständen wurden auch kettenbildende Arten wie *Aulacoseira granulata*, *Aulacoseira islandica* und *Aulacoseira italica* häufig verzeichnet. Interessant scheint

das Auftreten von *Skeletonema potamos* nach einem fröhsummerlichen Hochwasser 1999. Diese Art ist sehr zart gebaut und sonst in eher strömungsberuhigten Bereichen anzutreffen. Grünalgen spielten sowohl im Frühling 1996 als auch 1999 eine quantitativ bedeutende Rolle, neben verschiedenen Vertretern kokkaler Grünalgen (*Actinastrium*, *Coelastrum*, *Dictyosphaerium*, *Pediastrum*, *Scenedesmus*) traten auch zart gebaute Flagellaten wie *Pandorina morum*, *Gonium spp.*, oder *Basychlamys sacculifera* auf. Vereinzelt wurden auch der Goldalgenflagellaten (*Synura petersenii* und *Dinobryon spp.*) beobachtet. Mit ansteigendem Pegel wurde generell eine Verminderung der Algenmengen verzeichnet (Ausdünnungseffekt). Der Donaustrom ist im wesentlichen von kokkalen Algen dominiert, Flagellaten sowie fädige Formen treten in den Hintergrund (Abb. 8).

P2 Haslau: Neben den donautypischen Vertretern der Kieselalgen traten an diesem Standort verstärkt koloniebildende Arten wie *Asterionella formosa*, *Diatoma tenuis* oder *Tabellaria flocculosa* auf. Goldalgen erreichten an keinem anderen Probenpunkt so hohe Abundanzen (*Dinobryon spp.*, *Mallomonas sp.* und *Synura petersenii*). Während der Fröhsummerperiode kam es sowohl bei den Goldalgen als auch bei den koloniebildenden Grünalgen (*Pandorina morum* und *Eudorina elegans*) zu Blütenbildungen. Zusätzlich ergänzten Gattungen der kokkalen Chlorophyceae (*Actinastrum*, *Pediastrum* und *Scenedesmus*) das mikroskopische Bild. Bei der Nachuntersuchung konnte innerhalb der Kieselalgen eine wechselnde Abfolge dominanter Arten beobachtet werden. Unmittelbar nach Abklingen des Hochwassers wurden *Skeletonema potamos* und *Stephanodiscus hantzschii* häufiger, eine Woche später dominierten *Nitzschia acicularis* und *N. fruticosa*, während bereits kurze Zeit später wiederum *Asterionella formosa* und *Stephanodiscus hantzschii* stärker auftraten. Die Artenzusammensetzung weist diesen Standort als strömungsberuhigt aus. Die Baumaßnahmen bewirkten in diesem Bereich eine deutliche Steigerung der Algenmengen (Abb. 8). Während bei der Voruntersuchung an diesem Standort gegenüber der Donau signifikant höhere Flagellatendichten verzeichnet wurden, bewirkten die baulichen Änderungen eine Angleichung in den Lebensformen (Abb. 8).

P4 Regelsbrunn: Der Standort liegt im flussab gelegenen Teil des Hauptarmes und wird bei höheren Wasserständen vom rückstauenden Donaustrom beeinflusst. Obwohl sich das Wasseralter durch die getroffenen Maßnahmen deutlich verringerte (siehe RECKENDORFER et al., HEIN et al., dieser Bericht), konnten sich Dinoflagellaten als eher langsamwüchsige K-Strategen in großen Abundanzen etablieren (*Peridinium penardii*). Gegenüber P2 traten unter den Flagellaten Synurophyceae in geringen Mengen auf, vor den Baumaßnahmen wurden an diesem Punkt hingegen äußerst hohe Goldalgendichten, insbesondere der Art *Synura petersenii*, verzeichnet.

Die Kieselalgen zeigten einen ähnlichen Verlauf der Artenzusammensetzung wie am Punkt P2, nur traten die Dominanzen einzelner Arten z. T. zeitlich etwas verschoben auf. Gegenüber 1995/96 wurde eine deutliche Reduktion der Flagellaten zugunsten der kokkalen Lebensform beobachtet, das Verteilungsmuster ähnelt nunmehr sehr jenem des Donaustromes (Abb. 8).

P5 Schwarzes Loch: Dieser Probenpunkt stellte vor den Baumaßnahmen einen typischen grundwasserbeeinflussten Kolk dar, durch die baulichen Maßnahmen wurde dieser ehemalige Altarm stark „dynamisiert“. Der typische Charakter ging verloren, nunmehr gleicht der Standort dem Hauptarm.

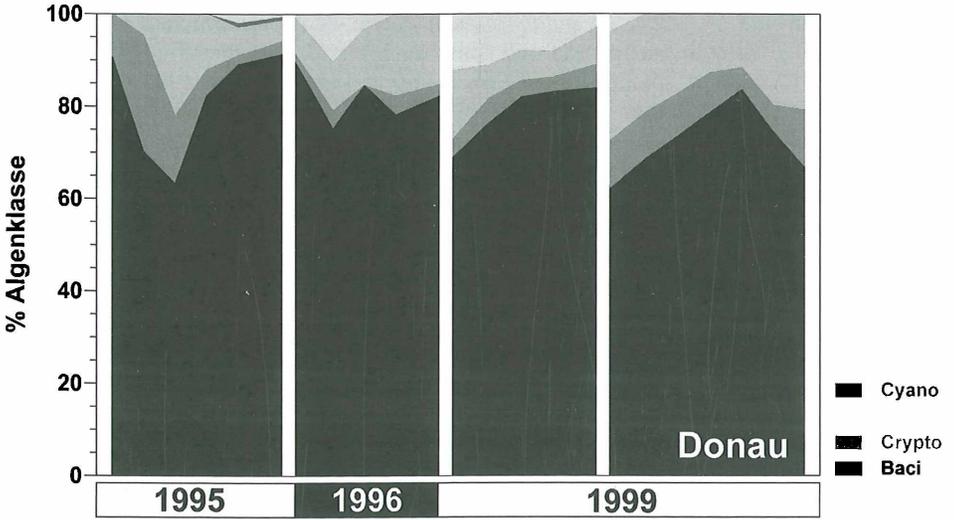


Abb. 9: Algenklassen in %, Probenpunkt P1 – Relative proportion of different algae taxa at site P1 (Danube).

Algenklassenverteilung aus Pigmentdaten

Die Analyse der HPLC-Ergebnisse zeigt, dass sich gegenüber der Voruntersuchung die Klassenzusammensetzung des Phytoplanktons vereinheitlicht hat. Als Beispiel sind die Standorte Donaustrom und Regelsbrunner Traverse angeführt (Abb. 9 und 10). Der Anteil an Kieselalgen nahm im Hauptarm zu, generell weist nun der Hauptarm bei P3 und P4 ein ähnliches Klassenmuster wie der Donaustrom auf.

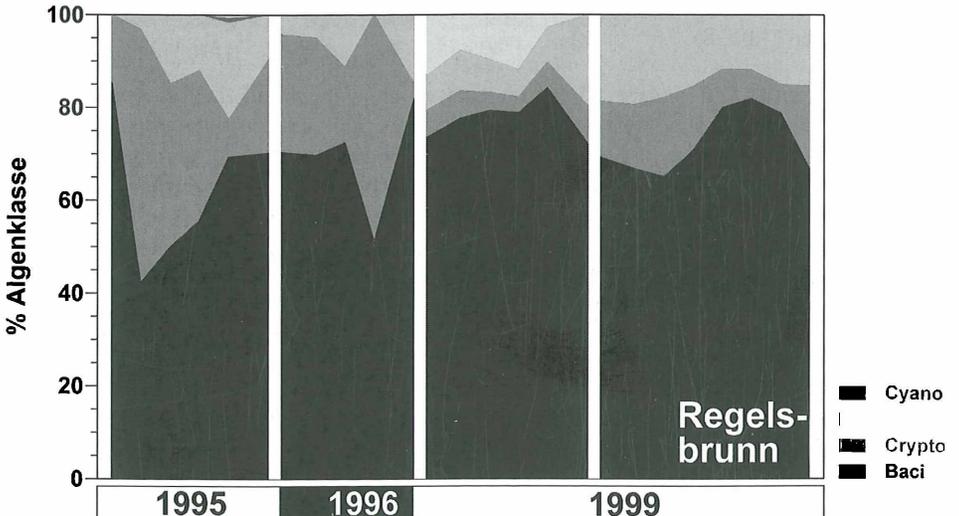


Abb. 10: Algenklassen in %, Probenpunkt P4, die Öffnungsmaßnahmen führten zu einer Angleichung der Klassenverteilung zwischen Donau und Hauptarm. – Relative proportion of different algae taxa at site P4, the restoration measures led to increased similarity between Danube and side arm.

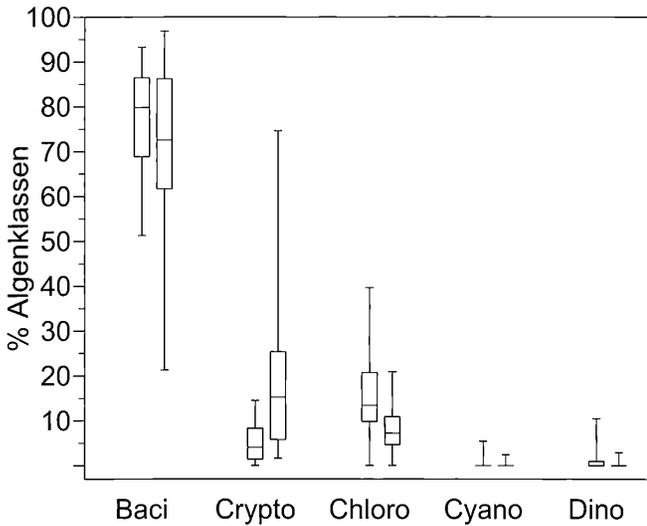


Abb. 11: Algenklassen in % vor Dotationsmaßnahmen – Gruppe <MW, höchst signifikante Unterschiede bei Cryptophyceae und Chlorophyta (Boxplot: Median, Interquartilbereich 50% und berechnete Extreme). Linker Boxplot P1, rechter Boxplot P4. – Relative proportion of different algae taxa at site 1 (Danube, left) and site 4 (right) before restoration.

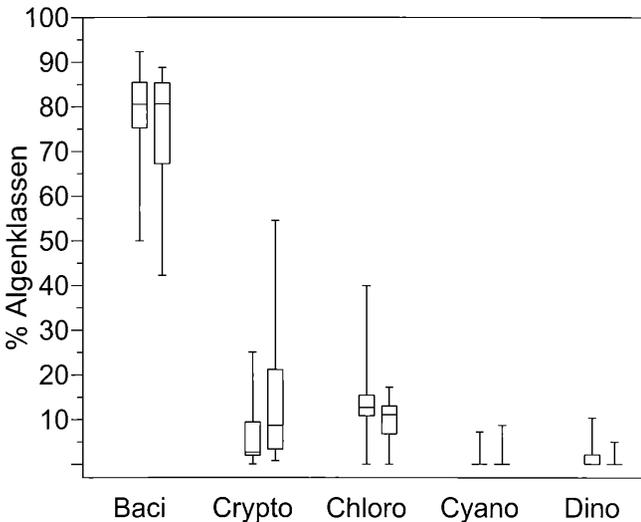


Abb. 12: Algenklassen in % vor Dotationsmaßnahmen – Gruppe MW bis MW+1,5 m, signifikante Unterschiede bei Chlorophyta (Boxplot: Median, Interquartilbereich 50% und berechnete Extreme). Linker Boxplot P1, rechter Boxplot P4. – Relative proportion of different algae taxa at site 1 (Danube, left) and site 4 (right) before restoration.

Bei der statistischen Bearbeitung wurde der Donaustrom als Referenzstelle mit P4 (Hauptarm Höhe Regelsbrunner Traverse) verglichen, wobei die Datenmatrix nach zu erwartenden Änderungen in zwei Pegelgruppen unterteilt wurde (Abb. 11 bis 14). Die Ergebnisse belegen, dass im Auftreten der Algenklassen eine Annäherung der beiden Standorte erfolgte. Während vor den Baumaßnahmen in der Gruppe <MW höchst signifikante Unterschiede in der Abundanz der Cryptoflagellaten und Grünalgen auftraten (Abb. 11), konnten bei der Nachuntersuchung keine signifikanten Differenzen mehr festgestellt werden (Abb. 13). Auch in der Gruppe MW bis MW+1,5 m wurden vor den Baumaßnahmen Unterschiede im Auftreten der Chlorophyta berechnet (Abb. 12), während nachher ein einheitliches Muster verzeichnet wurde (Abb. 14).

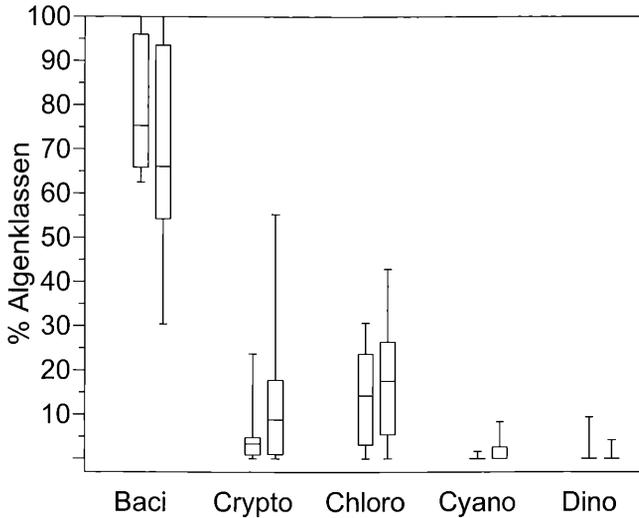


Abb. 13: Algenklassen in % nach Dotationsmaßnahmen – Gruppe <MW, keine signifikanten Unterschiede zwischen den Standorten (Boxplot: Median, Interquartilbereich 50% und berechnete Extreme). Linker Boxplot P1, rechter Boxplot P4. – Relative proportion of different algae taxa at site 1 (Danube, left) and site 4 (right) after restoration.

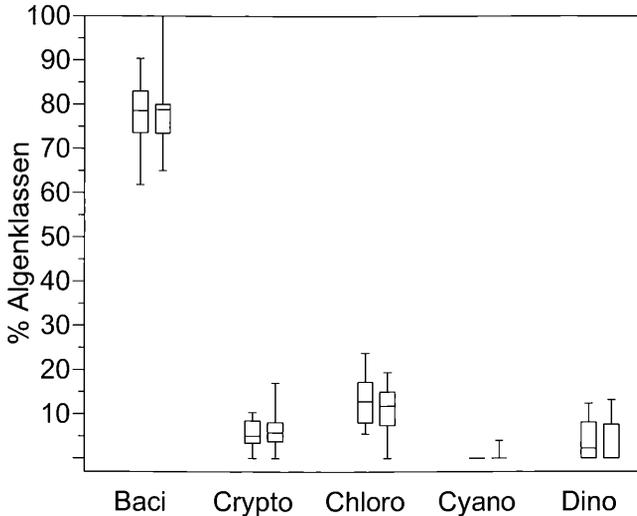


Abb. 14: Algenklassen in % nach Dotationsmaßnahmen – Gruppe MW bis MW+1,5 m, keine signifikanten Unterschiede zwischen den Standorten (Boxplot: Median, Interquartilbereich 50% und berechnete Extreme). Linker Boxplot P1, rechter Boxplot P4. – Relative proportion of different algae taxa at site 1 (Danube, left) and site 4 (right) after restoration.

Welche Faktoren beeinflussen die Algenentwicklung?

HEIN et al. (dieser Bericht) zeigten, dass die Öffnungsmaßnahmen zu einer signifikanten Verringerung des Wasseralters führten. Nährstoffe wie Nitrat oder Phosphor reduzierten sich bei zunehmendem Wasseralter, teilweise kann dies auf die Aufnahme durch Primärproduzenten zurückgeführt werden. HEIN et al. (dieser Bericht) stellten auch einen nichtlinearen Zusammenhang zwischen den Chlorophyll-a-Konzentrationen und dem Wasseralter fest. Kurze und sehr lange Perioden führen zu geringeren Algenmengen, ein mittleres Wasseralter um 10 Tage begünstigte das Algenwachstum. Bei kleinem Wasseralter (= hoher Pegel) verbringen Algen eine zu geringe Zeitspanne im System, um sich zu vermehren, bei hohem Wasseralter (= Niedrigwasserperioden) gewinnen biotische Interaktionen an Bedeutung, was ebenfalls zu einer Reduktion der Algenmengen führt (Grazing, Konkurrenzphänomene). Da der Erklärungsgehalt ver-

hältnismäßig gering war ($r^2 = 0,12$), wurde versucht, weitere Variablen miteinzubeziehen, die für das Algenwachstum maßgeblich sind.

Vier Ausgangsvariablen, nämlich Temperatur, Globalstrahlung, anorganische Schwebstoffe und Nitrat wurden faktorenanalytisch erfasst; Ergebnis war ein 2-Faktorenmodell mit rund 77% erklärten Gesamtvarianz (Tab. 1).

Tab. 1: Faktorladungen der varimax-rotierten Komponentenmatrix. – Factor scores of PCA.

Variable	Faktor 1	Faktor 2
TEMP	0,94	-0,03
GLOBAL	0,92	0,08
Nitrat-N	-0,19	0,81
anorg. Schweb.	0,25	0,76

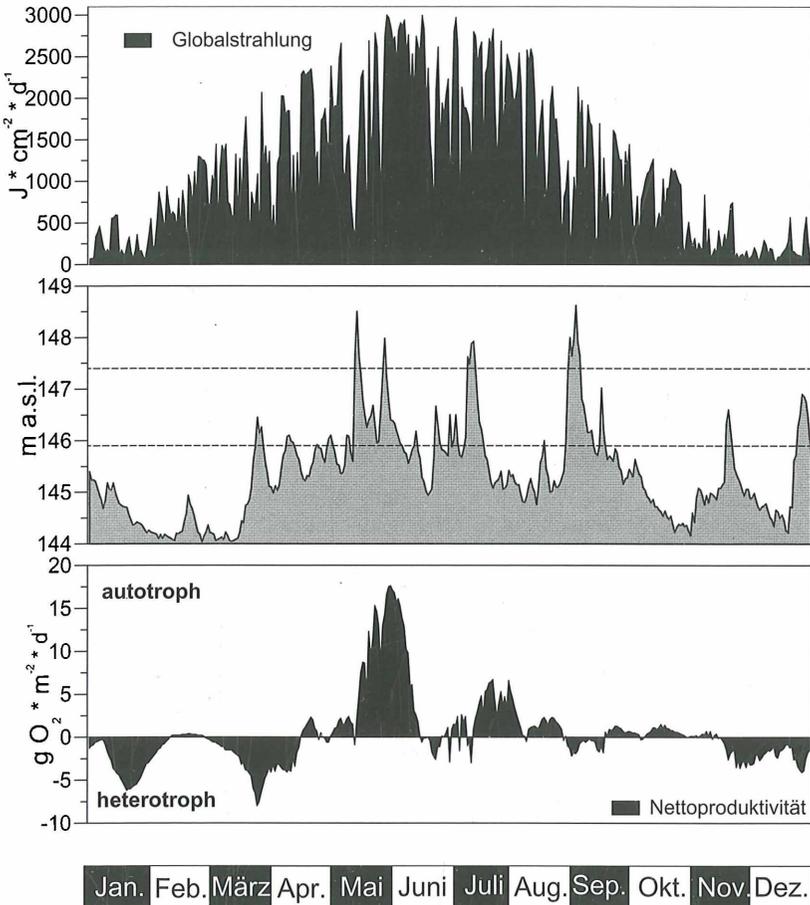


Abb. 15: Globalstrahlung (oben) Pegelgang (Mitte, eingetragen ist der Bereich zwischen MW und MW+1,5 m) und pelagische Nettoproduktivität (unten) in einem Modelljahr VOR den Maßnahmen bei Probenpunkt P4. – Global radiation (upper graph), water level (middle) and pelagic productivity (lower graph) before restoration at P4.

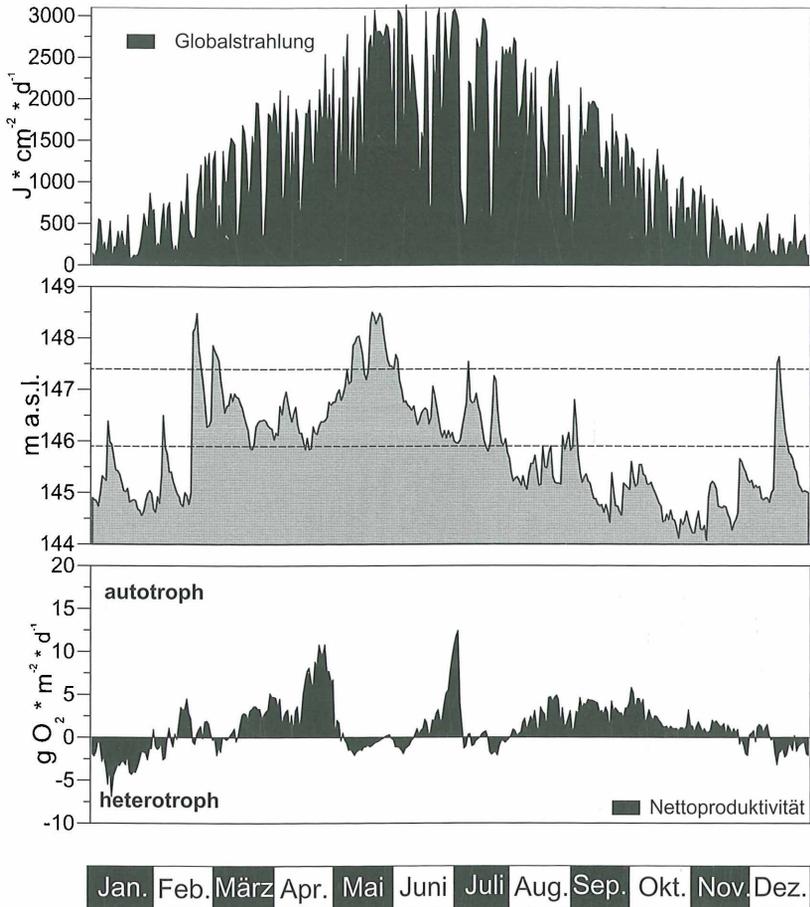


Abb. 16: Globalstrahlung (oben) Pegelgang (Mitte, eingetragen ist der Bereich zwischen MW und MW+1,5 m) und pelagische Nettoproduktivität (unten) in einem Modelljahr NACH den Maßnahmen bei Probenpunkt P4. – Global radiation (upper graph), water level (middle) and pelagic productivity (lower graph) after restoration at P4.

Die Faktorladungen können als „Saison“ (Faktor 1) mit sehr hoher positiver Ladung der Temperatur und der Globalstrahlung und „Durchfluss“ (Faktor 2) angesprochen werden (Tab. 1).

Um einen Einblick über den Einfluss dieser Faktoren auf die Algengemeinschaft zu gewinnen, wurden multiple lineare Regressionsmodelle gerechnet, d. h. es wurde versucht, die analysierten Chlorophyll-a-Werte mit Hilfe der Faktoren zu schätzen. Während der Erklärungsgehalt vor den Maßnahmen eher gering war ($\text{Chl-a} = 12,54 * \text{Saison} - 7,5 * \text{Durchfluss} + 13,47$; $r = 0,30$; $n = 30$), wurde nach den Baumaßnahmen ein höherer Zusammenhang berechnet ($\text{Chl-a} = 3,0 * \text{Saison} - 9,1 * \text{Durchfluss} + 21,01$; $r = 0,55$; $n = 32$). Aus der Formel lässt sich interpretieren, dass nach den Baumaßnahmen für die Algenentwicklung die hydrologische Situation an Bedeutung gewonnen hat, während die Saisonalität etwas zurücktritt.

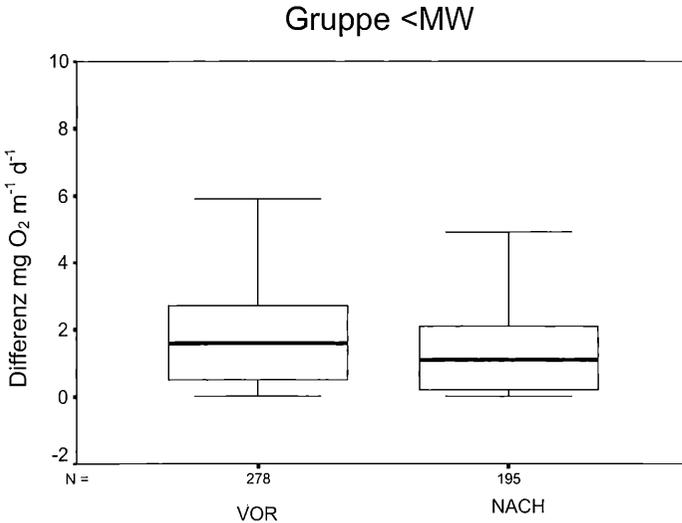


Abb. 17: Differenzen P1–P4 in der täglichen Bruttoproduktion, Berechnung bis in Pegeltiefe – Gruppe <MW; die Differenzen reduzierten sich als Folge der Baumaßnahmen höchst signifikant (Boxplot: Median, Interquartilbereich 50% und berechnete Extreme). – Differences in daily production between P1 and P4.

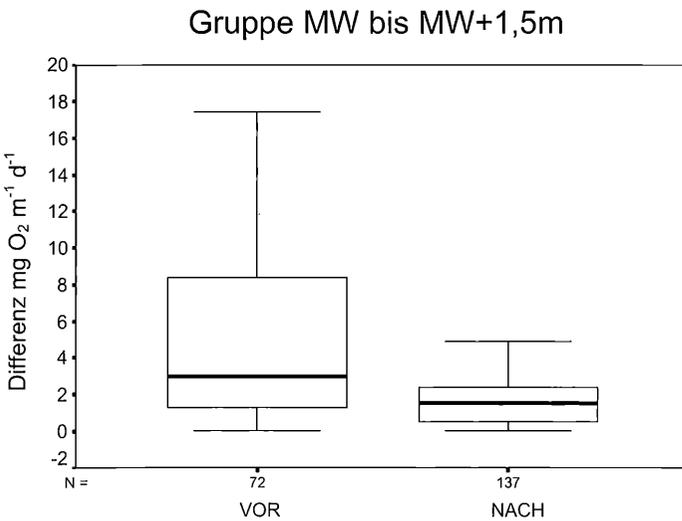


Abb. 18: Differenzen P1–P4 in der täglichen Bruttoproduktion, Berechnung bis in Pegeltiefe – Gruppe MW bis MW+1,5 m; die Differenzen reduzierten sich als Folge der Baumaßnahmen höchst signifikant (Boxplot: Median, Interquartilbereich 50% und berechnete Extreme). – Differences in production between P1 and P4.

Primärproduktion

Bei visuellem Vergleich der potentiellen Nettoproduktion (P4) zeigt sich, dass sich nun offenbar Extreme nicht mehr so deutlich ausbilden (Abb. 15, 16). Längerdauernde Niedrigwasserperioden, die zu einer Isolierung einzelner Bereiche im Hauptarm führen, treten infolge der höheren Durchlässigkeit nur noch selten auf, heterotrophe Zustände sind dadurch weit weniger ausgeprägt. Insgesamt erhöhte sich die Nettoproduktivität von 0,4 g Sauerstoff $m^{-2} d^{-1}$ (1995/96) auf nunmehr 1,2 g Sauerstoff $m^{-2} d^{-1}$ (1999). Neben saisonalen Aspekten zeichnen sich auch die Baumaßnahmen für die Produktivitätssteigerung mitverantwortlich. Um diese Aussage auch statistisch zu belegen, wurden Differenzen zum Donaustrom gebildet und Ergebnisse der Vor- und Nachuntersuchung verglichen.

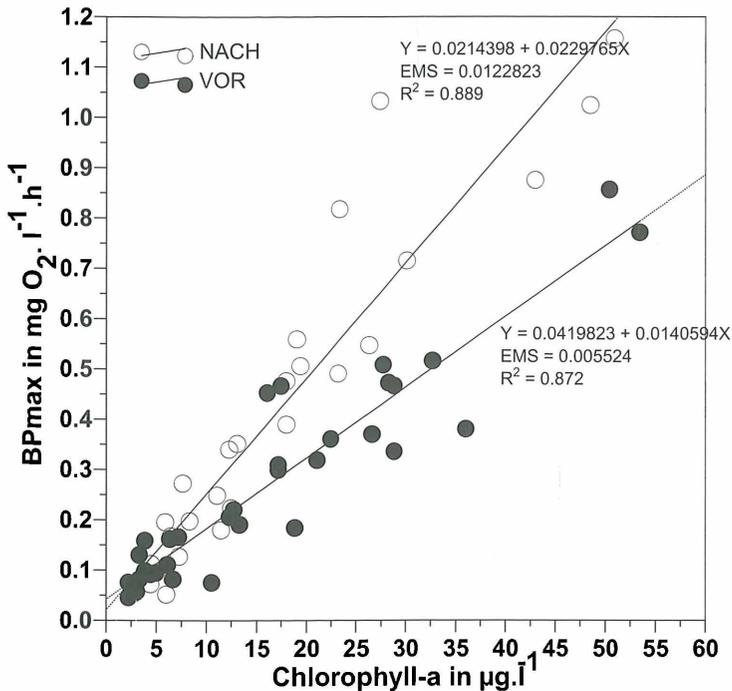


Abb. 19: Korrelation Chlorophyll-a gegen maximale Bruttophotosyntheserate VOR und NACH den Baumaßnahmen. – Correlation between Chl-a and photosynthetic rate before and after restoration.

Bei Vergleich der Bruttoproduktionsdifferenzen zeigten sich für alle Pegelklassen hochsignifikante Unterschiede. Sowohl in der Gruppe <MW, als auch in der Gruppe MW bis MW+1,5 m wurde eine Verringerung der Unterschiede festgestellt (Abb. 17 und 18). Daraus kann interpretiert werden, dass sich der Standort P4 jenem in der Donau ähnlich.

Bei Differenzbildung der Nettoproduktionen zeigte die Klasse <MW keine signifikanten Unterschiede, während die Gruppe MW bis MW+1,5 m höchst signifikante Differenzen aufwies. Gerade diese Pegelgruppe wurde durch die Öffnungsmaßnahmen stark beeinflusst.

Um etwaige Adaptationen des Photosyntheseapparates zu erkennen, die durch die geänderten hydrologischen Bedingungen hervorgerufen wurden, wurden die maximalen Bruttophotosyntheseraten miteinander verglichen (Abb. 19). Es zeigte sich, dass hierbei keine signifikanten Änderungen auftraten. Der steilere Anstieg nach den Bautätigkeiten weist jedoch auf eine höhere Lichtlimitation hin (pro Chl-a wurde nach den Baumaßnahmen mehr Sauerstoff freigesetzt). Wie bereits oben dargestellt ist die verschlechterte Lichtsituation im Gewässer auf die stärkere Anbindung des Donaustromes zurückzuführen. Um konkurrenzfähig zu bleiben, muss das Phytoplankton nun das vorhandene Licht effektiver nutzen, was sich in einem steileren, allerdings insignifikanten Anstieg ausdrückt. Parameter wie I_k (Übergangsbereich Lichtlimitation/Lichtsättigung) und die Anfangsanstiege der P/I-kurven α weisen das Phytoplankton generell als schwachlichtadaptiert aus.

Literatur

- BOURRELLY P., 1970: Les algues déau douce. Tome III: Les algues bleues et rouges, Les Eugléniens, Peridiniens et Cryptomonadines. Ed. Boubée, Paris, 512pp.
- BOURRELLY P., 1972: Les algues déau douce. Tome I: Les algues vertes. Ed. Boubée, Paris, 572pp.
- DESCY J. P., 1987: Phytoplankton composition and dynamics in the river Meuse (Belgium). *Archiv für Hydrobiologie Suppl.* 78, 225–245.
- DESCY J. P., 1993: Ecology of the phytoplankton of the River Moselle: effects of disturbances on community structure and diversity. *Hydrobiologia* 249, 111–116.
- GARCIA DE EMILIANI M. O., 1993: Seasonal succession of phytoplankton in a lake of the Paraná River floodplain, Argentina. *Hydrobiologia* 264, 101–114.
- GEITLER L., PASCHER A., 1925: Cyanophyceae. In: A. PASCHER (Ed.): Die Süßwasserflora Deutschlands, Österreichs und der Schweiz, Heft 12. G. Fischer Verlag, Jena, 481pp.
- HEERING W., 1914: Chlorophyceae III. In: A. PASCHER (Ed.): Die Süßwasserflora Deutschlands, Österreichs und der Schweiz, Heft 6. G. Fischer Verlag, Jena, 250pp.
- HOLAREK C., RAUSCH C., HEIN T. & GÄTZ N., 1996: Qualitative und quantitative Veränderungen des Phyto- und Zooplanktons in der Donau und einem Altarm bei unterschiedlichen hydrologischen Bedingungen. *Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft* 133, 187–202.
- JASSBY A. D. & PLATT T., 1976: Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton. *Limnology and Oceanography* 21, 540–547.
- JEFFREY S. W. & HUMPHREY G. F., 1975: New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochemie und Physiologie der Pflanzen* 167, 191–194.
- JEFFREY S. W., MANTOURA R. F. C. & WRIGHT S.W., 1997: Phytoplankton pigments in oceanography. *Unesco Publishing, France*: 661 pp.
- KISS K. & NAUSCH M., 1987: Phytoplanktonuntersuchungen an ausgewählten Querprofilen der Donau bei Klosterneuburg und Göd. Intern. Arge Donauforschung. 26. Arbeitstagung, Wissenschaftliche Kurzreferate, 379–389.
- KOHL J.-G. & NICKLISCH A., 1988: Ökophysiologie der Algen. Wachstum und Ressourcennutzung. – Akademie Verlag, Berlin, 253pp.
- KÖHLER J., 1993: Growth, production and losses of phytoplankton in the lowland River Spree. I. Population dynamics. *Journal of Plankton Research* 15/3, 335–349.
- KÖHLER J., 1994: Origin and succession of phytoplankton in a river-lake system (Spree, Germany). *Hydrobiologia* 289, 73–83.
- KOMAREK J. & FOTT B., 1983: Chlorophyceae (Grünalgen); Ordnung: Chlorococcales. In: G. HUBER-PESTALOZZI (Ed.): Das Phytoplankton des Süßwassers, Heft 7/1. Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 1044pp.
- KRAMMER K. & LANGE-BERTALOT H., 1986: Bacillariophyceae, Teil 1: Naviculaceae. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhauer (Eds.): Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/1. G. Fischer Verlag, Stuttgart – New York, 876pp.
- KRAMMER K. & LANGE-BERTALOT H., 1988: Bacillariophyceae, Teil 2: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhauer (Eds.): Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/2. G. Fischer Verlag, Stuttgart – New York, 596pp.
- KRAMMER K. & LANGE-BERTALOT H., 1991a: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae, Teil 3: Naviculaceae. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhauer (Eds.): Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/3. G. Fischer Verlag, Stuttgart – New York, 576pp.
- KRAMMER K. & LANGE-BERTALOT H., 1991b: Bacillariophyceae, Teil 4: Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig,

- D. MOLLENHAUER (Eds.): Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/4. G. Fischer Verlag, Stuttgart – New York, 437pp.
- LORENZEN C. J., 1968: Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrometric equations. *Limnology and Oceanography* 12, 343–346.
- MOSS B. & BALLS H., 1989: Phytoplankton distribution in a floodplain lake and river system. II. Seasonal changes in the phytoplankton communities and their control by hydrology and nutrient availability. *Journal of Plankton Research* 11/4, 839–867.
- REYNOLDS C. S., 1994: The long, the short and the stalled: on the attributes of phytoplankton selected by physical mixing in lakes and rivers. *Hydrobiologia* 289, 9–21.
- RIEDLER P., 1997: Vergleichende Untersuchung der Donau bei Haslau und des Regelsbrunner Altarmes hinsichtlich Phytoplankton Sukzession und Primärproduktion. Diplomarbeit Univ. Wien, 144pp.
- RIEDLER P. & SCHAGERL M., 1998: Pelagic primary production and related parameters in the river Danube near Vienna (Austria). *Archiv für Hydrobiologie Suppl.* 115/2, *Large Rivers* 11, 139–151.
- SCHAGERL M., 1993: Ausgewählte Untersuchungen an Algen aus den Gebieten der Systematik, Physiologie und Ökologie. – Dissertation Universität Wien, 336pp.
- SCHAGERL M. & DONABAUM K., 1998: Epilithic algal communities upon natural and artificial substrata in River Danube near Vienna (Austria). *Archiv für Hydrobiologie Suppl.* 115/2, *Large Rivers* 11, 153–165.
- SCHAGERL M. & RIEDLER P., 1997: Phytoplankton. In: BAUMGARTNER C., TOCKNER C. & SCHIEMER F. (Eds.): Gewässervernetzung Regelsbrunn – Limnologische Status-Quo Erhebung – Untersuchungsjahre 1995–1996, 69–138.
- SCHAGERL M. & RIEDLER P., 2000: Phytoplanktonzusammensetzung in der Regelsbrunner Au. *Verhandlungen der Zoolisch-Botanischen Gesellschaft in Österreich*, 43–62.
- SCHIEMER F., TOCKNER K. & BAUMGARTNER C., 2000: Das Donau-Restaurierungsprojekt: Rahmenbedingungen und Untersuchungskonzept – The Danube-Restoration-Program: Conceptual framework and monitoring concept. *Abhandlungen der Zoolisch-Botanischen Gesellschaft in Österreich*, 31, 1–25.
- SCHMIDT A., 1994: Main characteristics of the phytoplankton of the Southern Hungarian section of the River Danube. *Hydrobiologia* 289, 97–108.
- SCHWOERBEL J., 1994: Methoden der Hydrobiologie/Süßwasserbiologie. 4. Auflage. G. Fischer, 368pp.
- TOCKNER C. & SCHIEMER F., 1997: Ecological aspects of the restoration strategy for a river-floodplain system on the Danube River in Austria. *Global Ecological and Biogeographical Letters* 6, 321–329.
- UTERMÖHL H., 1958: Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Internat. Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie. Mitteilungen* 9. Stuttgart: Schweizerbart, 38pp.
- VANNOTE R. L., MINSHALL G. W., CUMMINS K. W., SEDELL J. R., CUSHING C. E., 1980: The river continuum concept. – *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 37, 130–137.
- WAWRIK F., 1962: Zur Frage: Führt der Donaustrom autochthones Plankton? *Archiv für Hydrobiologie Suppl.* 27, 28–35.
- WETZEL R. G. & LIKENS G. E., 1991: *Limnological analyses*. 2. Auflage. – Springer Verlag, 391pp.
- WITTMANN A., 2001: Primärproduktion und Algengemeinschaften im Regelsbrunner Altarm und im Donaustrom – Untersuchungen nach der Altarmöffnung. Diplomarbeit Univ. Wien, 91pp.
- WRIGHT S. W., JEFFREY S. W., MANTOURA R. F. C., LLEWELLYN C. A., BJORNLAND T., REPETA D., WELSCHMEYER N. A., 1991: Improved HPLC method for the analysis of chlorophylls and carotenoids from marine phytoplankton. *Marine Ecology Progress Series* 771, 183–196.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Abhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Österreich](#)

Jahr/Year: 2004

Band/Volume: [34](#)

Autor(en)/Author(s): Schagerl Michael, Riedler Patricia, Wittmann Astrid

Artikel/Article: [Der Einfluss der Öffnungsmaßnahmen auf die Phytoplanktongemeinschaft im Regelsbrunner Altarmsystem. 47-66](#)