

Einfluss von Öffnungsmaßnahmen auf die hydrochemische Situation und die planktischen Prozesse in einem dynamischen Ausystem

Thomas HEIN, Christian BARANYI & Walter RECKENDORFER

Die unmittelbare Auswirkung der Öffnungsmaßnahmen ist die Änderung der hydrologischen Bedingungen im Regelsbrunner Altarmsystem. Um diese unmittelbaren Veränderungen zu dokumentieren, wurden daher funktionelle limnologische Parameter untersucht. Die Hydrologie wird hier durch den integrativen Parameter Wasseralter ausgedrückt, der detailliert bei RECKENDORFER et al. (2003) beschrieben wird. Das Wasseralter hat an allen untersuchten Standorten abgenommen.

Für die, im Rahmen des Monitoringprogramms, erhobenen hydrochemischen Parameter bedeutet die Verringerung des Wasseralters generell eine Annäherung an die donautypischen Werte. Die Auswirkungen der Maßnahmen sind vor allem bei partikulären Parametern von Bedeutung. Im gesamten Altarmsystem wurden tendenziell gestiegene Schwebstoffkonzentrationen nachgewiesen, während der Anteil des organischen Materials signifikant abnahm. In flussabwärts gelegenen Bereichen des Altarmsystems (unterhalb der Haslauer Traverse, P3–P5) waren auch bei gelösten Nährstoffen Veränderungen in Richtung donauähnlicherer Konzentrationen feststellbar. Der erhöhte Nährstoffeintrag führte jedoch nicht zu einer Erhöhung der planktischen Primärproduktion.

Diese Veränderungen können durch die linearen Zusammenhänge zwischen dem Wasseralter und den untersuchten hydrochemischen Parametern veranschaulicht werden. Abnehmendes Wasseralter und somit donauähnlichere hydrologische Bedingungen führen zu höheren Schwebstoff- und Nährstoffkonzentrationen und abnehmendem relativen Anteil organischer Schwebstoffe. Die Orthophosphatkonzentrationen sind durch einen zwar signifikanten jedoch weniger engen Zusammenhang mit dem Wasseralter geprägt.

Für die planktische Primärproduktion bedeutet die Reduzierung des Wasseralters das Zusammentreffen von stimulierenden (Nährstoffeintrag) und hemmenden (Schwebstoffeintrag, höhere Strömungen) Effekten. In weiterer Konsequenz kann daher die Gefahr der Eutrophierung auch bei erhöhtem Eintrag von limitierenden Nährstoffen nur in Altarmbereichen mit ausreichender Durchströmung vermieden werden.

HEIN T., BARANYI C. & RECKENDORFER W. 2004: The impact of restoration measures on the hydrochemical situation and pelagic processes in a dynamic floodplain segment

The immediate effect of the restoration measures was the considerable change of the hydrological conditions in the floodplain Regelsbrunn. To evaluate these changes, functional aspects were investigated. The hydrological conditions within the floodplain were expressed by the integrative variable water age, which is described in detail by RECKENDORFER (this volume). The average water age decreased at all sampling stations.

The reduction of water age caused a change in the investigated hydrochemical parameters. In general, more river-like concentrations were observed at all stations. The concentrations of suspended solids increased while the percentage of particulate organic matter decreased in all floodplain pools. Higher dissolved nutrient concentrations were observed only in the floodplain pools downstream the Haslauer Traverse (after the main inflow area). This increase of nutrient input was not followed by an increased phytoplankton biomass.

The observed changes are explained by linear relationships between water age and the investigated hydrochemical parameters. Decreasing water age led to higher concentrations of suspended solids and nutrients whereas the percentage of particulate organic matter decreased. The relationship between orthophosphate and water age was weak but still significant.

The reduced water age stimulated the phytoplankton development by increased nutrient concentrations and limited it by higher current velocities and increased turbidity due to the input of suspended solids. Thus, an increased tendency of eutrophication for floodplain pools can not be expected if the restoration measures lead to mean water ages lower than 6 days.

Keywords: hydrological conditions, restoration, water age, suspended solids, POM.

Einleitung

Für Fließgewässer stellen Auen bedeutende Areale nicht nur für die biologische Vielfalt dar, sondern sind auch von immanenter Bedeutung für die Stoffkreisläufe und den Materialfluss (SCHIEMER et al. 2000). In Flussabschnitten mit aktiven Auegebieten ist eine gesteigerte Intensität und Diversität von Prozessen festzustellen und ergibt damit auch eine gesteigerte ökologische Stabilität (FISHER et al. 1998). Daher finden sie auch in wesentlichen ökologischen Konzepten für Fließgewässer Beachtung (JUNK et al. 1989, SEDELL et al. 1989). Besonders Rand-, Uferzonen und mit dem Fluss aktiv in Verbindung stehende Augewässer erhöhen die Produktivität eines Fließgewässers und dienen den Lebensgemeinschaften im Fluss als Nahrungsbasis (AMOROS & ROUX 1988, THORP & DELONG 1994).

Wasserwirtschaftliche Eingriffe haben in den meisten Flusslandschaften neben anderen Veränderungen auch zu einer Entkoppelung der ökologischen Einheit Fluss Aue geführt (CALS et al. 1998). Durchflossene Altarme verschwanden und angebundene aber nicht mehr durchströmte Altarme dominierten nach flussbaulichen Eingriffen (SCHIEMER et al. 1999). Als Folge kam es zu Defiziten in der ökologischen Funktionsfähigkeit von Fließgewässern, die auf wissenschaftlicher Basis Untersuchungen und Projekte zur Folge hatten um diese Lebensräume zu restaurieren und langfristig in ihrer ökologischen Funktion zu erhalten (MEYER 1997).

Hochwasserereignisse und aktive Verbindung mit dem Fluss strukturieren nicht nur die Flusslandschaften sondern sind auch die Basis der hohen Produktivität von Flussauen. Die Donau, wie auch andere große Flüsse, trägt bei Hochwasser bedeutende Nährstoff- und Schwebstoffmengen in ihre Auen ein (VAN DEN BRINK et al. 1993, HEILER et al. 1995, HEIN et al. 1996). Mit sinkendem Wasserstand, oberflächiger Isolierung (Abkoppelung) von der Donau und abnehmender Fließgeschwindigkeit kommt es zur Sedimentation der Schwebstoffe und zur Intensivierung der Phytoplanktonproduktion. Diese internen Prozesse führen zu einem raschen Einbau der anorganischen Nährstoffe in Biomasse (HEILER et al. 1995). Ein entscheidendes Kriterium ist es daher wie rasch und in welcher Weise der Wechsel zwischen durchströmten und isolierten Situationen die funktionellen Zusammenhänge im Altarmsystem beeinflusst (SCHIEMER, et al. 1999).

Das vorliegende Untersuchungsprogramm hatte zum Ziel Auswirkungen der Gewässervernetzung auf die Prozesse im Wasserkörper der Augewässer anhand charakteristischer hydrochemischer und planktischer Parameter zu evaluieren. Die Gewässervernetzung wird die lotischen Phasen in der Regelsbrunner Aue verlängern und in Folge die mittlere Aufenthaltsdauer des Wassers verkürzen. Diese hydrologische Veränderungen kontrollieren die Nährstoff- und Schwebstoffdynamik der Aue. Die Phytoplanktonbiomasse wird durch die Nährstoffeinträge gesteigert, aber durch die verkürzte Aufenthaltszeit und eine abnehmende Lichtmenge limitiert. Daher ist nicht mit deutlich höheren Biomassen planktischer Algen zu rechnen. Die funktionellen Aspekte des begleitenden Monitoringprogramms für das Pilotprojekt der Gewässervernetzung in der

Regelsbrunner Au ist im Vergleich zu den Voruntersuchungen (HEIN et al. 2000) in dieser Arbeit dargestellt.

Material und Methoden

Untersuchungsgebiet und Vernetzungsprojekt

Die Donau östlich von Wien konnte trotz der tiefgreifenden Änderungen der letzten 120 Jahre wesentliche Merkmale von großen Flussauen bewahren und dementsprechend ist diese Flusslandschaft von europäischer Bedeutung (DISTER 1994). Das Regelsbrunner Altarmsystem zeigt noch charakteristische Merkmale der ursprünglichen Vernetzung mit dem Strom und gilt im Nationalpark Donau-Auen als relativ dynamischer Aubeereich (TÖCKNER & SCHIEMER 1997). An der österreichischen Donau unterhalb Wiens wurde im Zuge der Neugestaltung dieses Abschnittes, die eine Vielzahl von Maßnahmen bedingte, auch eine Vernetzung ursprünglich angebundener Altarmsysteme durchgeführt (SCHIEMER et al. 1999).

Daher wurde in diesem Gebiet ein Pilotprojekt zur Revitalisierung abgedämmter Aubeerichte durchgeführt. Die Zielsetzungen für die Wiedervernetzung eines ursprünglichen Flussarmes bei Regelsbrunn waren:

1. Vernetzung mit der Donau ab MW₈₅ -0,5 m (Mittelwasser lt. WASSERSTRASSENDIREKTION 1986, (WSD 1986) durch tiefer liegende Einströmöffnungen
2. Erhöhung der Durchgängigkeit im Altarmsystem durch Abtragung von Querbauwerken bzw. durch den zusätzlichen Einbau von größeren und tiefer liegenden Durchlässen

Details zu den Baumaßnahmen sowie die räumlichen Gegebenheiten finden sich in SCHIEMER et al. 2000.

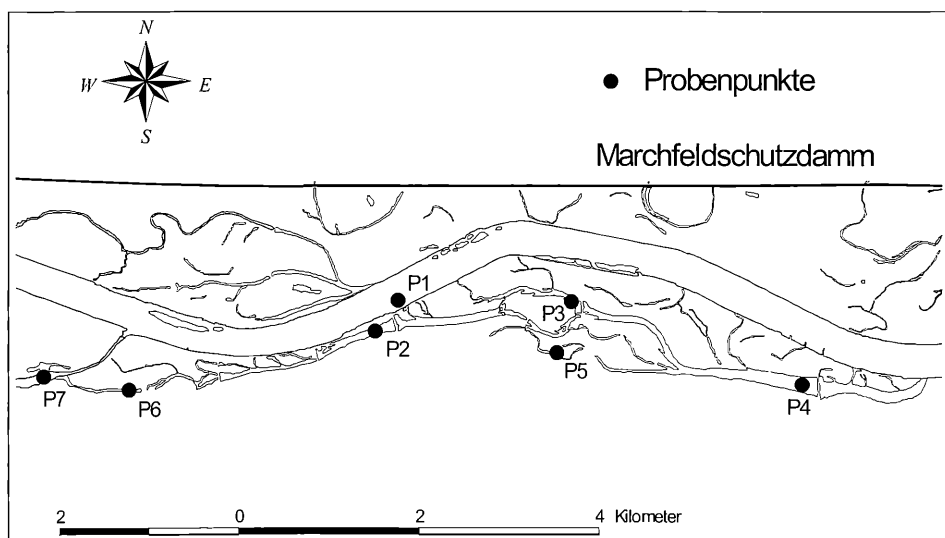


Abb. 1: Untersuchungsgebiet mit den Probestellen, Karte erstellt von W. Reckendorfer. – Study site and sampling locations.

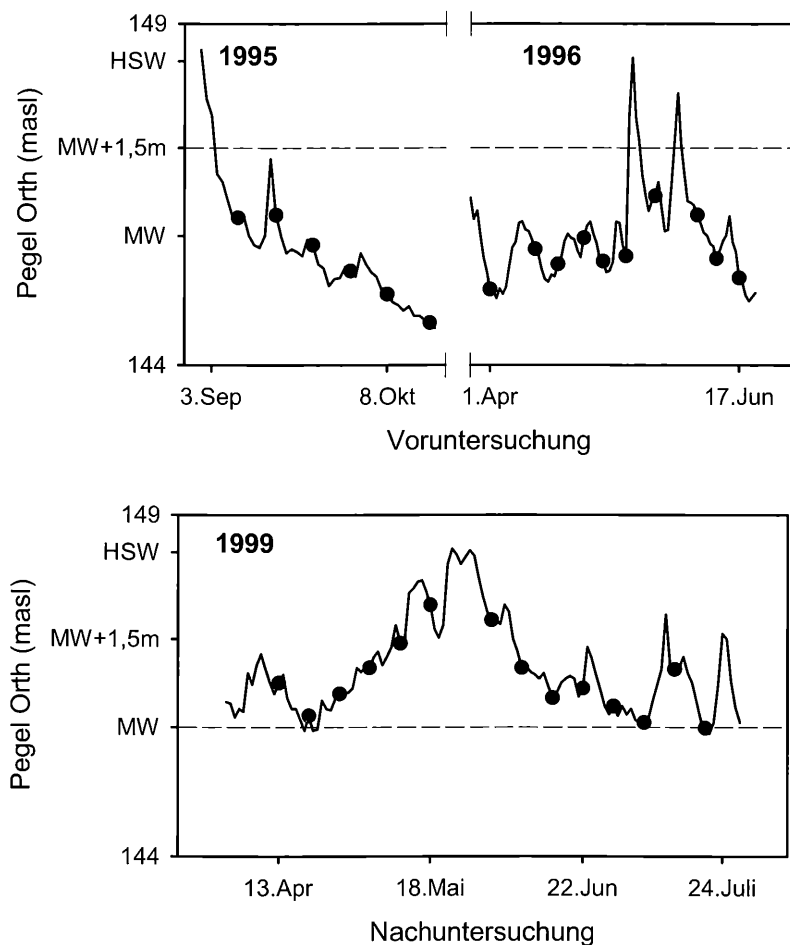


Abb. 2: Wasserstand der Donau und Probenahmen während der Voruntersuchung (oben) und der Nachuntersuchung (unten). Punkte indizieren Probenahmen. Strichlierte Linie deutet den Beginn der Durchströmung von der Donau her an. – Danube River water levels and sampling dates. Points indicate the sampling dates. The dashed line indicates the water level when the floodplain is connected with the Danube River via surface.

Probenahme

Die Erhebungen wurden an 7 Probestellen (P1–P7) entsprechend den Voruntersuchungen 1991 bis 1996 (HEIN et al. 1999b) im Jahre 1999 durchgeführt (Abb. 1). Die Standorte Donau (P1) bzw. Fische (P7) dienen als Kontrollstandorte.

Die Probenahme wurde vor den Maßnahmen in 2 Serien im Herbst 1995 und Frühjahr 1996 durchgeführt und nach den Maßnahmen von 13. April bis 20. Juli 1999, wobei die Zielsetzungen beider Untersuchungsphasen der Voruntersuchung in einer längeren Serie danach vereint wurden (Abb. 2). Weitere Daten anderer Untersuchungen vor den Maßnahmen wurden in die statistischen Auswertungen miteinbezogen (HEIN et al. 1999b). Insgesamt wurden jeweils 14 Termine zu entsprechenden hydrologischen Situationen in Abstimmung mit Untersuchungen zum Phytoplankton (SCHAGERL et al. dieser Band) organisiert.

Das Wasser wurde an den jeweiligen Standorten in 20 cm Tiefe in gereinigte (mit 10% HCl) und gespülte 5 bis 10 L PE-Kanister gefüllt. Vor Ort wurde Temperatur, Leitfähigkeit (LF), Sauerstoffgehalt (O_2 -Gehalt und $O_2\%$) und pH-Wert (pH) mittels WTW-Messgeräten Serie 330 bzw. einer YSI-Multisonde Serie 6250 ermittelt. Die Proben wurden dunkel aufbewahrt und innerhalb von drei Stunden ins Labor gebracht.

Laboranalysen

Im Labor wurden die Wasserproben am selben Tag für die chemischen Analysen filtriert. Vorbehandelte (4 h bei 450 °C erhitzt) Glasfaserfilter (APF/F) wurden für die Schwebstoffanalysen verwendet, das Filtrat wurde für die hydrochemischen Untersuchungen herangezogen. Für die Chl *a* Analyse wurden die Proben durch Glasfaserfilter (APF/C) filtriert und die Filter tiefgeköhlt bis zur Extraktion gelagert. Für die Bestimmung des organischen Materials wurden vorbehandelte (Säure gereinigt und 4 h bei 450 °C erhitzt) Glasfiltrationseinheiten und Glasfaserfilter (APF/F) benutzt.

Die chemischen Parameter wurden nach Standardmethoden analysiert (GOLTERMAN et al. 1978, PARSONS et al. 1984) (Tab. 1).

Tab. 1: Parameter und Grundlage der angewendeten Methoden. SS: suspended solids, POM: particulate organic matter. – Parameters and methodology.

Parameter	Methode	Einheit
Orthophosphat (PO_4 -P),	photometrisch ($\lambda = 885$ nm) als reduzierte alpha-Phosphormolybdänsäure, gelöster und Totalphosphor nach Schwefelsäure/Peroxid Aufschluss.	$\mu g\ l^{-1}$
Nitrat (NO_3 -N)	photometrisch ($\lambda = 420$ nm) als Nitrosalicylat.	$\mu g\ l^{-1}$
Schwebstoffgehalt (SS)	Vorbehandelte Filter (GF/F – 4 h bei 450 °C); nach Filtration über Nacht bei 95 °C trocknen; für Aschgewicht 4 h bei 450 °C	$mg\ l^{-1}$
organ. Anteil (POM)	Differenz Trockengewicht - Aschegewicht	$mg\ l^{-1}$
Chlorophyll a (Chl a)	photometrisch*)	$\mu g\ l^{-1}$

Nitrat wurde nach MÜLLER & WIEDEMANN (1955) bestimmt. Der Kohlenstoffgehalt der gelösten Fraktion (DOC) wurde mittels eines Shimadzu Modell „TOC-5000“ C-Analysers (Platinkatalysator auf Quarz) bestimmt (BENNER & STROM 1993).

Hydrologisches Modell

Als Maß für den hydrologischen Austausch zwischen Fluss und Au wurde für das untersuchte Altarmsystem ein Modell erstellt (BARANYI et al. 2002), welches das durchschnittliche Wasseralter im Bezug zum Pegel der Donau errechnet. Das Altarmsystem ist in 13 Abschnitte gegliedert. Als Basis zur Kalkulation der hydrologischen Bedingungen dient ein Geländemodell, das Wasservolumen in den einzelnen Becken sowie die Wasserstandsdaten der Donau und der Becken. Der Parameter Wasseralter gibt die mittlere Aufenthaltsdauer des Wasserkörpers im Altarmsystem an. Die tägliche Änderung des Wasservolumens in den einzelnen Becken ergibt sich aus den Einträgen aus den oberhalb liegenden Becken sowie der Donau und den Austrägen in das flussabwärts gelegene Becken. Einträge aus der Donau sind durch ein Alter von 0 Tagen definiert.

*) Die Methode zur Pigmentanalyse ist in einer weiteren Arbeit detailliert beschrieben (SCHAGERL et al. dieser Band).

Dieses Maß gibt also den Grad der Ähnlichkeit zur Donau an, – niedere Wasseralter bedeuten daher donauähnlichere Bedingungen.

Statistische Auswertungen

Alle statistischen Auswertungen wurden mit dem Software Paket „SPSS for Windows“ berechnet. Die viermonatige Untersuchungsperiode nach den Baumaßnahmen war durch eine lang anhaltende Mittelwasserphase charakterisiert (HEIN 2000). Die Effekte der durchgeführten Eingriffe waren daher überdurchschnittlich betont. Um die Einflüsse der unterschiedlichen Wasserstände und der Standorte von den Effekten durch die Maßnahmen zu differenzieren wurden die Untersuchungstermine entsprechend dem Wasserstand gruppiert. Um saisonale Einflüsse bei den planktischen Komponenten zu minimieren wurden nur Termine gleicher Saison ausgewählt und auf deren unterschiedliche Temperatur geprüf.

Im ersten Auswertungsschritt wurden 3 hydrologische Situationen anhand der Höhenlage der vorgenommenen Maßnahmen definiert: 1) Maßnahmenbereich (Mittelwasser₈₅ bis Mittelwasser₈₅ + 1,5 m; WASSERSTRASSENDIREKTION 1986) und die letzten 5 Tage kein Hochwasserereignis; 2) ausgeprägte Niederwasserphasen (Pegel Orth < 190 cm) und seit min. 5 Tagen keine Verbindung mit der Donau; und 3) Hochwassersituationen (Pegel Orth > 409 cm). Die Situationen 2 und 3 sollten keine Beeinflussung durch die Veränderungen zeigen. Im Bezug zu diesen Wasserstandsgruppen wurden dann die berechneten Wasseralter der Jahre (95, 96, 98 und 99) im unveränderten und veränderten Zustand statistisch (ANOVA Design) auf ihre Unterschiede getestet. Um Auswirkungen der gesteigerten Austauschvorgänge auf die Augewässer von Qualitätsunterschieden der Donau vor und nach den Maßnahmen zu trennen wurden die Konzentrationen in Prozent vom jeweiligen Donauwert umgerechnet und die relativen Unterschiede zwischen Donau und Au statistisch getestet.

Signifikante Änderungen für einzelne Standorte zwischen vorher und nachher wurde durch einen nicht parametrischen Test (Mann Whitney Test) überprüft, da die Varianzhomogenität nicht in allen Fällen gegeben war (Leven's Test). Für die Regressionsanalysen wurden das Wasseralter und die chemischen Messwerte linearisiert (ln transformiert).

Ergebnisse

Hydrologie

Das durchschnittliche Wasseralter an den Probenterminen hat an allen Standorten, im Vergleich zu den Jahren der Voruntersuchung (1995/96), stark abgenommen (Tab. 2).

Tab. 2: Mittelwerte (MW) und Streuung (STABW) des Wasseralters (WA) an den Probenahmenterminen. – Mean (MW) and standard deviation (STABW) of waterage (WA) at the sampling dates.

WA	VORHER			NACHHER		
Standort	MW	STABW	Anzahl	MW	STABW	Anzahl
P2	6,3	3,2	18	2,2	1,4	14
P3	9,9	4,7	18	0,3	0,2	14
P4	13,5	7,2	18	0,3	0,2	14
P6	53,8	50,3	16	3,2	3,6	14

Besonders massiv haben sich die hydrologischen Bedingungen am Standort P6 geändert wo das mittlere Wasseralter von 53 auf drei Tage gesenkt wurde. Nachdem die Donauwasserstände im Zeitraum der Nachuntersuchung deutlich höher waren, sind die stark reduzierten Werte allerdings nur teilweise auf die baulichen Maßnahmen zurückzuführen. Tabelle 3 zeigt deshalb die errechneten Werte für den gesamten Untersuchungszeitraum, für den restaurierten bzw. unrestaurierten Zustand. Das Wasseralter des restaurierten Zustandes liegt erwartungsgemäß niedriger. Statistisch signifikant waren die Änderungen für die Standorte P3, P4 und P6 (Tab. 3). Eine detaillierte Darstellung der Auswirkungen der Öffnungsmaßnahmen auf die Hydrologie des Regelsbrunner Altarmsystems findet sich bei RECKENDORFER et al. (2003).

Tab. 3: Mittelwertvergleich des Wasseralters jeweils theoretisch im restaurierten und unrestaurierten Zustand für die Jahre 95, 96, 98 und 99; Signifikanzniveau (p-Wert) dargestellt. Standortbezeichnungen siehe Abb. 1. – Comparison of water age calculated for the restored and unrestored situation for the years 95, 96, 98 and 99; Levels of significance are also given. Codes of sampling stations see Fig. 1.

Standort	Zustand	Anzahl	MW	Stdabw.	Bereich	ANOVA
P2	unrestauriert	1460	10,79	11,30	0-64,9	p = 0,221
	restauriert	1460	10,28	11,35	0-64,5	
P3	unrestauriert	1460	15,49	15,01	0-79,3	p < 0,001
	restauriert	1460	11,56	15,41	0-77,9	
P4	unrestauriert	1460	19,25	17,07	0-83,9	p < 0,001
	restauriert	1460	13,23	17,57	0-83,5	
P6	unrestauriert	1460	40,58	36,38	0-163,3	p < 0,001
	restauriert	1460	29,43	29,09	0-116,2	

Geochemische Parameter (Leitfähigkeit)

Die Leitfähigkeit an den Probepunkten P2–P5 ist im Vergleich zur Voruntersuchung durchwegs gesunken (Tab. 4). Die Werte haben sich jenen der Donau angenähert. Statistisch signifikant waren Annäherung an die Donauwerte für die Probepunkte P3, P4 und P5 (Tab. 8). An P6 wurden hingegen im Mittel Werte gemessen die jenen von P7 (Fischa) gleichen (Tab. 4).

Tab. 4: Statistische Verteilung der Messwerte vor und nach den Baumaßnahmen. Standortbezeichnungen siehe Abb. 1. LF: Leitfähigkeit. – Means (MW) and standard deviations (STABW) of the analysed hydrochemical parameters before and after restoration. LF: specific conductivity.

LF	VORHER			Nachher		
Standort	MW	STABW	Anzahl	MW	STABW	Anzahl
P1	395	38	18	359	28	12
P2	461	46	18	435	31	14
P3	456	42	18	368	23	14
P4	484	70	18	366	27	14
P5	642	56	18	455	75	14
P6	554	89	16	515	54	14
P7	588	32	16	582	19	14

**Nährstoffe: Nitrat (NO₃-N), Orthophosphat (PO₄-P)
und gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)**

Sowohl die mittleren Nitrat- als auch die Orthophosphatkonzentrationen haben an den Standorten innerhalb des Regelsbrunner Altarmsystems (P2–P6) im Vergleich zur Voruntersuchung erheblich zugenommen. Die Donauwerte selbst waren im Zeitraum der Nachuntersuchung im Mittel niedriger als in den Jahren 1995/96 (Tab. 5). Generell ist für das Regelsbrunner Altarmsystem eine deutliche Annäherung an die Nährstoffkonzentrationen der Donau zu beobachten. Statistisch signifikant war diese Änderung der Nitratkonzentrationen für die Standorte P3, P4 und P6, die der Orthophosphatwerte für den Standort P4 (Tab. 8). Die mittleren DOC-Konzentrationen zeigten keine Unterschiede zwischen den zwei Untersuchungsphasen. Im Vergleich zu einer Abnahme in der Donau (P1) wurden keine Veränderungen im Altarmsystem gefunden.

Tab. 5: Statistische Verteilung der Messwerte vor und nach den Baumaßnahmen. Standortbezeichnungen siehe Abb. 1. PO₄-P: reaktiver Phosphor (Orthophosphat), NO₃-N: Nitrat, DOC: dissolved organic carbon. – Means (MW) and standard deviations (STABW) of the analysed hydrochemical parameters before and after restoration.

PO ₄ -P	VORHER			NACHHER		
Standort	MW	STABW	Anzahl	MW	STABW	Anzahl
P1	28,2	12,1	18	17,8	9,5	12
P2	14,8	18,5	18	16,6	15,8	14
P3	15,5	19,7	18	17,8	8,7	14
P4	7,7	12,2	18	17,4	8,7	14
P5	9,0	11,8	18	16,5	10,6	13
P6	4,5	3,9	16	18,1	18,4	14
P7	43,2	7,7	16	39,9	8,2	14
N-NO ₃	VORHER			NACHHER		
Standort	MW	STABW	Anzahl	MW	STABW	Anzahl
P1	2602	586	18	1689	297	12
P2	1312	646	18	1404	404	14
P3	1320	625	18	1670	245	14
P4	1116	635	18	1647	254	14
P5	671	677	18	928	547	13
P6	960	918	16	1919	521	14
P7	3386	336	16	2755	250	14
DOC	VORHER			NACHHER		
Standort	MW	STABW	Anzahl	MW	STABW	Anzahl
P1	3,03	1,19	18	2,59	0,59	10
P2	2,76	0,62	18	2,74	0,66	13
P3	2,63	0,57	18			
P4	2,67	0,71	18	2,75	1,41	13

Tab. 5 Fortsetzung

DOC	VORHER			NACHHER		
Standort	MW	STABW	Anzahl	MW	STABW	Anzahl
P5	2,52	1,26	18			
P6	3,07	0,79	16	2,50	0,76	13
P7	3,16	2,25	16			

Schwebstoffe: Schwebstoffe (SS), anorganische Schwebstoffe (PIM), relativer Anteil der organischen Fraktion (rel-POM)

Sowohl in der Donau als auch an allen Standorten im Altarmbereich waren die Schwebstoffe und die anorganische Fraktion im Zeitraum der Nachuntersuchung deutlich höher als 1995/96. Der relative Anteil der organischen Fraktion war hingegen im Jahr 1999 durchwegs niedriger (Tab. 6). Statistisch signifikante war die Annäherungen an die Donauwerte bei den Schwebstoffen nur am Standort P2. Die Anstieg des anorganischen Anteils war für die Standorte P2 und P4 signifikant. Die Reduktion der organischen Fraktion zeigte signifikante Unterschiede für die Standorte P2, P3, P4 und P6 (Tab 8).

Tab. 6: Statistische Verteilung der Messwerte vor und nach den Baumaßnahmen. Standortbezeichnungen siehe Abb. 1. SS: suspended solids (Schwebstoffe), PIM: particulate inorganic matter (anorganische Schwebstoffkonzentration), Rel POM: relativer Anteil der organischen Fraktion an den Schwebstoffen. – Means (MW) and standard deviations (STABW) of the analyzed hydrochemical parameters before and after restoration.

SS	VORHER			NACHHER		
Standort	MW	STABW	Anzahl	MW	STABW	Anzahl
P1	27,0	20,6	18	79,0	84,4	12
P2	10,2	3,9	18	33,2	31,9	14
P3	11,2	4,7	18	61,9	62,2	14
P4	15,1	6,9	18	58,3	46,7	14
P5	5,3	2,3	18	32,7	40,0	14
P6	12,6	3,4	16	30,4	27,8	14
P7	21,1	15,6	16	9,6	3,4	14
PIM	VORHER			NACHHER		
Standort	MW	STABW	Anzahl	MW	STABW	Anzahl
P1	22,1	20,3	18	72,5	80,2	12
P2	5,7	2,7	18	20,7	30,4	14
P3	6,5	2,7	18	56,3	59,1	14
P4	9,9	5,3	18	52,6	44,4	14
P5	2,3	1,5	18	29,1	37,6	14
P6	6,1	2,3	16	26,7	27,1	14
P7	16,1	13,0	16	7,3	3,1	14

Tab. 6 Fortsetzung

Rel-POM	VORHER			NACHHER		
Standort	MW	STABW	Anzahl	MW	STABW	Anzahl
P1	23,5	9,5	18	11,1	4,4	12
P2	44,2	8,9	18	18,1	8,0	12
P3	41,6	6,3	18	12,5	5,4	14
P4	35,5	7,8	18	12,7	5,5	14
P5	57,6	15,0	18	17,7	13,5	14
Rel-POM	VORHER			NACHHER		
Standort	MW	STABW	Anzahl	MW	STABW	Anzahl
P6	50,7	10,4	16	27,8	17,2	14
P7	27,5	8,6	16	26,3	9,3	14

Algenbiomasse: (Chl a)

Beim Vergleich der Chl-a-Werte der beiden Untersuchungsphasen ergibt sich kein eindeutiger Trend. Im Vergleich zur Voruntersuchung wurden sowohl leicht erhöhte (P4, P5), als auch niedrigere (P1, P2, P6, P7) und praktisch idente (P3) Mittelwerte errechnet (Tab. 7). Statistisch signifikant war keine dieser Änderungen (Tab. 8).

Tab. 7: Statistische Verteilung der Messwerte vor und nach den Baumaßnahmen. Standortbezeichnungen siehe Abb. 1. Chl a: Chlorophyll-a-Gehalt. – Means (MW) and standard deviations (STABW) of the analyzed hydrochemical parameters before and after restoration.

Chl-a	VORHER			NACHHER		
Standort	MW	STABW	Anzahl	MW	STABW	Anzahl
P1	21,2	14,4	11	17,2	9,1	12
P2	24,9	19,7	11	19,2	14,3	14
P3	16,9	11,9	11	17,0	11,8	14
P4	13,7	5,8	11	16,9	11,9	14
P5	7,7	7,9	11	10,9	9,3	14
P6	29,3	15,7	11	22,9	24,3	14
P7	4,8	3,4	11	3,2	2,3	14

Tab. 8: Veränderung an den einzelnen Standorten vor und nach den Maßnahmen im Maßnahmenbereich ($MW_{85}-MW_{85}+1,5m$). Standortbezeichnungen sind in Abb. 1 angegeben. Die Messwerte wurden in Relation zum aktuellen Wert bei P1 (Donau) gesetzt. Abkürzungen zu den Parametern finden sich in Tab. 2. Signifikanzniveau (Mann Whitney Test): +/-: $p < 0,05$; ++/--: $p < 0,01$. +, ++: Zunahme; -, --: Abnahme. – Differences between before and after restoration at each sampling point. Values for the sampling points were calculated as the percentage of the concerning value at P1 (Danube River). Significance values (Mann Whitney Test): +/-: $p < 0,05$; ++/--: $p < 0,01$. +, ++: Increase; -, --: Decrease.

Parameter	P2	P3	P4	P5	P6
LF		–	–	–	
NO ₃ -N		++	++		+
PO ₄ -P			+		

Tab. 8 Fortsetzung

Parameter	P2	P3	P4	P5	P6
SS		+			
PIM	+	+			
Rel POM	-	--	-	-	
Chl a					

**Abhängigkeit von Gewässerchemismus
und Algenbiomasse vom Wasseralter**

Da die Baumaßnahmen die hydrologische Situation signifikant veränderten, lag ein Hauptaugenmerk der vorliegenden Arbeit auf dem Zusammenhang zwischen hydrologischer Vernetzung mit der Donau und den beobachteten Veränderungen im Gewässerchemismus und Plankton.

Die Leitfähigkeitswerte als geochemischer Indikator stiegen tendenziell mit zunehmendem Wasseralter im Altarmsystem (Abb. 3). Werte im Bereich der Donau herrschten bis zu einem Wasseralter von rund 1 Tag. Bei den gelösten Nährstoffen zeigten sich signifikante Abnahmen mit steigendem Wasseralter im Altarmsystem (Abb. 4a und 4b). Die Phosphorkonzentrationen waren durch eine hohe Schwankungsbreite charakterisiert.

Auch die Schwebstoffkonzentrationen nahmen signifikant mit dem Wasseralter ab (Abb. 5a). Der organische Anteil an den Schwebstoffen nahm mit steigendem Wasseralter zu (Abb. 5b). Dieser Trend verdeutlichte die Bedeutung interner Prozesse und die rasche Sedimentation der eingetragenen hauptsächlich anorganischen Schwebstoffe aus der Donau.

Die Phytoplanktonbiomasse zeigt einen nicht linearen Zusammenhang mit dem Wasseralter (Abb. 6). Die höchsten Chl-a-Konzentrationen wurden bei mittlerem Wasseralter (rund 6 Tage) ermittelt.

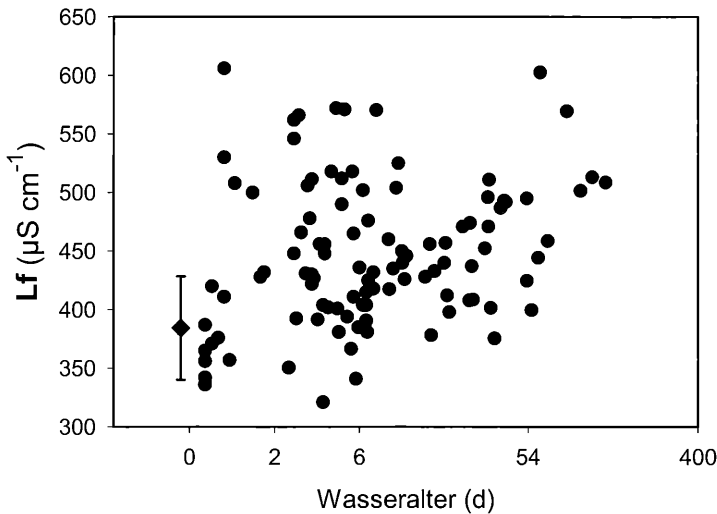


Abb. 3: Zusammenhang zwischen Wasseralter und Leitfähigkeit. Das Quadrat symbolisiert Mittelwert und Standardabweichung in der Donau. – Relationship between water age and conductivity (Lf). The square indicates mean + SD of the Danube River.

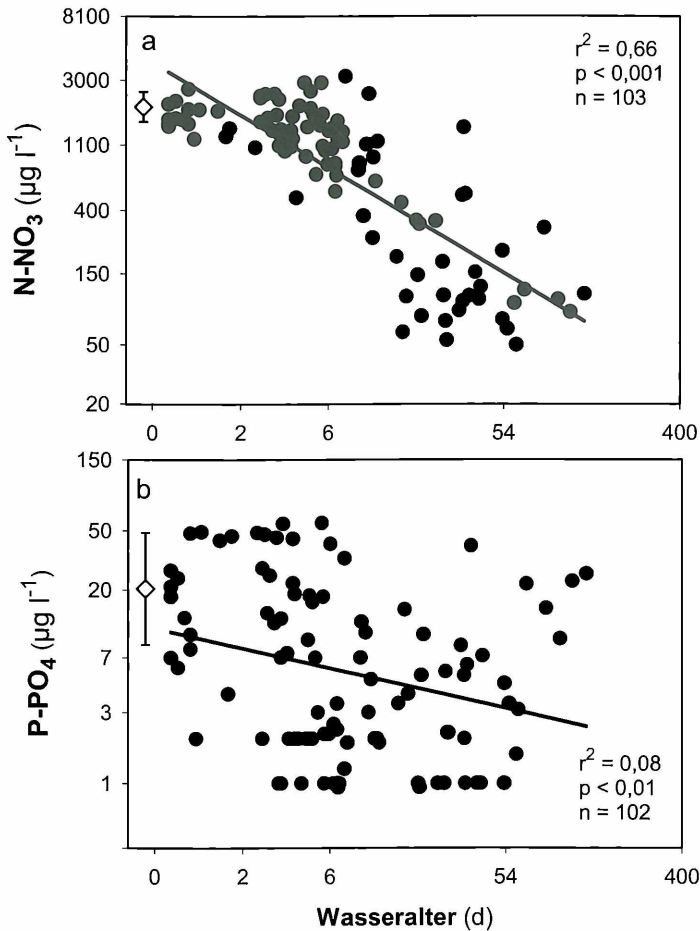


Abb. 4: Zusammenhang zwischen Wasseralter und a) Nitrat und b) Orthophosphat. Das Quadrat symbolisiert Mittelwert und Standardabweichung in der Donau. – Relationship between water age and a) Nitrate and b) Phosphate. The square indicates mean + SD of the Danube River.

Diskussion

Die, im Vergleich zur Voruntersuchung, signifikante Abnahme des Wasseralters an drei (P6, P3, P4) der vier Probepunkte im Bereich des Regelsbrunner Hauptarmes, verdeutlicht die unmittelbaren Auswirkungen der baulichen Maßnahmen auf die hydrologischen Bedingungen im Untersuchungsgebiet. Die Dotation des Regelsbrunner Ausystems durch den direkten Eintrag von Donauwasser (Wasseralter = 0) wurde deutlich erhöht. Die geringen Änderungen im Altarmabschnitt direkt oberhalb der Haslauer Traverse (P2) erklären sich durch die Geomorphologie des betroffenen Gebietes und die Lage der umgebauten Einströmbereiche.

Leitfähigkeit wird hier als geochemischer Marker für die Herkunft des Wassers interpretiert (HEILER et al. 1995). Donauwasser hat im Durchschnitt wesentlich geringere Leitfähigkeit als Grundwassereinträge. Die deutlich gesunkenen Leitfähigkeitswerte sind somit als Folge des gestiegenen direkten Eintrages von Donauwasser zu verstehen. Der in

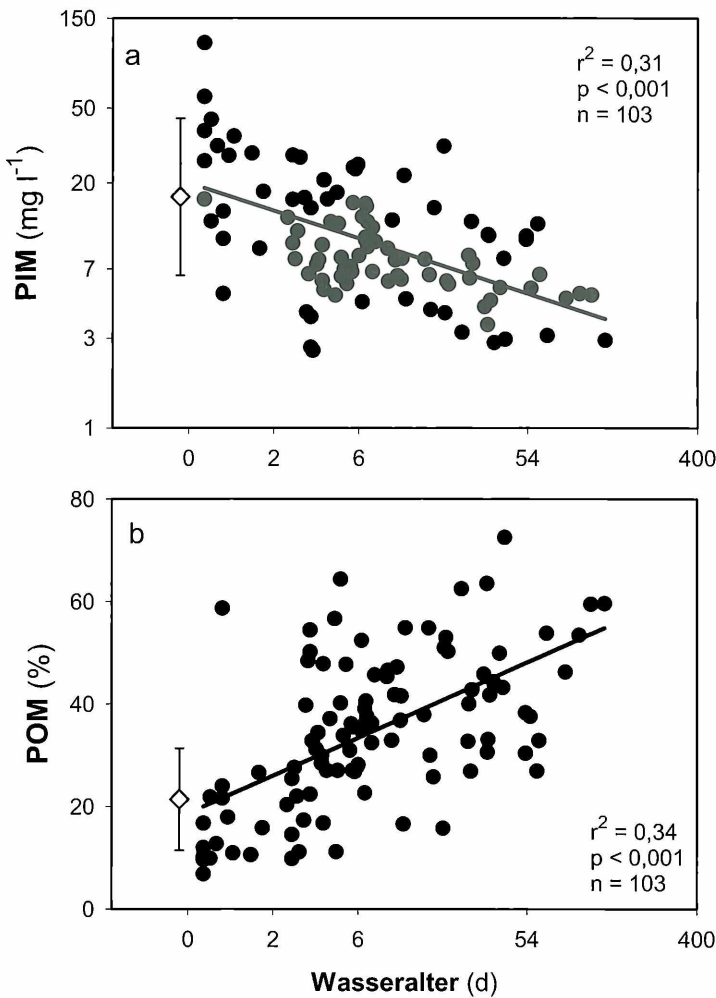


Abb. 5: Zusammenhang zwischen Wasseralter und a) PIM und b) relativer Anteil POM. Das Quadrat symbolisiert Mittelwert und Standardabweichung in der Donau. – Relationship between water age and a) PIM and b) relative POM. The square indicates mean + SD of the Danube River.

Abb. 3 dargestellte Zusammenhang zwischen Wasseralter und Leitfähigkeit zeigt, dass eine Reduzierung des Wasseralters auf wenige Tage mit einer deutlichen Angleichung der Leitfähigkeitswerte an die „donautypischen“ Werte (350–400 μScm^{-1}) einhergeht.

Der Parameter Wasseralter fasst verschiedene hydrologische Kenngrößen wie Durchfluss und Strömungsgeschwindigkeit (RECKENDORFER et al. 2003), die den Eintrag bzw. die Verweildauer von gelösten (Nitrat, Orthophosphat) und partikulären (SS) Stoffen in das Ausystem bestimmen, zusammen.

Sowohl die Nitrat als auch die Orthophosphat Konzentrationen des Regelsbrunner Altarmsystems zeigen signifikante Zusammenhänge mit dem Wasseralter. Beide Parameter nehmen mit sinkendem Wasseralter zu (Abb. 4). Nachdem die Öffnungsmaßnahmen generell eine Reduzierung des Wasseralters bewirkten (Tab. 3), ist also von einem er-

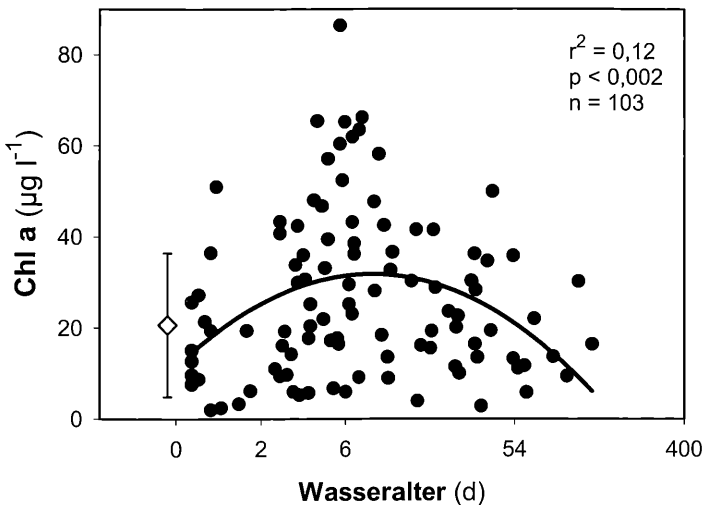


Abb. 6: Zusammenhang zwischen Wasseralter und Chl a Konzentrationen. Das Quadrat symbolisiert Mittelwert und Standardabweichung in der Donau. – Relationship between water age and chlorophyll a. The square indicates mean + SD of the Danube River.

höhten Nährstoffeintrag in das Altarmsystem auszugehen, was auch durch die vorliegenden Messergebnisse (Tab. 4, Tab. 8) bestätigt wird. Vermehrter Eintrag von gelösten Nährstoffen, und vor allem Orthophosphat als ein primär limitierender Faktor für die planktische Primärproduktion in den Donauauen (HEIN et al. 1999b), könnte grundsätzlich zu einer massiven Steigerung der Algenbiomassen und letztlich zur Eutrophierung der Angewässer führen.

Der Vergleich der zwei Untersuchungsphasen zeigt, dass dies für das Regelsbrunner Altarmsystem nicht zutrifft (Tab. 4). Der Vergleich der Algenbiomasse zeigt nur geringfügige (nicht signifikante) Unterschiede zwischen den Untersuchungsphasen (Tab. 5). Sehr wahrscheinlich sind es die, durch die Maßnahmen geänderten, abiotischen Rahmenbedingungen, die limitierend auf die planktische Primärproduktion wirken. Sowohl die mittleren Strömungsgeschwindigkeiten (RECKENDORFER et al. 2003), als auch der Gehalt an anorganischen Schwebstoffen haben deutlich zugenommen (Tab. 4) und wirken über das Lichtregime und mechanische Beeinflussung auf die Algenproduktion (RIEDLER & SCHAGERL 1998). Generell ist die gesamte Planktonbiomasse in dynamischen Altarmen durch das Phytoplankton dominiert, heterotrophe Kompartimente (Bakterien, Zooplankton) nehmen an Bedeutung erst bei längeren lenitischen Phasen zu (HEIN et al. 1999a).

Die Gesamtheit des gelösten organischen Materials zeigte keinen Zusammenhang mit der hydrologischen Situation. Erst detaillierte Untersuchungen am DOM zeigten, dass unterschiedliche molekulare Fraktionen durch eine variierende Zusammensetzung und biologische Verfügbarkeit charakterisiert waren (KARGL 2001). Eine Dominanz terrestrischen Materials konnte nur unmittelbar nach Hochwasserereignissen gefunden werden. Ein Hinweis darauf, dass im Regelsbrunner Altarmsystem der autochthonen Produktion (aquatischer Herkunft) größere Bedeutung zukommt.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass der Parameter Wasseralter gut geeignet ist um die kurzfristigen Auswirkungen der Maßnahmen auf die unmittelbaren reagierenden hydro-

chemischen Bedingungen (geochemische und nährstoffchemische Parameter) und die Angenbiomasse zu erfassen.

Literatur

- AMOROS C. & ROUX A. L., 1988: Interactions between water bodies within the floodplains of large rivers: function and development of connectivity. 29, 125–130.
- BARANYI C., HEIN T., HOLAREK C., KECKEIS S. & SCHIEMER F., 2002: Zooplankton biomass and community structure in a Danube River floodplain system: effects of hydrology. *Freshwater Biology* 47 (3), 473–482.
- BENNER R. & STROM M., 1993: A critical evaluation of the analytical blank associated with DOC measurements by high-temperature catalytic oxidation. *Marine Chemistry* 41, 153–160.
- CALS M. J. R., POSTMA R., BUIJSE A. D. & MARTEIJN E. C. L., 1998: Habitat restoration along the River Rhine in the Netherlands: putting ideas into practice. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 8, 61–70.
- DISTER E., 1994: The function, evaluation and relicts of near-natural floodplains. *Limnologie aktuell* 2, 317–329.
- FISHER S. G., GRIMM N. B., MARTI E., HOLMES R. M. & JONES J. J. B., 1998: Material spiraling in stream corridors: a telescoping ecosystem model. *Ecosystems* 1, 19–34.
- GOLTERMAN H. L., CLYMO R. S. & M. OHNSTAD A. M., 1978: Methods for physical and chemical analysis of freshwater. *IPB Handbook*, Oxford, Blackwell Scientific.
- HEILER G., HEIN T. & SCHIEMER F., 1995: Hydrological connectivity and flood pulses as the central aspects for the integrity of a river-floodplain system. *Regulated Rivers Research & Management* 11, 351–361.
- HEIN T., 2000: Gewässervernetzung Regelsbrunn Ökologisches Monitoring: Module Hydrologie, Hydrochemie und Dekomposition. Wasserstraßendirektion.
- HEIN T., SCHAGERL M., HEILER G. & SCHIEMER F., 1996: Chlorophyll-a and hydrochemical dynamics in a backwater system of the Danube, controlled by hydrology. *Archiv für Hydrobiologie Suppl.* 113, 463–470.
- HEIN T., BARANYI C., HEILER G., HOLAREK C., RIEDLER P. & SCHIEMER F., 1999a: Hydrology as a major factor determining plankton development in two floodplain segments and the River Danube, Austria. *Large Rivers* 11, 439–452.
- HEIN T., HEILER G., PENNETZDORFER D., RIEDLER P., SCHAGERL M. & SCHIEMER F., 1999b: The Danube restoration project: functional aspects and planktonic productivity in the floodplain system. *Regulated Rivers Research & Management* 15, 259–270.
- HEIN T., PENNETZDORFER D., HEILER G., BAUMGARTNER C., TÖCKNER K. & SCHIEMER F., 2000: Hydrochemische Charakterisierung und Sedimentverteilung in einem dynamischen Altarmsystem der Donau – Hydrochemical characterization and sediment distribution in a dynamic floodplain of the River Danube. *Abhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Österreich* 31, 27–41.
- JUNK W. J., BAYLEY P. B. & SPARKS R. E., 1989: The flood pulse concept in river-floodplain systems. 106, 110–127.
- KARGL S., 2001: Quality and Reactivity of Dissolved organic matter (DOM) in the Danube River – floodplain system. Diplomarbeit, Universität Wien.
- MEYER J. L., 1997: Conserving ecosystem function. 136–145.
- MÜLLER R. & WIEDEMANN F., 1955: Die Bestimmung des Nitrats in Wasser. 12, 247–271.

- PARSONS T., MAITA Y. & LALLI C., 1984: A Manual of Chemical and Biological Methods for Sea-water Analysis. Oxford, Pergamon Press.
- RECKENDORFER W. & STEEL A., 2004: Auswirkungen der hydrologischen Vernetzung zwischen Fluss und Au auf Hydrologie, Morphologie und Sedimente. In diesem Band.
- RIEDLER P. & SCHAGERL M., 1998: Pelagic primary production and related parameters in the River Danube near Vienna (Austria). *Archiv für Hydrobiologie Suppl.* 115, 139–151.
- SCHIERER F., BAUMGARTNER C. & TOCKNER K., 1999: Restoration of floodplain rivers: The Danube restoration project. *Regulated Rivers Research & Management* 15, 231–244.
- SCHIERER F., TOCKNER K. & BAUMGARTNER C., 2000: Das Donau-Restaurierungsprojekt: Rahmenbedingungen und Untersuchungskonzept – The Danube-Restoration-Program: Conceptual framework and monitoring concept. *Abhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Österreich* 31, 1–25.
- SEDELL J. R., RICHEY J. E. & SWANSON F. J., 1989: The RCC: a basis for expected ecosystem behaviour of very large rivers? *Oikos* 106, 49–55.
- THORP J. H. & DELONG M. D., 1994: The riverine productivity model: an heuristic view of carbon sources and organic processing in large river ecosystems. *Oikos* 70, 305–308.
- TOCKNER K. & SCHIERER F., 1997: Ecological aspects of the restoration strategy for a river-floodplain system on the Danube River in Austria. *Global Ecology and Biogeography Letters* 6, 321–329.
- VAN D. BRINK F. W. B., LEEUW J. P. H. M., VAN D. VELDE G. & VERHEGGEN G. M., 1993: Impact of hydrology on the chemistry and phytoplankton development in floodplain lakes along the Lower Rhine and Meuse. *Biogeochemistry* 19, 103–128.
- WASSERSTRASSENDIREKTION, 1986: Die kennzeichnenden Wasserstände der österreichischen Donau (KWD 1985). Austrian River Authority.

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): Hein Thomas, Reckendorfer Walter, Baranyi Christian

Artikel/Article: [Einfluss von Öffnungsmaßnahmen auf die hydrochemische Situation und die planktischen Prozesse in einem dynamischen Ausystem. 31-46](#)