

Hydrologische Dynamik als Motor für die Renaturierung von Auenhabitaten an der Donau zwischen Neuburg und Ingolstadt

Peter Fischer, Barbara Stammel, Petra Lang, André Schwab, Bernd Cyffka

Abstract

Ein aus auenökologischer Perspektive optimales Abflussregime ist dann erreicht, wenn durch dessen Steuerung (Zeitpunkt, Dauer, Häufigkeit und Intensität) „Möglichkeiten“ geschaffen werden, dass auentypische Arten sich dauerhaft ansiedeln können. Über die Interpretation von Wasserstandsganglinien an unterschiedlichen Auengewässern und der flächenhaften Kartierung von Überflutungsflächen in Kombination mit Vegetationsaufnahmen können erste Rückschlüsse auf die Funktionalität und Effektivität von den im Projektgebiet durchgeführten Renaturierungsmaßnahmen gezogen werden.

1 Einleitung

Fließgewässer und ihre angrenzenden Auen sollen nach den Zielen der Biodiversitätsstrategie in ihrer Funktion als Lebensraum bis 2020 soweit gesichert werden, dass eine für Deutschland naturraumtypische Vielfalt gewährleistet ist (BMU, 2007). Ökologisch funktionsfähige Auen machen heute allerdings weniger als 10% der rezenten Auen aus und, wie auch an den anderen großen Strömen Europas, sind nur noch 10 - 20 % der ehemaligen Donauauen überhaupt vorhanden (BMU & BfN, 2009). Auensysteme sind erst dann funktionsfähig, wenn bei Hochwasserereignissen die Flüsse wieder über die Ufer treten und die Verbindung mit ihrem direkten Umland hergestellt ist. Wechselnde Grundwasserstände, Abfluss- und Gewässerbettynamik müssen als natürliche Vorgänge in Fließgewässern und ihren angrenzenden Auen wieder zugelassen werden. Sie sind elementarer Bestandteil dieser Ökosysteme (Bunn & Arthington, 2002, Jürging & Patt, 2005, Van Geest et al., 2005).

Im Rahmen des E+E-Begleitvorhabens „Monitoring auenökologischer Prozesse und Steuerung von Dynamisierungsmaßnahmen“ (MONDAU) arbeiten seit 2009 acht Arbeitsgruppen aus unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen zusammen, die den Erfolg eines Projektes zur Auenrenaturierung trotz Stauhaltung im Hauptfluss messen und wissenschaftlich begleiten (Stammel et al., 2012). Ziel des Projektes „Dynamisierung der Donauauen zwischen Neuburg und Ingolstadt“ des Wasserwirt-

schaftsames Ingolstadt ist es, durch die Ausleitung unterschiedlicher Wassermengen in den Auwald, dynamische Prozesse (Wasser und Sediment) zur Förderung auentypischer Arten zu unterstützen oder ggf. neu anzuregen (vgl. Abb. 1). Ein Schwerpunkt im interdisziplinär angelegten MONDAU-Projekt (MONitoring DonauAUen) ist die systematische Erfassung und detaillierte Analyse von hydrologischen und hydrogeomorphologischen Prozessen, sowie deren Bedeutung und Einfluss auf die Vegetation. Jedoch sollen nicht nur die durch Abflussschwankungen erzeugten Prozesse beobachtet werden, sondern vor allem auch die Steuerung der verschiedenen Renaturierungsmaßnahmen aus ökologischer Sicht optimiert werden.

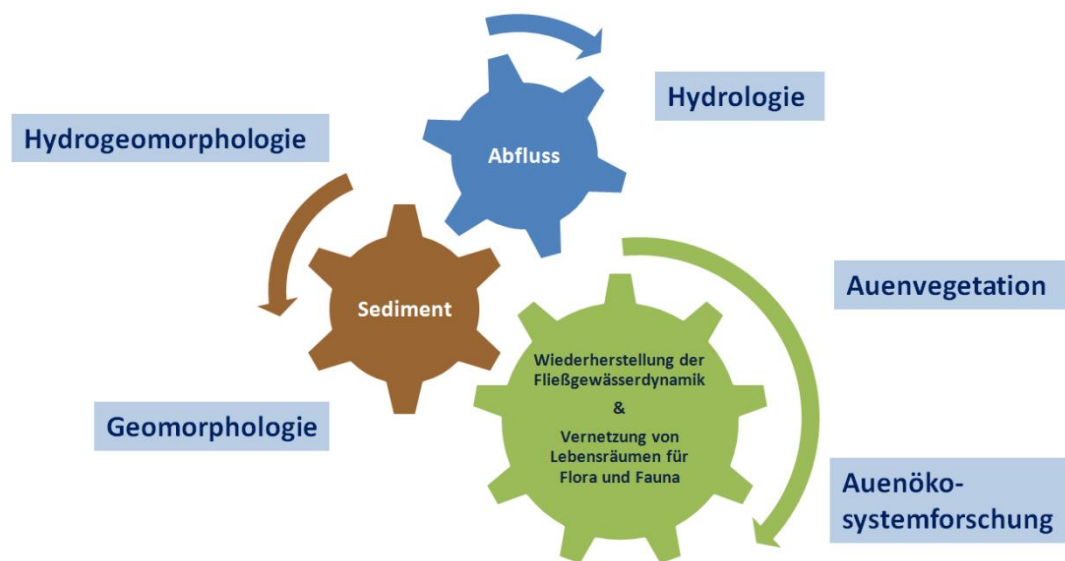


Abb. 1 Interaktion im Auenökosystem: hydrologische Prozesse und Dynamik in den Abflüssen wirken auf alle anderen abiotischen und biotischen Kompartimente im Auenökosystem.

2 Projektgebiet und Dynamisierungsmaßnahmen

Das Projektgebiet liegt an der bayerischen Donau zwischen den Flusskilometern 2.473 und 2.464. Hier hat sich einer der größten zusammenhängenden Hartholz-Auwälder Mitteleuropas erhalten. Auch aufgrund der Artenvielfalt besitzt es als Natura 2000- und Landschaftsschutzgebiet für den Naturschutz eine besondere Bedeutung. Gewässerausbau in Kombination mit intensiver Wasserkraftnutzung bestimmt stark bis sehr stark die standörtlichen Verhältnisse an der Donau (BMU & BfN, 2009). Auch bei Neuburg ist durch die Flussbegradigungen während des 19. Jh. und den Bau zweier Staustufen in den 1970er Jahren die Konnektivität von Fluss und Aue weitgehend unterbunden worden. Die fließgewässertypische Eigenentwicklung wurde maßgeblich eingeschränkt (Schlegel, 2000). Die dadurch entstandene, zumeist monotone Gewässerstruktur und die Nivellierung der Strömungsverhältnis-

se haben, von ehemals dynamischen, zu eher stabilen und ausgeglichenen Zuständen geführt.

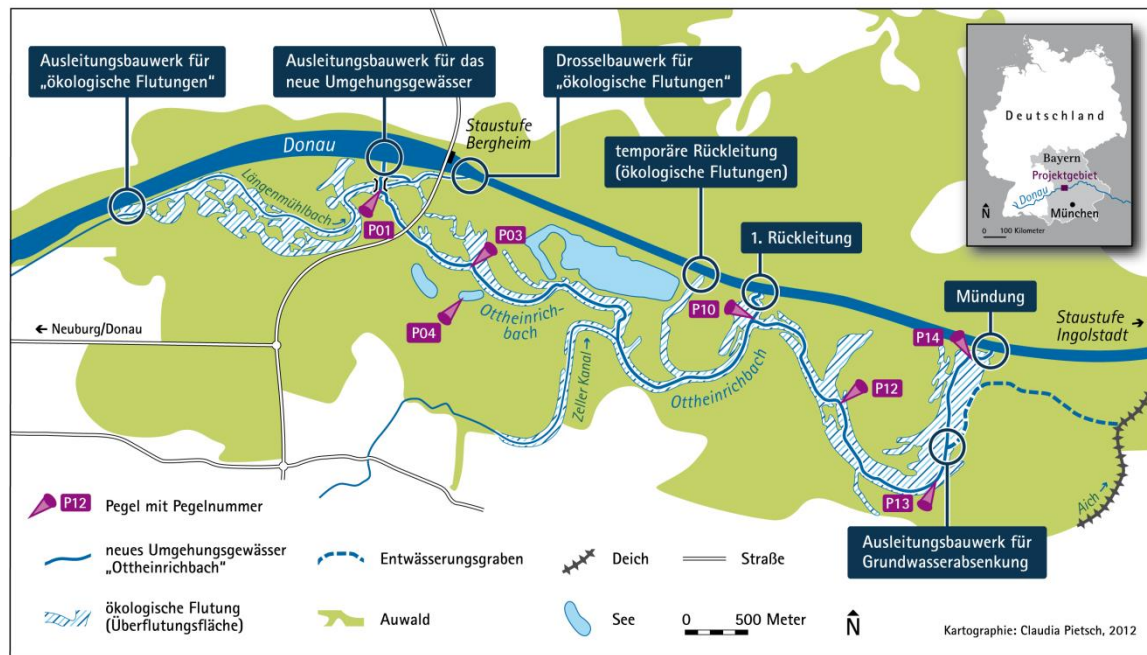


Abb. 2 Lage des Untersuchungsgebietes zwischen Neuburg und Ingolstadt mit den wichtigsten Bauwerken, Seen und Fließgewässern und den Standorten der untersuchten Pegel.

Heute wird mit kostenintensiven Renaturierungs- oder Dynamisierungsvorhaben versucht, die Korrekturmaßnahmen teilweise wieder rückgängig zu machen oder die Auen wieder in einen naturnäheren Zustand zurückzuführen. In den südlichen Donauauen, mit einer Fläche von rund 1.200 ha, wurde der Auwald im Jahr 2009 mit wasserbautechnischen Maßnahmen wieder an die Donau angeschlossen (Cyffka & Haas, 2008, Stammel et al., 2012). Mit den im Folgenden nur kurz beschriebenen Maßnahmen (siehe Abb. 2) soll die eigenständige Entwicklung auentypischer Arten im bestehenden Auwald gefördert werden:

- Neues Auengewässer, der „Ottheinrichbach“ in der Funktion eines Umgehungsbaehes mit 0,5 bis 5 m³/s Wasserführung, angepasst an den Abfluss der Donau; auf 8,5 km in teilweise neuem, naturnah angelegtem Gerinne, teilweise in bestehenden Auengewässern
- Ökologische Flutungen von Teilen des Auwaldes bei einem Abfluss in der Donau von 600 – 1.000 m³/s. Über ein Ausleitungsbauwerk fließen bis zu 25 m³/s Donauwasser in den Längenmühlbach und werden über ein Drosselbauwerk und zwei Flutmulden in den Auwald geleitet. Bei einem Abfluss > 1000 m³/s soll das Gebiet als Retentionsraum freigehalten werden, da ab 1.300 m³/s die Donau an einem Streichwehr ungesteuert in den Auwald fließt.

- Grundwasserabsenkung während Niedrigwasserperioden ($< 150 \text{ m}^3/\text{s}$ in der Donau) des stellenweise hoch anstehenden Grundwasserspiegels im Ostteil des Gebiets.

Alle Steuerungsmaßnahmen, insbesondere die Abflussregulierung und Wasserausbreitungsmöglichkeit, sind an verschiedene Rahmenbedingungen geknüpft, die sich aus unterschiedlichen Nutzungsformen und Auflagen (z.B. angrenzendes Gewerbegebiet, Hochwasserschutz, Durchgängigkeit für Fische, Leistungsfähigkeit von Durchlässen) ergeben (Fischer & Cyffka, 2013).

Um trotzdem eine größtmögliche Wirkung zu erzielen, bedarf es einer an ökologischen Richtlinien angepassten Steuerung im Rahmen des vorgegebenen Handlungsspielraumes. Das aus ökologischer Perspektive optimale Abflussregime in Zeitpunkt, Dauer, Häufigkeit und Intensität, über die Steuerung der Ausleitungsbauwerke, muss die wirtschaftlichen und wasserrechtlichen Vorgaben berücksichtigen. Daraus ergeben sich für alle zwei Ausleitungsbauwerke an der Donau, dem Ausleitungsbauwerk für die Grundwasserabsenkung und für das Drosselbauwerk verschiedene Steuerungsmöglichkeiten, die je nach Zielarten (aquatisch oder terrestrisch) teilweise entgegengesetzte Regelung verlangen. So sollte für Fische möglichst viel Wasser fließen, so dass weder Wassermangelsituationen entstehen noch Flachwasserbereiche nach dem Abfließen trockenfallen. Dagegen sind manche an Wechselwasserbereiche angepasste Pflanzenarten, wie Weiden oder Arten der Zweizahnfluren, auf eine deutliche Wasserstandsschwankungen und damit eine zeitweise starke Absenkung des Wasserspiegels angewiesen.

3 Hydrologische Dynamik durch das Dynamisierungsprojekt

Überflutungen, ob natürlich oder gesteuert, und die sich daraus ergebenden schwankenden Wasserstände, können weder in einem klar abgegrenzten Raum (ein Auengewässer oder Flussabschnitt) betrachtet werden, noch reichen Momentaufnahmen, um für das hydrologische Geschehen im Auenökosystem ein ausreichendes Verständnis zu entwickeln. Deswegen werden über ein Pegelnetzwerk und die Erfassung anderer hydrologischer Parameter, wie Abflussmengen und Fließgeschwindigkeit, sowie die Kartierung von Überflutungsflächen mittels dGPS, die hydrologischen Verhältnisse im Auwald entsprechend erfasst. Das mobile und stationäre hydrologische Messnetz des Aueninstitutes besteht aus 51 Pegeln, die entlang des Umgebungsgewässers in unterschiedlichsten Auengewässern den Wasserstand erfassen (siehe Abb. 3, 4).

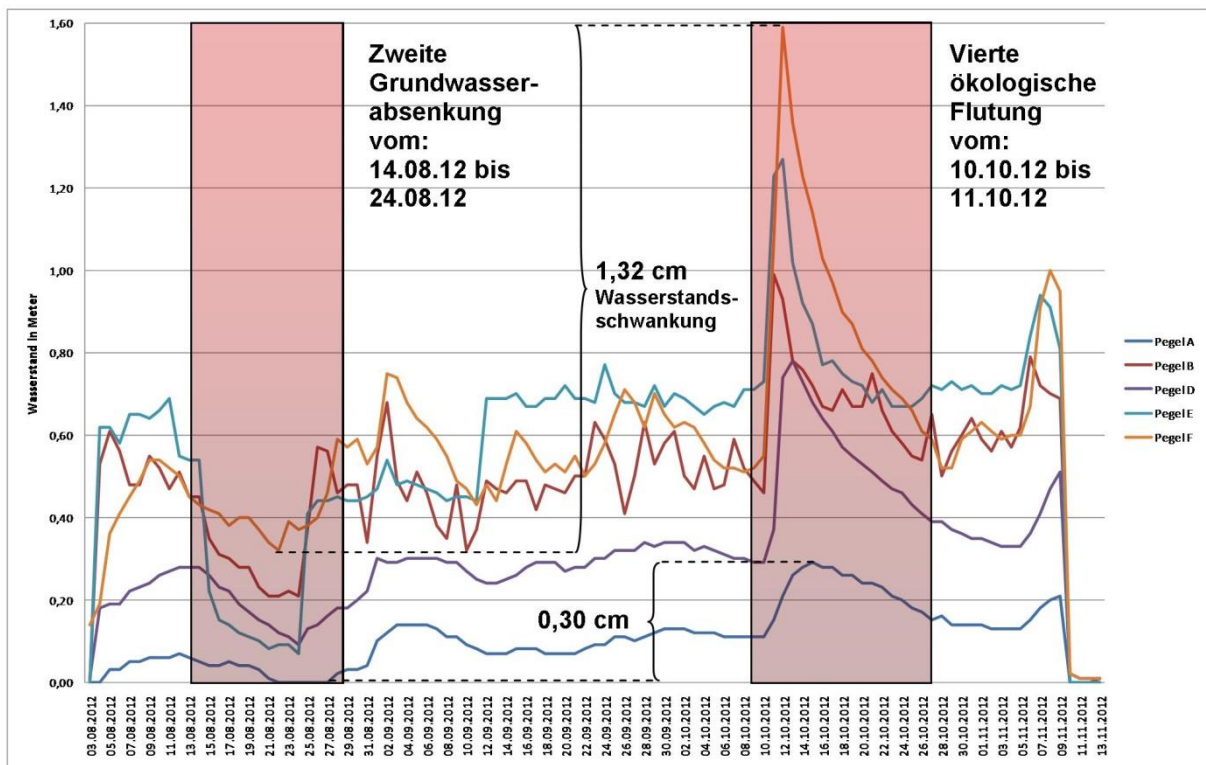


Abb. 3 Ganglinien (Tagesmittelwerte) der mobilen Pegel A bis F (Pegelstandort siehe Abb.4) für die zweite Grundwasserabsenkung und die vierte ökologische Flutung. Die Kombination der beiden Maßnahmen führt zu einer Wasserstandsschwankung von bis zu 1,32 m. bzw. 30 cm. Je nach Standort können auch Werte von über 1,70 m erreicht werden.

Mit den bisher durchgeführten Kartierungen können die durch die Maßnahmen ausgelösten flächenhaften Überflutungen, insbesondere in den Wechselwasserzonen, erfasst und dokumentiert werden. Für den Großteil des Projektgebietes kann die Ausdehnung der Überflutungsflächen entsprechend gut eingeschätzt werden (Abb. 4). Das neue Umgehungsgewässer lässt den Grundwasserspiegel in der direkten Umgebung ansteigen. Je nach Ausleitungsmenge werden verschiedene Wasserkörper „aktiv“. Seit der permanenten Beschickung des Ottheinrichbaches sind einige Standorte im Auwald dauerhaft überschwemmt. Andere Flächen werden nur bei höheren Ausleitungsmengen (ab 3,5 m³/s) oder einer ökologischen Flutung überstaut. Bei einer Flutung füllen sich bisher die tiefer gelegenen Stellen (Senken und Rinnen Standorte) mit Qualmwasser. Unterschiede in der Art der Anbindung, oberflächlich oder über den Kieskörper, konnten dokumentiert werden. Anders als erwartet, bleiben die Auswirkungen aller bisher erfolgten ökologischen Flutungen bzgl. der Überschwemmungsfläche, mit etwas weniger als der Hälfte (65 ha), weit hinter der Prognose von etwa 130 ha zurück (Fischer et al., 2012).

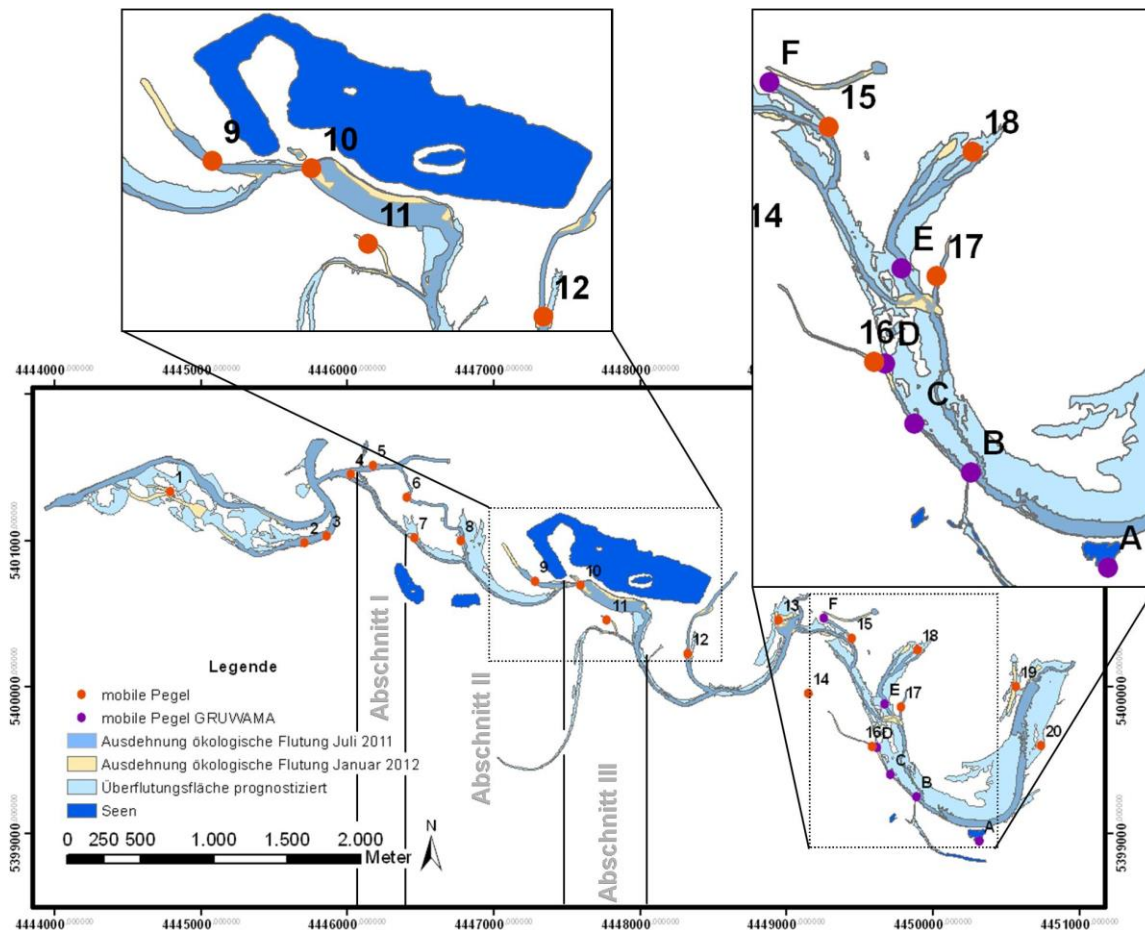


Abb. 4 Überflutungsflächen der beiden ökologischen Flutungen (2011, 2012; kartiert mit dGPS und Wasserstandsinformation über Lattenpegel) und Pegelstandorte der mobilen Datenlogger im Projektgebiet. Pegel A bis F werden bei einer Grundwasserabsenkung eingesetzt.

4 Reaktion der Auenvegetation auf die hydrologischen Veränderungen

Die typische Auenvegetation ist an Störungen gut angepasst und kann sich daher in intakten Auen gegenüber der sonst konkurrenzstärkeren terrestrischen Vegetation durchsetzen. Zwei Faktoren der Störung sind von großer Bedeutung: die Schaffung neuer Rohbodenstandorte durch Morphodynamik und die Schaffung offenen Bodens durch schwankende Wasserstände und der damit verbundene Stress sowohl für die terrestrische als auch die aquatische Vegetation. Beide Kriterien müssen zusammenspielen um eine typische Auenvegetation auszubilden (Ellenberg & Leuschner, 2010, Jüring & Patt, 2005). Zur besseren Veranschaulichung sollen nur zwei der zahlreichen auentypischen Pflanzengesellschaften herangezogen werden, die Weichholzaue (*Salicetum albae*) und die Zweizahnfluren der Wechselwasserzone

(*Bidentetum tripartitae*), die beide durch die fehlende Dynamik in den Auen deutschlandweit stark gefährdet sind.

In Weichholzaunen sind Weiden und Pappeln bestandsbildend. Diese Baumarten bilden sehr viele, sehr leichte Samen, die nur wenige Tage keimfähig sind. Wenn sie im Juni/Juli reif sind, werden sie über Wind und Wasser ausgebreitet und müssen dann am Ufer die passenden Keimungs- und Etablierungsbedingungen (lichtbedürftig, geringer Grundwasserflurabstand) finden, um sich erfolgreich ansiedeln zu können (Mosner et al., 2010). Eine Verjüngung an schattigen Stellen unter Altbäumen kann nicht stattfinden, nur Rohbodenstandorte oder konkurrenzfreie Stellen mit offenem Boden, z.B. nach Hochwassern entstanden, können besiedelt werden. Wechselwasserzonen, die nur ca. 2 Monate im Jahr trockenfallen, sind zu nass für Baumarten und werden daher von einjährigen Zweizahnfluren besiedelt. Die bestandsbildenden Arten, wie Zweizahn oder Wasserfenchel, schlummern in der Samenbank im Boden und können innerhalb dieser zwei trockenen, für sie günstigen Monate keimen, blühen und fruchten. Allein diese zwei Vegetationstypen machen offensichtlich, dass eine ökologische Steuerung der Abflussmenge in einem Dynamisierungsprojekt sehr unterschiedliche auentypische Lebensräume berücksichtigen muss.

Um nun die Auswirkungen des Projekts auf die Vegetation beurteilen zu können, ist es sinnvoll, das Projektgebiet in verschiedene Abschnitte zu unterteilen, in denen der Einfluss der Baumaßnahmen, aber auch der Einfluss der Dynamik aufgrund der Gerinneform und der Geländesituation sehr unterschiedlich ist (Stammel et al., 2012, auch für Informationen zum gesamten Untersuchungsprogramm). In diesem Beitrag werden die drei ersten und stärker veränderten Abschnitte betrachtet (siehe Abb. 4): Im ersten Abschnitt wurde ein neues Gewässer in einer zum Teil neu aufgeschütteten Kiesfläche geschaffen. Der zweite Abschnitt wurde in eine trockengefallene Flutrinne durch den Auwald gegraben, so dass beschattete, steile Auenlehm-Ufer entstanden sind, in denen vor allem durch unterschiedliche Abflussmengen eine sehr starke fluviale Morphodynamik hervorgerufen wird. Im dritten Abschnitt fanden kaum bauliche Veränderungen statt. Die hier vorkommenden, ehemals temporären Stillgewässer sind nun ein Fließgewässer mit schwankenden Wassermengen und daher auch mit sich ständig ändernden Uferlinien, der mittlere Wasserstand ist deutlich gestiegen (siehe Abb. 4). Sedimentumlagerung findet kaum statt, da das Gewässer hier deutlich breiter wird und die Fließgeschwindigkeiten abnehmen.

Durch die Baumaßnahmen des Dynamisierungsprojekts wurden in den Abschnitten 1 und 2 zahlreiche Rohbodenstandorte geschaffen, die die Voraussetzung für die Etablierung von Weichholzaunen sind. Vegetationsaufnahmen auf 1 m² großen Dauerbeobachtungsflächen in Abschnitt 1 zeigen, dass die Artenzahl seit Projektbeginn

hier sehr stark ansteigt (Abb. 5), allerdings finden sich vor allem auenuntypische Ruderalarten (u.a. der Neophyt *Solidago gigantea* (Späte Goldrute)), die man nicht mit dem Projekt fördern will. In Abschnitt 2 nimmt die Gesamtartenzahl für alle Aufnahmen ebenfalls zu, jedoch bleibt der mittlere Anteil an offenem Boden auch 2012 bei rund 60 % (Abb. 5). Eine Transektaufnahme im Jahr 2012 in diesem Abschnitt zeigt, dass insbesondere im Bereich der schwankenden Wasserstände die Besiedlung nach wie vor sehr spärlich ist (Abb. 6). Ein Vergleich der Jahre 2008, 2010 und 2012 bestätigt die hohe Morphodynamik, die im Uferbereich eine Etablierung verhindert, während sich im Gewässer bereits Wasserpflanzen wie *Ranunculus fluitans* (Flutender Wasserhahnenfuß) gut etablieren konnten.

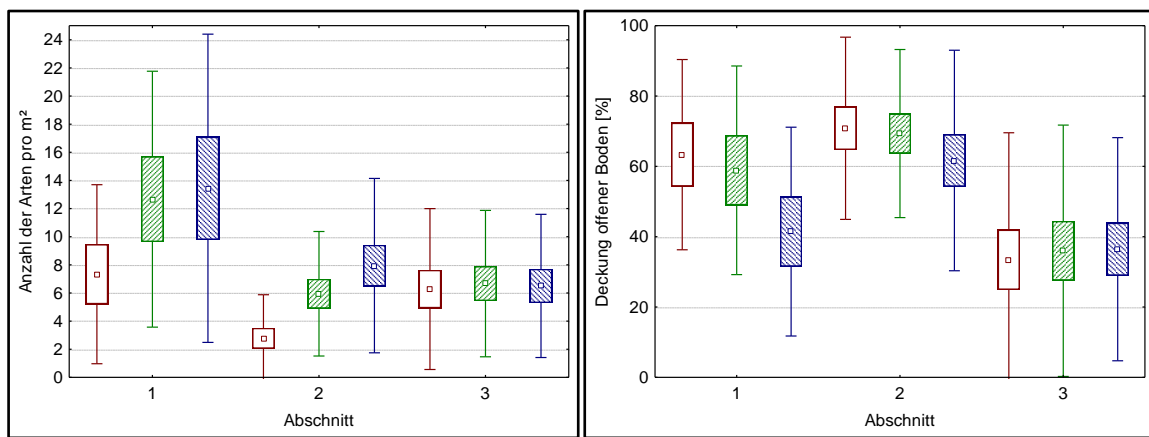


Abb. 5 Entwicklung der Artenzahl pro m² und der Deckung „Offener Boden“ in % in den Jahren 2010 (rot), 2011 (grün) und 2012 (blau) in den drei Abschnitten (1: baulich überprägt, 2: starke Morphodynamik im Gebiet, 3: kaum bauliche Maßnahmen, Veränderung der Wasserdynamik) □ = Mittelwert, □ = Standardfehler und ⊣ = Standardabweichung.

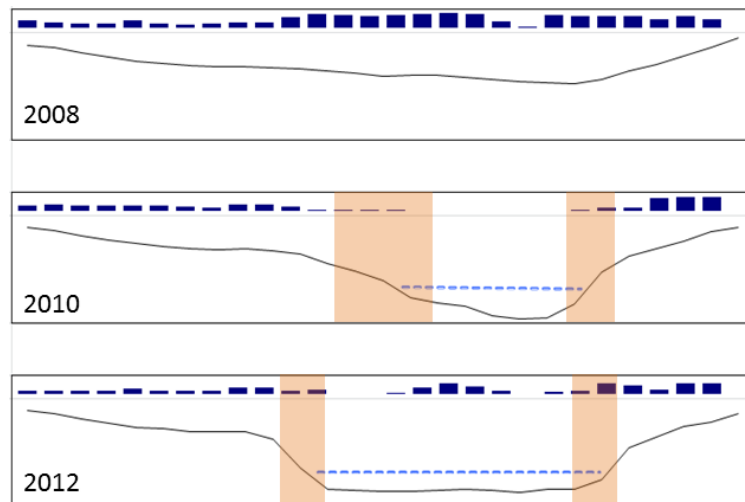


Abb. 6 Entwicklung der Vegetationsdeckung in % (Säulen) und des Geländeprofiles (schwarze Linie) entlang eines Transsekts in Abschnitt 2. Dargestellt als blaue Linie die Wasseroberfläche zur Zeit der Aufnahme und rötlich hinterlegt die Wechselwasserbereiche. Jeder Balken präsentiert eine Aufnahme (1 m^2).

In Abschnitt 3 wurden zwar weder durch Baumaßnahmen noch durch Sedimentumlagerungen Rohböden geschaffen, jedoch stieg mit dem Wasserlevel im Umgebungsbach auch das Grundwasser, und ehemals terrestrische Standorte verwandelten sich in semiaquatische oder aquatische, weshalb zahlreiche nicht daran angepasste Baumarten, wie Esche und Bergahorn, abstarben. Daher herrschen hier nun ebenfalls günstige Lichtbedingungen für die konkurrenzschwache Auenvegetation vor. Die Artenzahl auf den kleinen Quadratmeterflächen (Abb. 5) stieg in diesem Abschnitt nicht signifikant an, jedoch verändert sich die Artenzusammensetzung deutlich. Im Gegensatz zu Abschnitt 1 werden hier auentypische Arten gefördert, da neben der Schaffung von offenem Boden durch das Absterben der bisherigen Vegetation auch die Ansprüche an den Wasserstand (zeitweise überflutet) getroffen werden, so dass sich sowohl Weichholzauen als auch Zweizahnfluren etablieren können. Vegetationsaufnahmen von 200 m^2 großen Waldbereichen zeigen hier die größte Veränderung zwischen 2008 und 2012 im gesamten Projektgebiet (Abb. 7): die mittlere Artenzahl, von den durch Maßnahmen zeitweise überfluteten Flächen, stieg innerhalb von 4 Jahren von 38 auf 58 Arten an; alleine auf 4 Aufnahmeflächen wurden 57 neue Arten gefunden, zahlreiche davon sind die gewollten auentypischen Arten. Die ehemals dichte Baum- und Strauchschicht (Lang et al., 2011) starb teilweise komplett ab.

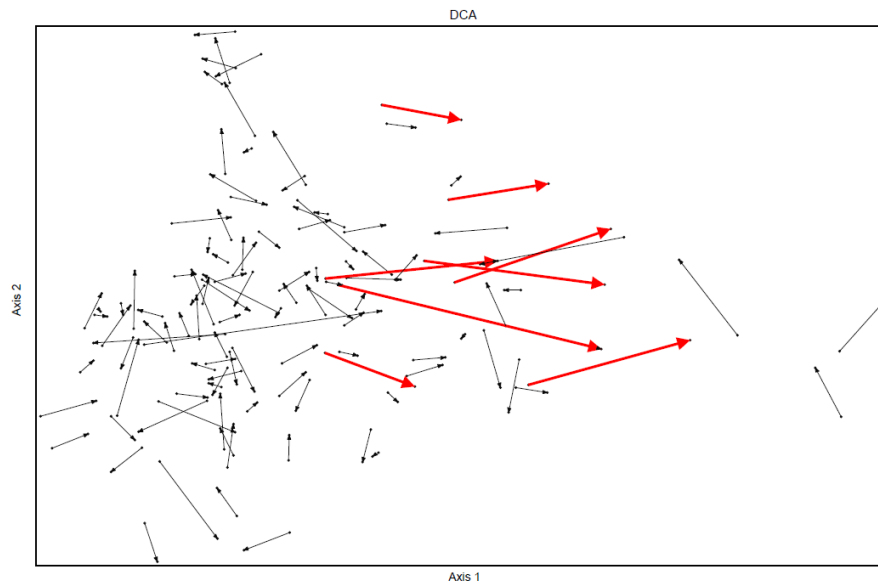


Abb. 7 Trendbereinigte Korrespondenzanalyse (DCA) der 117 Wald-Vegetationsaufnahmen im gesamten Projektgebiet. Die Pfeile verbinden jeweils dieselben Aufnahmen von 2008 und 2012, lange Pfeile bedeuten dabei eine große Veränderung. Die roten Pfeile markieren die durch die Maßnahmen neu gefluteten Flächen in den Abschnitten 3 und 4.

Die drei Abschnitte machen deutlich, dass eine ökologisch optimierte Steuerung neben den zahlreichen Lebensraumtypen (hier wurden nur zwei betrachtet) auch die unterschiedlichen Ausgangsbedingungen des Gebiets und die Wirkung der verschiedenen Maßnahmen beachten muss. Ein weiterer wichtiger Aspekt, der nicht außer Acht gelassen werden darf, ist die zeitliche Dimension. So wird sich in Abschnitt 2, nach einer Phase der erhöhten Morphodynamik, wahrscheinlich ein weniger störungsreiches Gleichgewicht einstellen, das dann die Etablierung autotypischer Lebensräume ermöglichen kann. Dagegen konnten sich in Abschnitt 3 Zielarten, durch das Absterben der nicht angepassten Baumarten, etablieren. Wird die Störung durch die hydrologische Dynamik in Zukunft stark genug sein, dass es weiterhin zur Verjüngung der Weichholzauevegetation kommt (Abb. 8)?

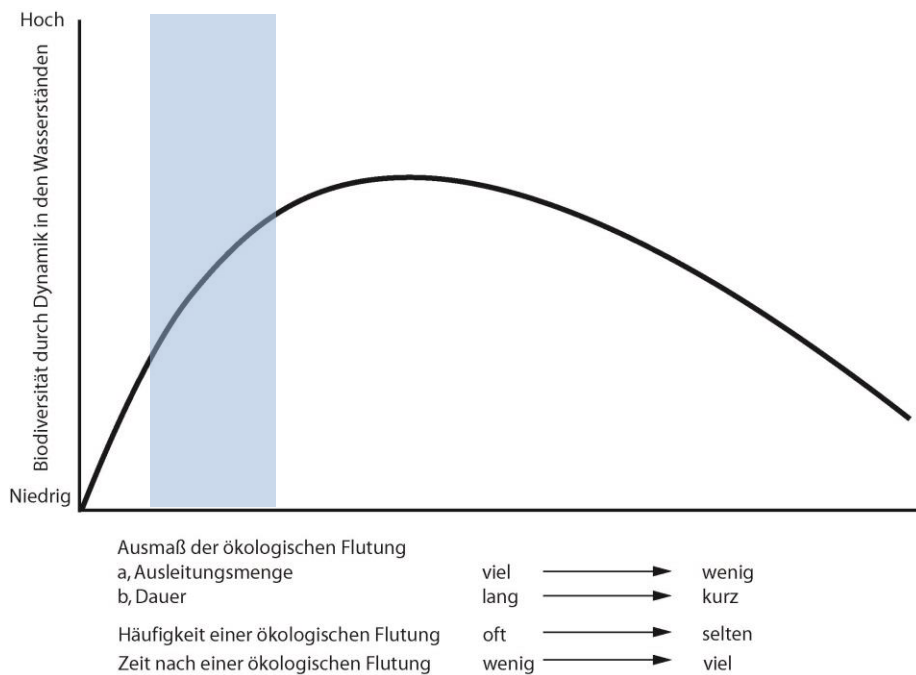


Abb. 8 Biodiversität durch Störung. Ausprägung und Charakter der ökologischen Flutung bestimmt die Artenvielfalt der Aue (nach Connell, 1978, verändert). Im blau hinterlegten Bereich scheint eine nachhaltige Etablierung von Weichholzauen und Wechselwasserzonen wahrscheinlich.

Es wird deutlich, dass die Grundlage einer ökologisch optimalen Steuerung die intensive Beobachtung der Prozesse und der Reaktion der Zielarten ist. Dabei reicht es nicht, diese Beobachtung über wenige Jahre zu führen. Das Monitoring muss in solch dynamischen Systemen langfristig sein. Eine Rückkopplung der Steuerung muss auf der Grundlage dieser Ergebnisse stattfinden.

5 Schlussfolgerung

Die Grundvoraussetzungen für eine eigenständige Entwicklung des neu angelegten Fließgewässers sind durch die technischen Maßnahmen in den Donauauen geschaffen worden. An vielen Standorten konnten damit auch auentypische Prozesse und Abflussvariationen initiiert werden. Diese führten bisher nur in geringem Umfang zur Ausbildung der gewünschten Wasserwechselzonen. Ob sich in diesem Bereich dauerhaft Weichholzauen und Zweizahnfluren einstellen werden, bleibt abzuwarten und hängt von der weiteren, beständigen Dynamik ab. Diese ist durch den Planfeststellungsbescheid nicht von einem natürlichen Abflussereignis abhängig, sondern von dem durch die Stauhaltungen gesteuerten Abfluss in der Donau. Insofern müssen zwei gesteuerte Maßnahmen dauerhaft positiv (im Sinne der Auedynamik) aufeinander abgestimmt werden, damit sich langfristig der gewünschte Erfolg im Bereich der Vegetation und damit der auentypischen Lebensräume einstellt.

6 Danksagung

Das E+E-Vorhaben wird vom Bundesamt für Naturschutz mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gefördert. Das Monitoring wird auch noch für knapp eineinhalb Jahre bis Mitte 2014 weiter unterstützt. Herzlichen Dank dafür. Weiterer Dank gilt dem Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt für die stets gewährte Unterstützung.

Literatur

Bunn, S.E. & Arthington, A.H (2002). Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management* 30, pp. 492-507.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2007). Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt, Berlin

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) & Bundesamt für Naturschutz (BfN) (Hrsg.) (2009). Auenzustandsbericht – Flussauen in Deutschland. Berlin, Bonn. 35 S. http://www.bfn.de/0324_auenzustandsbericht.html

Cyffka, B. & Haas, F. (2008). Erosion without sediment supply? The crux of a floodplain restoration project downstream dammed-up headwaters. *Sediment Dynamics in Changing Environments*. IAHS Publ. 325, pp. 477-484.

Connell, J.H. (1978): Diversity in Tropical Rain Forests and Coral Reefs, *Science* Vol. 199, No.4335

Ellenberg, H. & Leuscher, C. (2010). *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. Stuttgart: UTB Ulmer.

Fischer, P., & Cyffka, B. (2013). Ökologie und Wasserkraftnutzung – Monitoring von Renaturierungsmaßnahmen zwischen zwei Staustufen. In: Weingartner, R. (Hrsg): *Wasserressourcen im globalen Wandel*, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung (in prep.)

Fischer, P., Haas, F., & Cyffka, B. (2012). Driving forces in a floodplain restoration project - interaction between surface water, groundwater and morphodynamic processes during an ecological flooding. *Erosion & Sediment Yields in the Changing Environment*. IAHS Publ. 356, pp. 146-154.

Jürging, P. & Patt, H. (Hrsg.) (2005). *Fließgewässer und Auenentwicklung, Grundlagen und Erfahrungen*, Berlin

Lang, P., Frei, M. & Ewald, J. (2011). Waldgesellschaften und Standortabhängigkeit der Vegetation vor Beginn der Redynamisierung der Donauauen zwischen Neuburg und Ingolstadt, *Tuexenia* 31, pp. 39–57.

Mosner, E., Leyer, I., Schneider, S., Lehmann, B., Galonska, H. (2010). *Praxisleitfaden zur Weichholzauen-Etablierung an Bundeswasserstraßen - Ein Beitrag zum naturverträglichen Hochwasserschutz*. http://iwk.iwg.kit.edu/download/Abschlussbericht_KoWeB.pdf

Schiemer, F., Baumgartner, C. und Tockner, K. (1999). Restoration of floodplain rivers: The 'Danube restoration project'. *Regulated Rivers. Research and Management* 15, pp. 231–244.

Schlegel GMBH (2000). Renaturierung der Donau-Auen. Auswertung der Grundwassermessdaten. unveröff. Gutachten, München.

Stammel, B., Cyffka, B., Geist, J., Müller, M., Pander, J., Blasch, G., Fischer, P., Gruppe, A., Haas, F., Kilg, M., Lang, P., Schopf, R., Schwab, A., Utschik, H. & Weissbrod, M. (2012). Floodplain restoration on the Upper Danube (Germany) by re-establishing back water and sediment dynamics: a scientific monitoring as part of the implementation. *River Systems* 20, pp. 55-70.

Van Geest, G.J., Wolters, H., Roozen, F.C.J.M., Coops, H., Roijackers, R.M.M., Buijse, A.D., Scheffer, M. (2005). Water-level fluctuations affect macrophyte richness in floodplain lakes. *Hydrobiologia* 539, pp. 239-248.

Anschrift des Verfassers

Prof. Dr. Bernd Cyffka
Leiter des Aueninstituts Neuburg a.d. Donau
Professur für Angewandte Physische Geographie
Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt
Ostenstr. 18
85072 Eichstätt
E-mail: bernd.cyffka@ku.de