

# Geomorphologie, Ökologie und nachhaltiges Management einer Wildflusslandschaft am Beispiel des Fiume Tagliamento (Friaul, Italien) - ein Modellökosystem für den Alpenraum und ein Testfall für die EU-Wasserrahmenrichtlinie

von *Klement Tockner, Nicola Surian und Nicoletta Toniutti*

*Keywords: Referenzökosystem, Biodiversität, Alpenkonvention, Hochwasserschutz, EU-Wasserrahmenrichtlinie*

Bereits auf Satellitenaufnahmen Mitteleuropas erkennt man das ausgedehnte Schotterband des Tagliamento, und man erahnt dessen zentrale Rolle als Vernetzungskorridor zwischen Alpen- und Mittelmeerraum. Der Tagliamento ist der letzte Alpenfluss, der heutzutage noch jene Eigenschaften aufweist, die ursprünglich für die Flüsse im Alpenraum charaktergebend waren: ein ausgedehntes Schotterbett mit verzweigten Gerinnen, ein mächtiger alluvialer Grundwasserkörper, massenhaft Totholz und Inselbildungen in allen Entwicklungsstadien. Am Tagliamento kann man buchstäblich zum Zeugen einer dynamischen Landschaftsentwicklung werden. Bei jedem Hochwasser verändert sich die Gestalt des Flussbettes; Inseln, Tümpel und freie Schotterflächen werden neu geschaffen. Es entsteht ein komplexes Mosaik an Lebensräumen, welches erst die grosse Vielfalt aquatischer, amphibischer und terrestrischer Organismen, die natürliche Flüsse kennzeichnen, ermöglicht. Es steht ausser Frage: der Tagliamento ist ein wesentliches Referenz- und Modellökosystem für den gesamten Alpenraum. An ihm lässt sich noch erkennen, wie die meisten Alpenflüsse vor etwa 100 bis 150 Jahren ausgesehen haben. Diese einmalige Landschaft ist aber durch überdimensionierte Hochwasserschutzmassnahmen und durch die fortschreitende Umwandlung von Natur- in Industrieland gefährdet. Am Tagliamento wird sich zeigen, wie ernst es mit nachhaltigem Alpen- und Gewässerschutz in Europa steht.<sup>1</sup>

## 1. Der Tagliamento: Ein Freiluftforschungslabor im Alpenraum

Der Tagliamento bildet das kulturelle und landschaftliche Rückgrat der Region Friaul-Julisch Venetien. Er verbindet über seine Länge von 170 km den Alpen- mit dem Mittelmeerraum, und sein Korridor bildet eine wesentliche Migrationsachse für Flora und

Fauna. Der 150 km<sup>2</sup> grosse Korridor, morphologisch noch über weite Abschnitte intakt, macht den Tagliamento zu einer europaweit einzigartigen und eindrucksvollen Flusslandschaft (Abbildung 1). Zum Vergleich: der Nationalpark Donauauen in Österreich misst 93 km<sup>2</sup>, der Schweizerische Nationalpark 169 km<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> In den Jahrbüchern 1995 und 1996 des Vereins zum Schutz der Bergwelt erschienen zum Tagliamento schon folgende grundlegende Artikel: LIPPERT, Wolfgang; MÜLLER, Norbert; ROSSEL, Susanne; SCHAUER, Thomas und VETTER, Gaby (1995): Der Tagliamento – Flussmorphologie und Auenvegetation der größten Wildflusslandschaft in den Alpen. Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt, 60. Jg., S. 11-70, München.  
KUHN, Klaus (1995): Beobachtungen zu einigen Tiergruppen am Tagliamento. Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt, 60. Jg., S. 70-86, München.  
KRETSCHMER, Walter (1996): Hydrobiologische Untersuchungen am Tagliamento (Friaul, Italien). Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt, 61. Jg., S. 123-144, München.

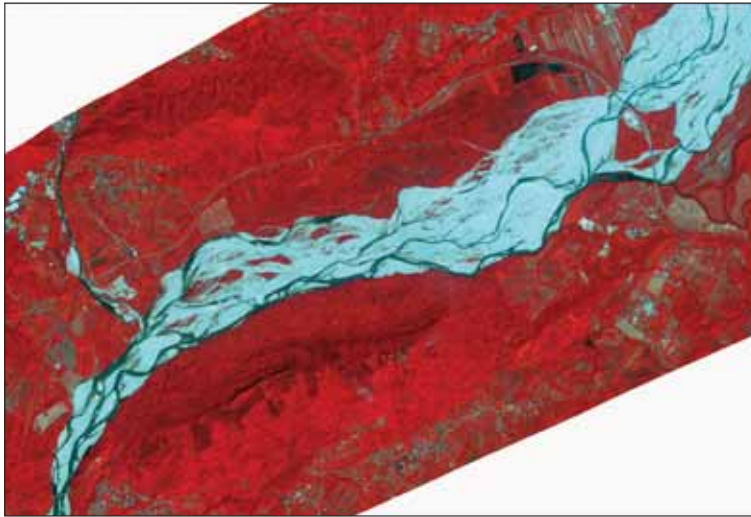


Abbildung 1: Satellitenaufnahme des Tagliamento im verzweigten Mittellauf (Mai 2005; Quickbird; Bearbeitung: Flathead Biological Station, Universität Montana). Der Tagliamento fließt von rechts nach links. Deutlich erkennbar sind die Einmündung des Arzino, die gehölztragenden Inseln, die Brücke bei Cornino und die Engstelle bei Pinzano (linker Rand). Flussbreite: bis 1 km.

Durch seine ausgeprägten Abflussschwankungen und Sedimentumlagerungen schafft der Tagliamento kontinuierlich neuen Lebensraum für artenreiche, aber auch bedrohte Pionierlebensgemeinschaften. Inseln und freie Schotterflächen zählen heutzutage zu den am meisten gefährdeten Habitattypen in ganz Europa

Tabelle 1: Allgemeine Charakterisierung des Flusskorridors des Tagliamento (nach Ward et al. 1999, Gurnell et al. 2000 und Tockner et al. 2003)

Fläche des aktiven Korridors	61.7 km <sup>2</sup>
Schotter (ohne Gewässer)	38.7 km <sup>2</sup>
Inselfläche	10.6 km <sup>2</sup>
Gewässer	12.4 km <sup>2</sup>
Auenwald <sup>1</sup>	32.0 km <sup>2</sup>
Gesamtkorridor <sup>2</sup>	≥ 150 km <sup>2</sup>
Anzahl der Schotterbänke	950
Anzahl an Inseln <sup>3</sup>	652
Länge des Vegetationsrandes	
(Gehölz-Aktives Flussbett) <sup>4</sup>	670 km
Uferlänge (Wasser-Land)	940 km

<sup>1</sup> Seitlich angrenzender Auenwald, der periodisch durch die Dynamik des aktiven Flussbettes umgelagert wird (Gurnell et al., 2000a).

<sup>2</sup> Der Gesamtkorridor umfasst die aktive Aue, den angrenzenden Auenwald, und die topographisch flachen Bereiche entlang des Flusses, die ursprünglich überflutet wurden (bis zu einer maximalen Breite von 2 km).

<sup>3</sup> Gehölz tragende Inseln > 0.01 ha.

<sup>4</sup> Inklusive des Perimeters der Inseln und der Grenzlinie zwischen Auenwald und aktivem Flussbett (Ward et al. 1999).

(Tabelle 1). Am Tagliamento kann man buchstäblich zum Zeugen einer dynamischen Landschaftsentwicklung werden. Die abrupten Verlagerungen der Gerinne, die Bildung und das Wiederverschwinden von Inseln und Tümpeln und die Rolle des Totholzes als Nukleus für die Habitatvielfalt lassen sich hier unmittelbar vor Ort beobachten – und zwar grossräumig. Am Tagliamento kann man die ökologischen Zusammenhänge einer Flusslandschaft unter weitgehend natürlichen Bedingungen untersuchen – noch - muss man leider hinzufügen. Mehr denn je ist der Tagliamento heutzutage durch die fortschreitenden Verbauungen, durch die Umwandlung von Auen-

in Industrieland, durch die Veränderungen der Hydrologie und der Landnutzung im Einzugsgebiet und insbesondere durch die geplanten Rückhaltebecken im Mittellauf bedroht. Es steht ausser Frage, dass der Tagliamento ein Referenz- und Modellökosystem für den gesamten Alpenraum und daher für Europa darstellt (MÜLLER 1995, WARD et al. 1999, TOCKNER et al. 2003). Daher muss ein nachhaltiger Schutz des Tagliamento höchste Priorität für den Alpen- und den Gewässerschutz in Europa haben.

Im nachfolgenden Artikel bieten wir einen Überblick über die morphologische Entwicklung des Tagliamento. Wir bringen Beispiele, die die komplexen ökologischen Zusammenhänge in einer Wildflusslandschaft aufzeigen, und wir diskutieren den zukünftigen Status dieser einmaligen Flusslandschaft, unter der notwendigen Voraussetzung eines nachhaltigen Hochwasserschutzes.

## 2. Flussmorphologie und historische Entwicklung

### *Flussmorphologie und Gerinnekodynamik*

Der Tagliamento lässt sich morphologisch in vier Abschnitte untergliedern. Der Oberlauf, von der Quelle bis Socchieve, weist die typischen Merkmale eines

Gebirgsflusses auf: grosses Gefälle (0.01% und 0.1%), geringe Gewässerbreite, und sehr grobkörnige Sedimente (Schotter bis Blöcke). Es schliesst ein etwa 90 km langer verzweigter Abschnitt an. Das verzweigte Flussbett ist bis zu 1.5 km breit und wird nur durch die Engstellen bei Invillino, Venzone und Pinzano unterbrochen. Bis zur Engstelle bei Pinzano wird der Fluss durch seine Talflanken gesäumt. Von Pinzano bis S. Paolo fliesst er dann fast uneingeschränkt in seinem mächtigen Alluvium. Das Gefälle beträgt zwischen 0.002% und 0.01% und die Sedimente sind aus Kies und Schotter (Abbildung 2). Ab S. Paolo verändert der Tagliamento rasch seine Gestalt. Innerhalb weniger Kilometer verwandelt er sich von einem verzweigten in einen mäandrierenden Fluss. Die aktive Gewässerbreite verringert sich auf 100-200 m (Abbildung 3). In diesem dritten Abschnitt, der bis Latisana reicht, nimmt das Gefälle rasch ab und die Sedimente werden zunehmend sandig bis tonig. Der vierte Abschnitt, von Latisana bis zur Mündung, entspricht einem eingedämmten Kanal, dem die morphologische Dynamik weitgehend fehlt.

Der 90 km lange verzweigte Abschnitt des Tagliamento ist einzigartig für den gesamten Alpenraum. Die meisten anderen Alpenflüsse haben ihren ursprünglichen Charakter weitgehend eingebüsst (SURIAN AND RINALDI 2003). Neben ausreichender Sedimentfracht, unverbauten Ufern und natürlichem Hochwasserregime, erhalten Vegetation und Totholz den verzweigten Charakter eines Flusses. Gerade Totholz spielt, wie die jüngsten Forschungsergebnisse am Tagliamento zeigen, eine Schlüsselrolle in Gewässern, etwa bei der Bildung



Abbildung 2: Der verzweigte Flussabschnitt, ohne nennenswerte Inselbildungen, flussauf von Cornino. (Foto: N. Surian).



Abbildung 3: Der mäandrierende Charakter des Tagliamento nahe Ronchis (Blick flussaufwärts, Foto: N. Surian).

von Inseln und bei der Schaffung einer Vielfalt aquatischer Lebensräume (GURNELL et al. 2001 und 2005, KARAUS 2005). Trotz lokaler Verbauungen (Buhnen, zurückversetzte Dämme) hat der Tagliamento noch genug Raum, um sich zu verzweigen.

Charakteristisch für verzweigte Gewässer ist eine labile Gerinnemorphologie. Inseln, Schotterbänke, Ge-

rinne und Uferbänke verändern sich stetig neu. Entlang des aktiven Flusslaufes des Tagliamento etwa entstehen nach jedem Hochwasser bis zu 60% aller Gewässer neu, der relative Anteil der einzelnen Habitattypen bleibt jedoch unverändert (ARSCOTT et al. 2002). Das maximale Alter der gehölz tragenden Inseln beträgt 20 Jahre (KOLLMANN et al. 1999). Diese ausgeprägte morphologische Dynamik schafft somit eine Vielfalt an Habitaten, die sich im Alter, in der Größe und in der Form unterscheiden, und erst so Lebensraum für eine vielfältige Fauna und Flora schaffen (VAN DER NAT et al. 2003).

Der Abschnitt zwischen S. Paolo und Latisana ist aus geomorphologischer Sicht erwähnenswert. Der Fluss weist eine noch weitgehend natürliche Dynamik auf, seitliche Ufererosionen, und die Neubildung von Schotterbänken finden noch statt (Abbildung 3). Anhand historischer Analysen errechnet sich über die letzten 200 Jahre eine mittlere jährliche Ufererosionsrate von 6-8 m. An einigen Stellen ist es zu Mäanderdurchbrüchen gekommen. Diese Dynamik wird durch die weit zurückversetzten Schutzdämme und durch die noch weitgehend unverbauten Ufer ermöglicht.

#### Veränderung der Gewässermorphologie während der letzten 200 Jahre

Um die zukünftige Entwicklung der Flussmorphologie vorherzusagen, ist es nötig die rezenten Veränderungen zu verstehen. Ändert ein Fluss etwa seinen Charakter, d.h. seine Breite, sein Gefälle oder seine Sinuosität, so ist das ein Zeichen morphologischer Instabilität. Diese kann natürliche oder anthropogene Ursachen haben. Auch der Tagliamento hat sich in den letzten Jahrhunderten verändert. Anhand historischer Karten, Luftaufnahmen und Gerinnevermessungen lassen sich die morphologischen Veränderungen der letzten beiden Jahrhunderte rekonstruieren (SURIAN 2002 und 2005). Von Pinzano bis S. Paolo hat sich das verzweigte Gewässerbett im Durchschnitt von 1630 m (Anfang des 19. Jahrhunderts) auf 760 m (im Jahre 2001) verengt. Das entspricht einer Abnahme von 53 % (Abbildung 4). Vor etwa 10-15 Jahren ist es aber zu einer Trendumkehr gekommen. In weniger als 10 Jahren (1993 bis 2001) hat sich der Fluss wieder um durchschnittlich 70 m verbreitet. Auch der Verzweigungsgrad, ein Maß für die morphologische Vielfalt

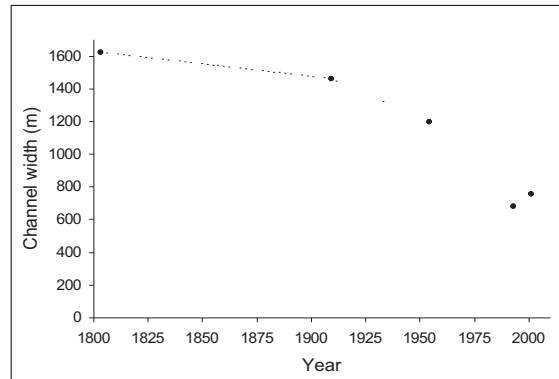


Abbildung 4: Historische Entwicklung der Gewässerbreite (aktives Gerinne) des Tagliamento zwischen Pinzano und S. Paolo.

(Anzahl an Gerinneverästelungen), hat von 9.7 auf derzeit 3.1 abgenommen. Änderungen des Gewässerbettes, welche erst seit etwa 1960 gut dokumentiert sind, finden sich auf den ersten Blick hingegen wenig. Von 1969 bis 1988 hat sich der Tagliamento zwischen der Brücke bei della Delizia bis S. Paolo um durchschnittlich 0.6 m eingetieft. Bei einer Gewässerbreite von fast einem Kilometer entspricht das jedoch einem beträchtlichen Erosionspotential (ca. 800,000 m<sup>3</sup> pro Fluss-Kilometer).

Auch die Übergangszone zwischen verzweigtem und mäandrierendem Flussabschnitt (S. Paolo – Latisana) hat sich verändert. Neben einer Abnahme der Sinuosität, u.a. als Folge rezenter Mäanderabschnürungen, hat sich das Gerinne verengt und eingetieft. Die Breite hat von 580 m zu Beginn des 19. Jahrhunderts auf 200 m (Jahr 2001) abgenommen, und das Flussbett hat sich in den letzten 30 Jahren um bis zu 3 m eingetieft.

Wenngleich diese Veränderungen sich zum Teil durch eine natürliche Gewässerdynamik erklären lassen (Neubildung von Schotterbänken und Flussinseln, Erosion, Gerinneverlegungen, etc.), gibt es auch klare Hinweise auf einen labilen morphologischen Zustand des Tagliamento. Das gilt besonders für die Einengung und die Abnahme des Verzweigungsgrades im Mittellauf (Abschnitt 2) und für die Eintiefung und Abnahme der Sinuosität im Übergangsbereich (Abschnitt 3). Wie lassen sich diese Änderungen erklären? Die wesentlichen Ursachen sind die Errichtung von Buhnen und Leitwerken und die Kiesentnahme. Die meisten Verbauungen wurden bereits im 19. Jahrhundert und



in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts errichtet und hatten einen direkten Effekt auf die Gewässermorphologie, insbesondere auf die Gerinnebreite. Die Schotterentnahme war in den 70er und 80er Jahren des letzten Jahrhunderts besonders intensiv. Mehrere 10 Millionen m<sup>3</sup> Schotter wurden dem Tagliamento und seinen Zuflüssen entnommen, was das Sedimentbudget des Flusses aus dem Gleichgewicht gebracht hat.

Ein Vergleich mit anderen italienischen Flüssen unterstreicht die Bedeutung des Tagliamento. Abbildungen 5 und 6 zeigen die Entwicklung der Gewässerbreite und des Verzweigungsgrades von fünf verzweigten Flüssen Italiens (Tagliamento, Piave, Brenta, Trebbia und Vara) während der letzten 200 Jahre. In allen Flüssen finden wir einen vergleichbaren Trend: massive Ab-

nahme der Gewässerbreite und des Verzweigungsgrades, insbesondere in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts (SURIAN AND RINALDI 2003). Zwei Aspekte sind dabei erwähnenswert. Erstens war die Abnahme der Gewässerbreite seit Beginn des 19. Jahrhunderts bis etwa 1990 im Tagliamento geringer (58%) als in anderen Flüssen (z.B. 69% und 85% für die Piave beziehungsweise die Vara) (Abbildung 5). Zweitens ist der Verzweigungsgrad, trotz einer starken Abnahme, mit einem Index von 3.1 heutzutage deutlich höher als in vergleichbaren Alpenflüssen (Index: etwa 1.5; Abbildung 6). Der Tagliamento hat sich in den letzten beiden Jahrhunderten massiv verändert, trotzdem stellt er bei weitem das beste Beispiel eines verzweigten Flusstypus im gesamten Alpenraum dar.

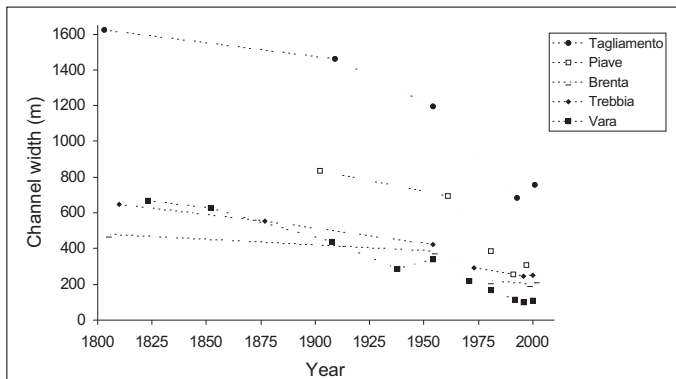


Abbildung 5: Änderung der Gewässerbreite (aktives Gerinne) von fünf verzweigten italienischen Flüssen während der letzten 200 Jahre (nach SURIAN & RINALDI 2004).

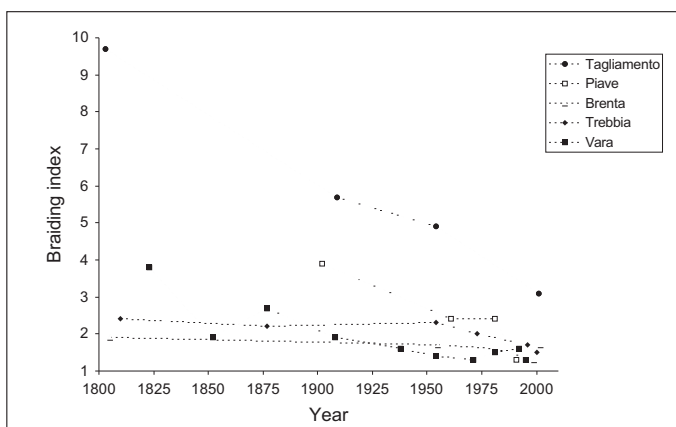


Abbildung 6: Änderung des Verzweigungsindex während der letzten 200 Jahre in fünf ausgewählten italienischen Flüssen (leicht verändert nach SURIAN & RINALDI 2004).

### 3. Leben in einer dynamischen Flusslandschaft

Bäche und Flüsse sind störungsgeprägt, ja störungsabhängige Ökosysteme, deren Lebensgemeinschaften sich im Zustand einer steten Erholung vom letzten Hochwasser, von der letzten Trockenheit oder vom letzten Murengang befinden (PLACHTER 1998; TOCKNER et al., im Druck). Durch diese Störereignisse entsteht ein komplexes Mosaik an Lebensräumen, welches die grosse Vielfalt aquatischer, amphibischer und terrestrischer Organismen erst ermöglicht. Jedes Teileinzugsgebiet, jeder Gewässerabschnitt und jeder Kleinlebensraum besitzt eine individuelle Störungsgeschichte und folglich eine charakteristische Lebensgemeinschaft. Fehlen die natürlichen Störereignisse, führt die gerichtete Sukzession zur Vereinheitlichung des Lebensraums. Am Tagliamento ist dieses Sukzessionsmosaik, man spricht von einem "shifting habitat mosaic", noch großräumig ausgeprägt. Die nötige Fläche, die das langfristige Überleben sichert, wird als "minimales dynamisches Areal" bezeichnet (POIANI et al. 2000). Als Daumenregel wird die 50-fache Ausdehnung der ersten Sukzessionsstadien (unter natürlichen Bedingungen) als Mindestgröße ge-

fordert. Damit wird gewährleistet, dass einerseits die gesamte Bandbreite an Lebensraum vorhanden, und dass andererseits auch bei massiven Störungen (z.B. ein Jahrhunderthochwasser) genügend Raum für eine Rekolonisation verfügbar ist. Das Konzept des "minimalen dynamischen Areal" besagt auch, dass im Naturschutz die Sicherung und Wiederherstellung von natürlichen Störungsregimen von zentraler Bedeutung sind. Anhand der Totholzdynamik, der Bedeutung der Auengewässer für die Gesamtvielfalt aquatischer Evertebraten und anhand der Uferfauna lassen sich diese dynamischen Prozesse am Tagliamento dokumentieren.

### Die Rolle von Totholz in einer dynamischen Flusslandschaft

Die meisten naturnahen Fließgewässer werden von einem Auenwald gesäumt. Durch Ufererosion, Verlagerung der Gerinne oder durch Windeinwirkung werden Auenbäume häufig in den aktiven Korridor eingetragen. Im Rahmen der ordnungsgemäßen Gewässerunterhaltung wird dieses Totholz aber praktisch vollständig und zum frühestmöglichen Zeitpunkt wieder aus den Flüssen entfernt. Damit wird ihnen ein zentrales Gestaltungselement genommen. Ergebnisse entlang des Tagliamento zeigen, dass Totholz Voraussetzung für die Bildung vieler aquatischer und terres-

trischer Lebensräume ist und somit den Artenreichtum wesentlich beeinflusst, und zwar vom Einzelhabitat bis hin zum gesamten Flussabschnitt (Abbildung 7). Gerade für die Bildung von Inseln, das sind gehölz tragende Landschaftselemente im aktiven Flusskorridor, ist das Vorhandensein von genügend Totholz Grundvoraussetzung. Ein Vergleich zweier benachbarter verzweigter Flussabschnitte, mit und ohne Inselbildungen, zeigt, dass Inseln den Habitatreichtum und die Biodiversität positiv beeinflussen (Tabelle 2). Neben Totholz ist auch Schwemmgut ein vernachlässigtes Element im ökologischen Haushalt der Fließgewässer. Mit dem Schwemmgut findet nämlich ein in Menge und Qualität spektakulärer Massentransport statt. Samen und Pflanzenteile, aber auch Heuschrecken, Spinnen, Schnecken und Kleinsäuger werden in großer Zahl und teils über lange Distanzen mit dem Schwemmgut flussabwärts getragen. Totholz und Schwemmgut im Gewässer sind somit kostengünstige und effiziente "ökosystemare Ingenieure", die die morphologische und biologische Vielfalt sowie die ökologische Vernetzung maßgeblich fördern. Es ist an der Zeit, diese Leistungen in Anspruch zu nehmen. Eine Änderung der Totholz- und Schwemmgutbewirtschaftung würde die ökologische Integrität vieler Gewässer wesentlich erhöhen.

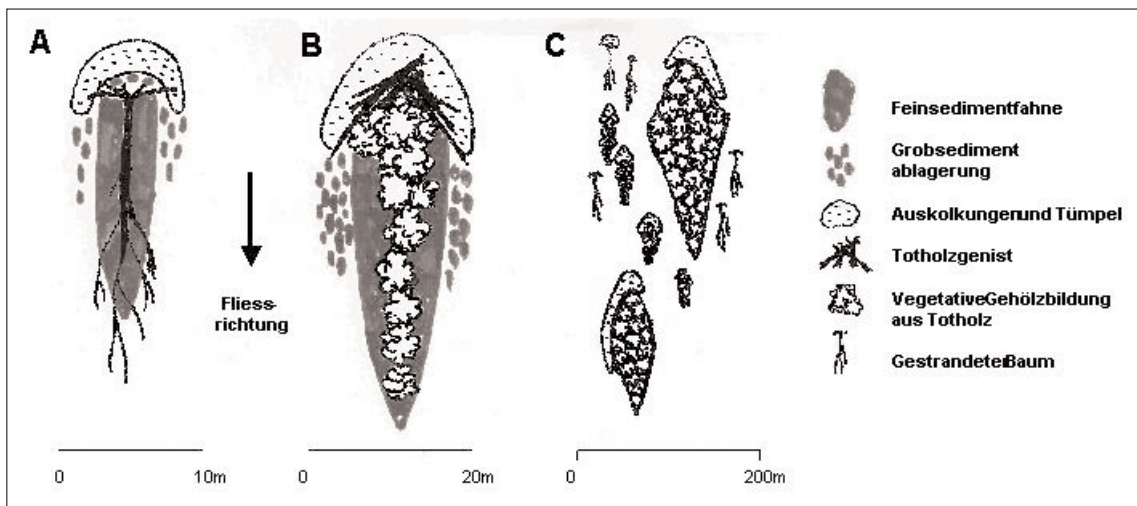


Abbildung 7: Die Rolle des Totholzes für die Habitatvielfalt in einem Flusslauf (nach GURNELL et al. 2005). A. Die Ausbildung von Lebensräumen durch das Stranden eines Baumes. B. Ein gestrandeter Baum, der zu spriessen beginnt und Ablagerung von Feinsedimenten und Totholz. C: Eine Serie gestrandeter Bäume, die Bildung von Inseln unterschiedlicher Größe und Typus und die damit assoziierten aquatischen und terrestrischen Lebensräume. Beachte die unterschiedlichen Skalen.

Tabelle 2: Biokomplexität in verzweigten Abschnitten des Tagliamento mit gehölztragenden Inseln und nur mit Schotterbänken

	Verzweigt mit Schotterbänken	Verzweigt mit Inselbildungen
<b>Abschnittsdimension</b>		
Gefälle (m m <sup>-1</sup> )	0.0035	0.0029
Abschnittslänge (km)	1.4	1.8
Breite der aktiven Aue (km)	1	0.8
<b>Physikalische Eigenschaften</b>		
Totholz (t ha <sup>-1</sup> )	15-73	102-158
Gerinne (Alter, Halbwertszeit; Monate)	4.1	7.7
Aquatische Habitatdiversität (H')	1.6	2.0
Anzahl der Tümpel	7	22
Mittlere Uferlänge (km km <sup>-1</sup> )	13.7	20.9
<b>Artenvielfalt</b>		
Amphibienarten: $\gamma$ -Diversität	5	7
Laufkäferarten: $\gamma$ -Diversität	34	47
Benthische Evertetraten: $\alpha$ -Diversität	30	27
Benthische Evertetraten: $\beta$ -Diversität	10.5	21
Benthische Evertetraten: $\gamma$ -Diversität	50	53

### Die Bedeutung von Kleingewässern für die biologische Vielfalt

Tümpel, Hinterwasser und Inseln zählen zu jenen Landschaftselementen, die als Erstes im Rahmen von Regulierungsmassnahmen verschwinden. Das ist mit ein Grund, warum sie in ökologischen Untersuchungen entlang von Fließgewässern weitgehend fehlen. Eine systematische Untersuchung unterschiedlicher

aquatischer Lebensräume entlang von drei Flusskorridoren im Alpenraum - Rhône und Thur in der Schweiz, Tagliamento in Italien – zeigt deren Bedeutung für die Biodiversität auf (KARAUS 2005). Stillwasserhabitate im aktiven Flusskorridor und Zuflüsse tragen überproportional zur Artenvielfalt bei, und das, obwohl sie nur einen geringen Anteil an der Gesamtgewässerfläche einnehmen (Abbildung 8). Auch für Amphibien sind Tümpel ein wichtiger Lebensraum. Am Tagliamento nutzen fast alle Arten die Gewässer im aktiven Flusslauf zum Laichen, wobei das Vorhandensein von Totholz und die Nähe zu Inseln die jeweilige Diversität und Populationsgrösse positiv beeinflussen. In degradierten Flüssen, wie der Rhone, verlagert sich die Artenvielfalt aus dem aktiven Korridor in die weniger beeinträchtigten Zuflüsse. Diese spielen dann bei der Wiederbesiedelung nach Störereignissen eine wichtige Rolle. Für die Neubildung von Tümpeln und Hinterwassern, aber auch von Inseln, sind ein intaktes Hochwasser- und Geschieberegime, eine natürliche Morphologie und genügend Totholz Voraussetzung. Die Revitalisierung von Fließgewässern kann daher durch die aktive Förderung der Totholzdynamik maßgeblich unterstützt werden.

### Uferbiozöosen in einer dynamischen Flusslandschaft

Fließgewässer sind Grenzlebensräume. Die Vernetzung zwischen Land und Wasser und zwischen Grund- und Oberflächenwasser schafft eine Vielfalt an Ökotonen (Übergangszonen). Gerade die Ausdehnung und Gestalt des Uferökotons (Wasseranschlagslinie) kann als Indikator für die Integrität von Flüssen verwendet werden. In natürlich verzweigten Flüssen, wie dem Tagliamento, beträgt die Uferlänge je Fluss-km bis zu 25 km, und die Verfügbarkeit der ufernahen Lebensräume bleibt trotz stark wechselndem Wasserstand hoch (TOCKNER et al. 2003; TOCKNER & STANFORD 2002). In kanalisierten Abschnitten sinkt die Uferlänge auf 2 km je Fluss-km. Es gibt einen signifikant positiven Zusammenhang zwischen Uferlänge und Artenvielfalt von Jungfischen, Anzahl der Brutpaare von Limnikolen oder dem Retentionsvermögen an organischem Material. Beispielsweise werden im Tagliamento bis zu 22 Brutpaare des Flussregenpfeifers je Flusskilometer beobachtet (REICH 1994). Die

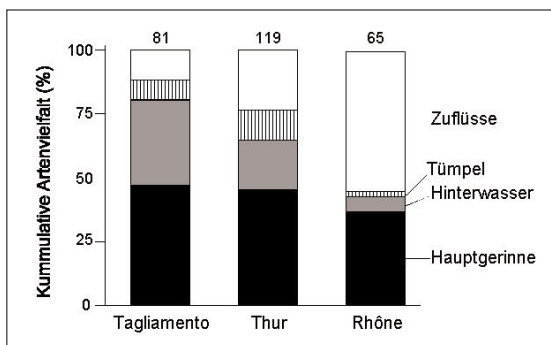


Abbildung 8: Kummulative Artenzahl (%) an Eintagsfliegen, Steinfliegen und Köcherfliegen (EPT-Taxa) entlang dreier Alpenflüsse (Zahl: Gesamtartenzahl). Für Hinterwasser, Tümpel und Zuflüsse (vor der Einmündung) wurden nur jeweils jene Taxa hinzugezählt, die nicht in einem der vorhergehenden Habitate vorgekommen sind (Daten: U. KARAUS & K. TOCKNER, unpubl. und KARAUS 2005).

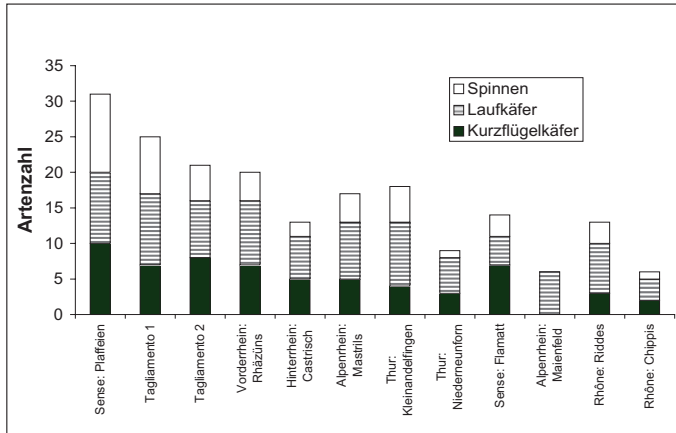


Abbildung 9: Vergleich der terrestrischen Uferfauna (Gesamtartenzahl der Spinnen, Kurzflügel- und Laufkäfer) entlang von 12 Flussabschnitten, die morphologisch und hydrologisch unterschiedlich beeinflusst sind (PAETZOLD 2004). Die beiden Probestellen entlang des Tagliamento sind sowohl morphologisch als auch hydrologisch wenig beeinträchtigt und spiegeln die Bedingungen entlang eines naturnahen Mittellaufes wider.

Uferbereiche können daher als integrative Indikatoren für Flusslandschaften verwendet werden. Sie spiegeln sowohl die Ökologie des terrestrischen und des aquatischen Lebensraumes als auch die vielfältigen Interaktionen zwischen diesen beiden Bereichen wieder.

Die unmittelbaren Gewässerufer beherbergen eine typische Fauna, die an die wechselnden Wasserstände angepasst sind. Am Tagliamento sind etwa ein Drittel der knapp 100 Laufkäferarten, die im Uferbereich vorkommen, als gefährdet eingestuft (TOCKNER et al. 2003). Diese Uferfauna kann daher als sensibler Indikator der ökologischen Integrität von Flusslandschaften verwendet werden (SADLER et al. 2004; SCHATZ et al. 2003; PAETZOLD & TOCKNER 2005; TOCKNER et al., im Druck). Ihre Zusammensetzung erlaubt nicht nur einen Hinweis auf die Lebensraumqualität der unmittelbaren Uferhabitate, sie spiegelt auch die trophische Vernetzung zwischen aquatischen und terrestrischen Ökosystemen wider. PAETZOLD (2005) hat zwölf Flussabschnitte, die morphologisch (kanalisiert) und hydrologisch (Schwallbetrieb) unterschiedlich beeinträchtigt sind, quantitativ auf ihre terrestrische Uferfauna untersucht. Neben Probestellen entlang des Tagliamento wurde eine Reihe weiterer Flusssysteme - angeordnet entlang eines anthropogenen Einflussgradienten (kanalisiert und Schwall beeinflusst) - untersucht (Abb. 9). Die Ergebnisse zeigen,

dass morphologische und hydrologische Veränderungen zu einer signifikanten Abnahme der Uferfauna führen, übrig bleiben nur jene Arten, die eine breite ökologische Valenz aufweisen (z.B. der Laufkäfer *Nebria picicornis* und die Spinne *Pardosa wagleri*).

#### 4. Die Bedeutung des Tagliamento für den Alpenschutz

Die Alpen stellen heute einen dicht besiedelten, stark zergliederten, übernutzten und deshalb sehr bedrohten Lebensraum dar. Im Rahmen der Alpenschutzkonvention verpflichten sich daher die Vertragspartner - dazu zählen alle Anrainerstaaten - zur Erhaltung und zum Schutz der Alpen unter umsichtiger und nachhaltiger Nutzung der Ressourcen. Insbesondere die Gewässer sind durch die vielfältigen menschlichen Nutzungen betroffen. Mehr als 90% der Bäche und Flüsse im Alpenraum sind kanalisiert, eingedolt und hydrologisch verändert. Die letzten unverbauten Abschnitte beschränken sich auf einige Seitenbäche und isolierte Oberläufe. Von allen Flusstypen sind verzweigte Gewässer, die ursprünglich ein charaktergebendes Landschaftselement im Übergangsbereich der Alpen zum Mittel- und Tiefland darstellten, am meisten bedroht. Sie sind fast vollständig aus unserem Landschaftsbild verschwunden und mit ihnen auch eine hoch spezialisierte Fauna und Flora. Es werden zwar heutzutage große Anstrengungen unternommen, um die Gewässer wieder zu revitalisieren - alleine in der Schweiz sind 22,600 Flusskilometer als revitalisierungswürdig ausgewiesen - es fehlt jedoch an einem Alpen übergreifenden Schutz- und Revitalisierungsprogramm. Der Tagliamento stellt aufgrund seiner Ausdehnung und seiner Funktion als Vernetzungskorridor ein Schlüsselökosystem im gesamten Alpenraum dar. An ihm lassen sich noch die Funktionsweisen eines dynamischen Lebensraumes unter naturnahen Bedingungen untersuchen, eine Voraussetzung für ein erfolgreiches nachhaltiges Management unserer Fließgewässer.



## 5. Nachhaltiger Hochwasserschutz als Herausforderung

### *Hochwasserschutzmassnahmen im Süden Friauls*

Das Jahrhunderthochwasser von 1966 (Spitzenabfluss: 4000-4500 m<sup>3</sup>/sec bei Latisana) betraf 54 Gemeinden, kostete 14 Personen das Leben und 5000 Personen wurden obdachlos. Nach dieser Naturkatastrophe wurde mit der Planung umfangreicher Schutzmassnahmen begonnen. Fast vierzig Jahre danach wurde der "Plan für den Hochwasserschutz des mittleren und unteren Tagliamento", der den Bau von großflächigen Retentionsmassnahmen im mittleren Teil des Flusses vorsieht, fertig gestellt. Dieser Plan wurde von der zuständigen Wasserbehörde in Venedig erarbeitet und mit Erlass des Ministerpräsidenten vom 28. August 2000 genehmigt. Die Massnahmen betreffen einen gemäß der FFH-Richtlinie 92/43/EG (Fauna-Flora-Habitat Richtlinie) natürlichen Lebensraum von gemeinschaftlichem Interesse (Greto del Tagliamento, MÜLLER 2005)<sup>2</sup>. Die Rückhaltebecken sollen dem Schutz der Bevölkerung etwa 50 km flussab dienen. Neben dem Bau von Hochwasserrückhaltebecken, die den Abfluss eines 100-jährigen Hochwassers von 4600 m<sup>3</sup>/sec auf 4000 m<sup>3</sup>/sec reduzieren sollen, sind Uferverstärkungen im Unterlauf und der Ausbau eines bereits vorhandenen natürlichen Entlastungsgerinnes bei Cesarola, südlich von Latisana, geplant. (AUTORITA' DI BACINO DEI FIUMI ISONCO, TAGLIAMENTO, LIVENZA, PIAVE, BRENTA-BACCHIGLIONE 1997):

Das im Rahmen eines Wettbewerbes ausgewählte Vorprojekt<sup>3</sup> - die geplanten Gesamtkosten des Projektes belaufen sich auf mindestens 77 Millionen Euro - sieht folgende Massnahmen im Mittellauf des Tagliamento vor<sup>4</sup>:

- Vier Sammelbecken etwa 0,5 km flussauf der Einengung bei Pinzano mit jeweils 45 m Länge,

10 m innerer Breite, und weitere 2 m, die über das Bemessungshochwasser reichen.

- Ableitungstunnel, der das Wasser aus den Sammelbecken in das erste Rückhaltebecken leitet (Durchmesser 11 m, Länge ca. 1500 m)
- Rückhaltebecken I (Fläche: 240 ha, Volumen: 12 X 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) begleitet von einem 7-9 m hohen und 4 km langem Schutzdeich. Das Gelände soll um 5 m eingetieft werden. Ein Kanal verbindet das erste mit dem zweiten Becken.
- Rückhaltebecken II (Fläche: 430 ha, Volumen: 24 X 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) begleitet von einem 3-10 m hohen und 6,5 km langem Schutzdeich.
- Rückhaltebecken III (Fläche 180 ha, Volumen: 5 X 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) mit einem 3,5-7 m hohen und 5,5 km langem Schutzdeich.
- Kanal zur Rückführung des Hochwassers aus den Retentionsbecken in den Tagliamento (ca. 600 m stromaufwärts der Dignano Brücke). Der Kanal wird von 5 m hohen Dämmen gesäumt.
- Fünf Sohlschwellen, jeweils 3 m hoch, um das Bett des Tagliamento zwischen Pinzano und Dignano zu stabilisieren.
- Linksufrig eine 2,3 km lange Uferbefestigung.
- Der Bach Gercia und das Gewässer von Valeriano werden in Kanäle verlegt und umgeleitet.

Die Dämme sind terrassenförmig aufgebaut, die Breite an der Basis beträgt bis zu 40 m. Die 8 m tiefen Spuntwände sollen den Durchtritt an Qualmwasser verhindern.

### *Integrierter Hochwasserschutz nach der Richtlinie 2000/60/EG (Wasserrahmenrichtlinie)*

Die Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des EU-Rates vom 23. Oktober 2000 (EUROPÄISCHES PARLAMENT 2000), die den Rahmen für die zukünftige Wasserpolitik der Gemeinschaft vorgibt, hat als Ziel eine "Verschlechterung des Zustands aller Oberflächengewässer (Art. 4.1.ai)" zu verhindern; und zwar unbeschadet der Möglichkeit der Abweichung, falls "das Nichtverhindern einer Verschlechterung von einem sehr guten zu einem guten Zustand eines Oberflächenwasserkörpers die Folge einer neuen nachhaltigen Entwicklungstätigkeit des Menschen"<sup>5</sup> ist. Zu den nachhaltigen Hochwasser-

<sup>2</sup> Cod. IT3310007, betrifft die Gemeinden Pinzano al Tagliamento, Spilimbergo, San Daniele del Friuli, Ragogna und Dignano.

<sup>3</sup> Vorprojekt der vorläufig assoziierten Unternehmen Technital S.p.A., C.Lotti & Associati S.p.A., Aquater S.p.A.

<sup>4</sup> Entnommen dem Vorprojekt Technital S.p.A., C.Lotti & Associati S.p.A., Aquater S.p.A., Zusammenfassender Bericht, September 1999

<sup>5</sup> Art. 4.7

schutzmaßnahmen zählt selbstverständlich auch der Hochwasserschutz. Die Richtlinie sieht die Möglichkeit der Abweichung von den festgelegten Zielen der Wasserrahmenrichtlinie dann vor, wenn es etwa um den unmittelbaren Schutz von Menschenleben geht. Bei geplanten Abweichungen, etwa für den Hochwasserschutz, müssen die folgenden Richtlinien zwingend befolgt werden (WATECO; Arbeitsgruppe 2.6 der Common Implementation Strategy). Die Richtlinien sind (EUROPEAN COMMISSION: WORKING GROUP 2.6 2002):

- 1) Identifikation und Charakterisierung der geplanten Modifikationen/Aktivitäten. Was sind die wesentlichen Merkmale? Was sind die Vorteile? Sind die Hochwasserschutzmassnahmen nachhaltig?
- 2) Umweltverträglichkeit der geplanten Modifikationen/Aktivitäten. Sind negative Auswirkungen zu erwarten?
- 3) Erarbeitung von Kompensationsmaßnahmen, um die negativen Auswirkungen zu dämpfen. Wurden alle Hochwasserschutzmaßnahmen in Betracht gezogen? Wenn ja, was sind die Kosten und die zu erwartenden Auswirkungen?
- 4) Auswirkungen auf weitere Gewässer. Sind signifikante Auswirkungen auf andere Gewässer zu erwarten?
- 5) Bewertung der Gründe für die neu geplanten Modifikationen/Aktivitäten. Rechtfertigt ein übergeordnetes öffentliches Interesse die Modifikationen/Aktivitäten?
- 6) Vergleich der Vorteile der geplanten Hochwasserschutzmassnahmen/Aktivitäten mit den Vorteilen, die durch die Vermeidung der Verschlechterung erreicht werden. Sind die zu erwartenden Vorteile grösser als jene bei Erreichung der Ziele der Wasserrahmenrichtlinie?
- 7) Vergleich von Alternativen, die bei vergleichbarem Erfolg eine geringere Belastung für die Umwelt darstellen.

Dieser Methodenansatz findet sich in den offiziellen Dokumenten der Europäischen Kommission, die sich mit dem Thema Hochwasser befassen. Es wird betont, dass bei der Planung von Hochwasserschutzmaßnahmen die neuesten technischen und wissenschaftlichen Erkenntnisse einzubeziehen und die Auswirkungen zukünftiger Klimaveränderungen zu berücksichtigen sind (ANONYM 2003). Als Grundlage dient die letzte

Fassung der Richtlinien der Vereinten Nationen und der Europäischen Wirtschaftskommission über die nachhaltige Prävention vor Hochwassern ("Best practices on flood prevention, protection and mitigation").

Voraussetzung zur Erfüllung der soeben aufgelisteten sieben Kriterien sind: (i) genaue Kenntnis des Systems (Einzugsgebiet), (ii) Überprüfung vorhandener Schutzgebiete, (iii) der aktive Einbezug aller Betroffenen und (iv) die sorgfältige Analyse aller möglichen und machbaren Alternativen. Am Tagliamento hat der WWF Italien im Rahmen des *WWF European Alpine Programme* (WWF ITALIEN 2004) eine Vorstudie zu Alternativen zu den geplanten Rückhaltebecken im mittleren Teil erstellt. In dieser Studie wird ausdrücklich auf den Mangel an Daten zur Hydrologie, zum Einzugsgebiet und zur Ökologie hingewiesen. In 40 Jahren Planungsarbeit wurde es versäumt, eine vernünftige Datenbasis zu schaffen, das vorhandene Wissen zu nutzen, die Betroffenen in die Planung einzubeziehen, und Alternativen zu erarbeiten. So stellen etwa die neuesten Berechnungen (TODINI 2005) den Nutzen der Retentionsbecken grundsätzlich in Frage. Nach diesen Berechnungen genügt das Entlastungsgerinne südlich von Latisana alleine, um die Stadt und die angrenzenden Gemeinden gegen ein 100-jähriges Hochwasser zu schützen.

## 6. Ausblick

Vierzig Jahre Hochwasserschutzplanung entlang des Tagliamento sind seither verstrichen. Es wurde während dieser Zeit versäumt eine grundlegende und ausreichende Datenbasis aufzubauen, das vorhandene Expertenwissen zu nutzen und frühzeitig die betroffenen Parteien und die Bevölkerung in die Planung einzubeziehen. Jetzt steht man vor dem fast unlösbaren Problem wie man, ohne großen Gesichtsverlust, ein unausgereiftes und einseitig ausgerichtetes Projekt zum Stillstand bringt. Es wird großen Mut seitens der Politik und das Engagement der Öffentlichkeit benötigen, um diesen gordischen Knoten zu zerschlagen, und somit den vermeintlichen Widerspruch zwischen Natur- und Menschenschutz zu korrigieren. Am Tagliamento wird sich weisen, wie ernst es um unseren Alpenschutz, um die Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie sowie um die weitere Umsetzung von NATURA 2000 steht (der für jedes gemeldete FFH-Gebiet erforder-

liche Managementplan (gemäß Art. 6 (1) der FFH-Richtlinie) fehlt bisher für den Tagliamentobereich). Gefordert sind besonders auch die internationalen Organisatoren, wie CIPRA, IUCN und die RAMSAR Konvention, die den Alpen- und Gewässerschutz zum Ziel haben. In jedem Fall wird der Tagliamento als Beispiel für den Umgang mit unseren natürlichen Ressourcen im Alpenraum gelten – und es ist zu hoffen, dass er als positives Beispiel dienen wird.

## Schrifttum

- ANONYM (September 2003): Best practices on flood prevention, protection and mitigation, Water Framework Directive Common Implementation Strategy.
- ARSCOTT, D.B., TOCKNER, K. and WARD, J.V. (2002): Geomorphic dynamics along a braided-river corridor in the Alps (Fiume Tagliamento, NE Italy). *Ecosystems* 5: 802-814.
- AUTORITA' DI BACINO DEI FIUMI ISONCO, TAGLIAMENTO, LIVENZA, PIAVE, BRENTA-BACCHIGLIONE (1997): Piano stralcio per la sicurezza idraulica del medio e basso corso del fiume Tagliamento.
- EUROPÄISCHES PARLAMENT UND DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.
- EUROPEAN COMMISSION: WORKING GROUP 2.6 (2002): Economics and the environment. The implementation challenge of the Water Framework Directive. Accompanying documents to the guidance.
- GURNELL A.M., PETTS G.E., HARRIS N., WARD J.V., TOCKNER K., EDWARDS P.J. AND KOLLMANN J. (2000): Large wood retention in river channels: the case of the Fiume Tagliamento. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25, 255-275.
- GURNELL A.M., PETTS G.E., HANNAH D.M., SMITH B.P.G., EDWARDS P.J., KOLLMANN J., WARD J.V. AND TOCKNER K. (2001): Riparian vegetation and island formation along the gravel-bed Fiume Tagliamento, Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 31-62.
- GURNELL A.M., TOCKNER K., EDWARDS P.J. AND PETTS G.E. (2005): Effects of deposited wood on biocomplexity of river corridors. *Frontiers in Ecology and Environment* 3: 377-382.
- KARAUS U. (2005): The contribution of lateral habitats to river corridor biodiversity. Dissertation. ETH Zürich.
- KOLLMANN, J., VIELI, M., EDWARDS, P.E., TOCKNER, K., WARD, J.V. (1999): Interactions between vegetation development and island formation in the Alpine river Tagliamento. *Applied Vegetation Science* 2: 25-36.
- MÜLLER, N. (1995): River dynamics and floodplain vegetation and their alterations due to human impact. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 101: 477-512.
- MÜLLER, N. (2005): Die herausragende Stellung des Tagliamento (Friaul, Italien) im Europäischen Schutzgebietssystem NATURA 2000; in diesem Jahrbuch.
- PAETZOLD, A. (2005) Life at the edge: Aquatic-terrestrial interactions along river corridors. Dissertation. ETH Zürich.
- PAETZOLD, A. AND TOCKNER, K. (2005): Effects of riparian arthropod predation on the biomass and abundance of aquatic insect emergence. *Journal North American Benthological Society* 24: 395-402.
- PLACHTER, H. (1998): Die Auen alpiner Wildflüsse als Modelle störungsgeprägter ökologischer Systeme. *Schr.-R. f. Landschaftspf. U. Natursch.* 56: 21-66.
- POIANI, K.A., RICHTER, B.D., ANDERSON, M.G. & RICHTER, H.E. (2000): Biodiversity conservation at multiple scales: functional sites, landscapes, and networks. *BioScience* 50: 133-146.
- REICH, M. (1994): Kies- und schotterreiche Wildflusslandschaften – primäre Lebensräume des Flussregenpfeifers (*Charadrius dubius*). *Vogel u. Umwelt* 8: 43-52.
- SADLER J.P., BELL D. & FOWLES A. (2004): The hydroecological controls and conservation value of

beetles on exposed riverine sediments in England and Wales. *Biological Conservation* 118: 41-56.

SCHATZ I., STEINBERGER K.-H. & KOPF T. (2003): Auswirkungen des Schwellbetriebes auf uferbewohnende Arthropoden (Aranei; Insecta: Coleoptera: Carabidae, Staphylinidae) am Inn im Vergleich zum Lech (Tirol, Österreich). Pages 344. In Füreder L. editor. *Ökologie und Wasserkraftnutzung*. Amt der Tiroler Landesregierung, Innsbruck.

SURIAN N. (2002): Utilizzo di cartografia storica nello studio della dinamica fluviale. *Proceedings 6a Conferenza Nazionale ASITA*, Perugia, 5-8 Nov., vol. 2, 1925-1930.

SURIAN N. (2005): Effects of human impact on braided river morphology: examples from Northern Italy. In: Sambrook Smith G. H., Best J. L., Bristow C. & Petts, G. E. (eds.), *Braided Rivers*, IAS Special Publication, Blackwell Science. (in press).

SURIAN N. AND RINALDI M. (2003): Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy. *Geomorphology*, 50, 307-326.

SURIAN N. AND RINALDI M. (2004): Channel adjustments in response to human alteration of sediment fluxes: examples from Italian rivers. In: Golosov V., Belyaev V. and Walling D.E. (eds.), *Sediment transfer through the fluvial system*, IAHS Publ. 288, 276-282.

TECHNITAL S.P.A., LOTTI, ASSOCIATI S.P.A. & AQUATER S.P.A. (1999): Offerta per la progettazione esecutiva delle opere di laminazione delle piene nel medio corso del fiume Tagliamento, nonché per l'incarico di direzione dei lavori e responsabile della sicurezza del 1° stralcio funzionale. Progetto preliminare. Relazione di sintesi. Regione Friuli Venezia Giulia.

TOCKNER, K. AND J.A. STANFORD (2002): Riverine flood plains: present state and future trends. *Envir. Conserv.* 29: 308-330.

TOCKNER K., PAETZOLD A., KARAUS U., CLARET C., & ZETTEL J. (2005): Ecology of braided rivers. In Sambrook Smith G.H., Best J.L., Bristow C.S. & Petts G.E. editors. *Braided Rivers - IAS Special Publication*. Blackwell, Oxford. Im Druck.

TOCKNER K., WARD J.V., ARSCOTT D.B., EDWARDS P.J., KOLLMANN J., GURNELL A.M., PETTS G.E., & MAIOLINI B. (2003): The Tagliamento River: A model ecosystem of European importance. *Aquatic Sciences* 65: 239-253.

TODINI, E. (2005): Alcune considerazioni sull'utilità delle previste casse di espansione sul Tagliamento a valle di Pinzano ai fini di una difesa dalle alluvioni di Latisana. Comunicazione per l'audizione in IV Commissione permanente della Regione Friuli Venezia Giulia del 19/5/05. WWF Italia.

VAN DER NAT, D., TOCKNER, K., EDWARDS, P.J., WARD, J.V. AND GURNELL, A.M. (2003): Habitat change in braided rivers (Tagliamento, NE-Italy). *Freshwater Biology* 48: 1799-1812.

WARD, J. V., K. TOCKNER, P. J. EDWARDS, J. KOLLMANN, G. BRETSCHKO, A. M. GURNELL, G. E. PETTS AND B. ROSSARO. (1999): A reference river in the Alps: The Fiume Tagliamento. *Regulated Rivers* 15: 63-75.

WWF ITALIA (2004): Preliminary Study for the identification of valid alternative to the water retention basins to be carried out in the middle reaches of the Tagliamento river, Vol.I Hydraulic, socio-economic and environmental aspects, Vol.II Supplement.

---

Anhang: Bibliographie zum Tagliamento-Projekt der EAWAG (In Zusammenarbeit mit dem Geobotanischen Institut der ETH Zürich, dem King's College, London, und der Universität Birmingham, England)

#### A. Sonderband "Riverine Landscapes"

TOCKNER, K., WARD, J.V., KOLLMANN, J. AND EDWARDS, P.J. (eds, 2002) *Riverine Landscapes*. *Freshwater Biology* 47: 497-907.

#### B. Abgeschlossene Doktorarbeiten

##### 1. Sophie Karrenberg

Titel: *Tree regeneration on the flood plain of an Alpine river* (ETH Zürich, 2002)

KARRENBERG, S. & SUTER, M. 2004. Phenotypic trade-offs in the sexual reproduction of Salicaceae from flood plains. *American Journal of Botany* 90: 749-754.

KARRENBERG, S., BLASER, S., KOLLMANN, J., SPECK, T. & EDWARDS, P.J. 2003. Root anchorage of saplings and cuttings of woody pioneer species in a riparian environment. *Functional Ecology* 17: 170-177.



KARRENBERG, S., KOLLMANN, J., EDWARDS, P.J., GURNELL, A.M. & PETTS, G.E. 2003. Patterns in woody vegetation along the active zone of a near-natural Alpine river. *Basic and Applied Ecology* 4: 157–166.  
 KARRENBERG, S., EDWARDS, P.J. & KOLLMANN, J. 2002. The life history of Salicaceae living in the active zone of flood plains. *Freshwater Biology* 47: 733–748.  
 KARRENBERG, S., KOLLMANN, J. & EDWARDS, P.J. 2002. Pollen vectors and inflorescence morphology in four species of *Salix*. *Plant Systematics and Evolution* 235: 181–188.

## 2. David B. Arscott

**Titel:** *Habitat heterogeneity and aquatic invertebrates along an Alpine floodplain river* (ETH Zürich, 2001)

ARSCOTT, D.B., TOCKNER, K. AND WARD, J.V. 2005. Lateral organization of aquatic invertebrates along the continuum of a braided floodplain river. *Journal North American Benthological Society*. im Druck.  
 ARSCOTT, D.B., K. TOCKNER AND J.V. WARD. 2003. Spatio-temporal patterns of benthic invertebrates along the river continuum of a braided Alpine river. *Arch. Hydrobiol.* 158: 431–460.  
 ARSCOTT, D.B., B. KELLER, K. TOCKNER AND J.V. WARD. 2003. Habitat structure and Trichoptera diversity in 2 headwater flood plains, N.E. Italy. *Int. Rev. of Hydrobiology* 88: 255–273.  
 ARSCOTT, D.B., TOCKNER, K. AND WARD, J.V. 2002. Geomorphic dynamics along a braided-river corridor in the Alps (Fiume Tagliamento, NE Italy). *Ecosystems* 5: 802–814.  
 ARSCOTT, D.B., GLATTHAAR, R., TOCKNER, K. AND WARD, J.V. 2002. Larval black fly distribution and diversity along a braided floodplain river in the Alps (Tagliamento River, Italy). *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 28: 524–531.  
 ARSCOTT, D.B., TOCKNER, K. AND WARD, J.V. 2001. Thermal heterogeneity along a braided floodplain river (Tagliamento River, northeastern Italy). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58: 2359–2373.  
 ARSCOTT, D.B., TOCKNER, K. AND WARD, J.V. 2000. Aquatic habitat structure and diversity along the corridor of an Alpine floodplain river (The Fiume Tagliamento). *Arch. Hydrobiol.* 149: 679–704.

## 3. Dimitry van der Nat (2002)

**Titel:** *Ecosystem processes in the dynamic Tagliamento River* (ETH Zürich, 2002)

VAN DER NAT, D., K. TOCKNER, P.J. EDWARDS, AND J.V. WARD. 2003. Large wood dynamics of complex Alpine river flood plains. *Journal North American Benthological Society*. 22: 35–50.  
 VAN DER NAT, D., TOCKNER, K., EDWARDS, P.J., WARD, J.V. AND GURNELL, A.M. 2003. Habitat change in braided rivers (Tagliamento, NE-Italy). *Freshwater Biology* 48: 1799–1812.  
 VAN DER NAT, D., TOCKNER, K., EDWARDS, P.J. AND WARD, J.V. 2002. Quantification of large woody debris in a large floodplain river: an area-based approach using differential GPS and GIS. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 28: 332–335.  
 VAN DER NAT, D., SCHMIDT, A., TOCKNER, K., EDWARDS, P.J. AND WARD, J.V. 2002. Inundation dynamics in braided floodplains. *Ecosystems* 5: 636–647.

## 4. Ute Karaus (2004)

**Titel:** *Ecology of lateral aquatic habitats along river corridors* (ETH Zürich, 2004)

KARAUS, U., ALDER, L. AND TOCKNER, K. 2005. Concave islands: Diversity and dynamics of parafluvial ponds in a gravel-bed river. *Wetlands*. 25: 26–37.  
 KARAUS, U., GUILLONG, H. & TOCKNER, K. In review. The contribution of lateral habitats to biodiversity along river corridors. *Conservation Biology*.  
 KARAUS, U. & TOCKNER, K. Submitted. The importance of parafluvial ponds for riverine invertebrate diversity: A structural and functional perspective. *Freshwater Biology*.  
 KARAUS, U., BOTTINELLI, L., CLARET, C., SPORKA, F. & TOCKNER, K. Submitted. Hydrologic connectivity and temporal dynamics of benthic invertebrates in a braided river (Tagliamento, NE-Italy). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*.

## 5. Achim Paetzold

**Titel:** *Life at the edge: Aquatic-terrestrial interactions along rivers* (ETH Zürich, 2004)

PAETZOLD, A., SCHUBERT, C. AND TOCKNER, K. 2005. Aquatic-terrestrial linkages along a braided river: Riparian arthropods feeding on aquatic insects. *Ecosystems*. In press.  
 PAETZOLD, A. AND TOCKNER, K. 2005. Effects of riparian arthropod predation on the biomass and abundance of aquatic insect emergence. *Journal North American Benthological Society* 24: 395–402.  
 PAETZOLD, A. BERNET, J. AND TOCKNER, K. (in review). Consumer-specific responses to riverine subsidy in a riparian arthropod assemblage. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*.  
 PAETZOLD, A., YOSHIMURA, C., AND TOCKNER, K. (in review). Interactive effects of flow regulation and river channelization on riparian arthropod diversity and abundance. *Ecological Applications*.  
 PAETZOLD, A., LANGHANS, S.D., SADLER, J.P., FINDLAY, S.E.G. AND TOCKNER, K. (in review). Aquatic-terrestrial interactions along rivers. In *Hydroecology and Ecohydrology: Past, Present and Future*. Edited by P.J. Wood, D.M. Hannah, and J.P. Sadler, Wiley.

## 6. Edith Kaiser

**Titel:** *Sources, transformations, and fates of riverine organic matter* (ETH Zürich, 2002)

KAISER, E., SIMPSON, A. J., DRIA, K. J., SULZBERGER, B. AND HATCHER, P. G. 2003. Solid-state and multidimensional solution-state NMR of solid phase extracted and ultrafiltered riverine dissolved organic matter (DOM). *Environ. Sci. Technol.* 37: 2929–2935.  
 KAISER, E. AND SULZBERGER, B. 2004. Phototransformations of riverine dissolved organic matter in the presence of abundant iron: Effect on DOM bioavailability. *Limnol. Oceanogr.* 49(2): 540–554.  
 KAISER, E., ARSCOTT, D. B., TOCKNER, K. AND SULZBERGER, B. 2004. Sources and distribution of organic carbon and nitrogen in the Tagliamento River, Italy. *Aquatic Sciences* 66: 103–116.

KAISER, E., MAVROCORDATOS, D. EGLI, K. AND SULZBERGER, B. Bacterial life strategies in an oligotrophic riverine environment. in prep. for Microbial Ecology.  
KAISER, E., DRIA, K.J., HATCHER, P.G., FRIMMEL, F.-H. AND SULZBERGER, B. Chemical and molecular characteristics and bioreactivity of riverine dissolved organic matter (DOM). in prep. for Geochim. Cosmochim. Acta.

#### C. Weitere referierte Publikationen

CLARET, C., WARD, J.V. AND TOCKNER, K. 2002. Temperature heterogeneity of interstitial water in island-associated water bodies of a dynamic flood plain. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 28: 345-351.  
EDWARDS, P.J., KOLLMANN, J., GURNELL, A.M., PETTS, G.E., TOCKNER, K. AND WARD, J. V. 1999. A conceptual model of vegetation dynamics on gravel bars of a large Alpine river. *Wetlands Ecology and Management* 7: 141-153.  
EDWARDS, P.E., KOLLMANN, J., TOCKNER, K. AND WARD, J.V. 1999. The role of island dynamics in the maintenance of biodiversity in an Alpine river system. *Bulletin of the Geobotanical Institute ETH* 65: 73-86.  
GURNELL, A. M., PETTS, G. E., HARRIS, N., WARD, J. V., TOCKNER, K., EDWARDS, P.J. AND KOLLMANN, J. 2000. Large wood retention in river channels: The case of the Fiume Tagliamento, Italy. *Earth Surface Processes and Landforms* 25: 255-275.  
GURNELL, A.M., PETTS, G.M., HANNAH, D.M., SMITH, B.P.G., EDWARDS, P.J., KOLLMANN, J., WARD, J.V. AND TOCKNER, K. 2000. Wood storage within the active zone of a large European gravel-bed river. *Geomorphology* 34: 55-72.  
GURNELL, A.M., PETTS, G.E., HANNAH, D.M., SMITH, B.P.G., EDWARDS, P.J., KOLLMANN, J., WARD, J.V. AND TOCKNER, K. 2001. Island formation along the gravel-bed Fiume Tagliamento, Italy. *Earth Surface Processes and Landforms* 26: 31-62.  
GURNELL, A.M., TOCKNER, K., EDWARDS, P.J. & PETTS, G.E. 2005. Effects of deposited wood on biocomplexity of river corridors. *Frontiers in Ecology and Environment*. 3:377-382.  
KOLLMANN, J., VIEL, M., EDWARDS, P.E., TOCKNER, K., WARD, J.V. 1999. Interactions between vegetation development and island formation in the Alpine river Tagliamento. *Applied Vegetation Science* 2: 25-36.  
LANGHANS, S.D. AND TOCKNER, K. The role of timing, duration, and frequency of inundation in controlling leaf-litter decomposition in a river-floodplain ecosystem. *Oecologia*. In Press.  
MALARD, F., TOCKNER, K. DOLE-OLIVIER, M.-J. AND J.V. WARD. 2002. A landscape perspective of surface-subsurface hydrological exchanges in river corridors. *Freshwater Biology* 47: 621-640.  
PETTS, G.E., GURNELL, A.M., GERRARD, A.J., HANNAH, D.M., HANSFORD, B., MORRISSEY, I., EDWARDS, P.J., KOLLMANN, J., WARD, J.V., TOCKNER, K. AND SMITH, B.P.G. 2000. Longitudinal variations in exposed riverine sediments: a context for the development of vegetated islands along the Fiume Tagliamento, Italy. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 10: 249-266.  
ROBINSON, C.T., TOCKNER, K. AND WARD, J.V. 2002. The fauna of dynamic riverine landscapes. *Freshwater Biology* 47: 661-677.

TOCKNER, K., MALARD, F. AND WARD, J.V. 2000. An extension of the flood pulse concept. *Hydrological Processes* 14: 2861-2883.  
TOCKNER, K. AND STANFORD, J.A. 2002. Riverine floodplains: present state and future trends: *Environmental Conservation* 29: 308-330.  
TOCKNER, K., WARD, J.V., EDWARDS, P.J. AND KOLLMANN, J. 2002. Riverine landscapes: an introduction. *Freshwater Biology* 47: 497-500.  
TOCKNER, K. et al. 2003. The Tagliamento River: A model ecosystem of European importance. *Aquatic Sciences* 65: 239-253.  
TOCKNER, K., KARAUS, U., PAETZOLD, A., CLARET, C. & ZETTEL, J. 2005. Ecology of braided rivers. IAS Special Publication.  
TOCKNER, K., KLAUS, I., BAUMGARTNER, C. & WARD, J.V. Amphibian diversity and nestedness in a dynamic river ecosystem (Tagliamento, NE-Italy). *Hydrobiologia*. In Press.  
TOCKNER, K., BUNN, S.E., QUINN, G., NAIMANN, R., STANFORD, J.A. AND GORDON, C. Floodplains: Critically threatened ecosystems. In: Polunin, N.C. (eds), *The State of the World's Waters*. Cambridge University Press. In press.  
WARD, J. V., K. TOCKNER, P. J. EDWARDS, J. KOLLMANN, G. BRETSCHKO, A. M. GURNELL, G. E. PETTS AND B. ROSSARO. 1999. A reference river in the Alps: The Fiume Tagliamento. *Regulated Rivers* 15: 63-75.  
WARD, J. V., K. TOCKNER, P. J. EDWARDS, J. KOLLMANN, G. BRETSCHKO, A. M. GURNELL, G. E. PETTS AND B. ROSSARO. 2000. Potential role of island dynamics in river ecosystems. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 27: 2582-2585.  
WARD, J.V., TOCKNER, K., UEHLINGER, U. AND MALARD, F. 2001. Understanding natural patterns and processes in river corridors as the basis for effective river restoration. *Regulated Rivers*: 17: 311-323.  
WARD, J.V. AND TOCKNER, K. 2001. Biodiversity: Toward a unifying theme for river ecology. *Freshwater Biology* 46: 807-819.  
WARD, J.V., ROBINSON, C.R. AND TOCKNER, K. 2002. Applicability of ecological theory to riverine ecosystems. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 28: 443-450.  
WARD, J.V., TOCKNER, K., ARSCOTT, D.B. AND CLARET, C. 2002. Riverine landscape diversity. *Freshwater Biology* 47: 517-539.  
WARD, J.V., F. MALARD AND K. TOCKNER. 2002. Landscape ecology: a framework for integrating pattern and process in river corridors. *Landscape Ecology* 17: 35-45.

#### D. Nicht-referierte Publikationen

ARSCOTT, D.A., TOCKNER, K. AND WARD, J.V. 1999. Natürliche Auendynamik entlang des "Fiume Tagliamento". EAWAG Annual Report.  
BERNET, J., PAETZOLD, A. & TOCKNER, K. 2002. Energetische Kopplung von aquatischen und terrestrischen Lebensgemeinschaften. EAWAG-Annual Report.  
BAUR, H., U. KARAUS AND TOCKNER, K. 2002. Biodiversität entlang der Flüsse Thur, Rhone und Tagliamento. EAWAG-Annual Report.  
KLAUS, I., BAUMGARTNER, C. AND K. TOCKNER 2002. Die Wildflusslandschaft des Tagliamento (Italien, Friaul) als Lebensraum einer artenreichen Amphibiengesellschaft. *Z. Feldherpetologie* 8: 21-30.

ROTACH, A. SCHLÄPFER, D., UEHLINGER, U. AND TOCKNER, K. 2003. Austrocknungsdynamik in einer Flusslandschaft. EAWAG-Annual Report.

TOCKNER, K. 2004. Linking pattern and processes along river corridors. In G.E. Petts & B. Kennedy (eds) Emerging concepts for integrating human and water needs in river basin management. pp.14-20. Birmingham, UK.

TOCKNER, K. AND PETER, A. 2003. Totholz und Schwemmgut: Einführung. Wasser Energie Luft 95: 352.

TOCKNER, K. AND PETER, A. (Eds) 2003. Totholz und Schwemmgut. Wasser Energie Luft 95: 352-374.

TOCKNER, K. AND LANGHANS, S. 2003. Die ökologische Bedeutung des Schwemmgutes. Wasser Energie Luft 95: 353-354.

TOCKNER, K. 2003. Der "König" der Alpenflüsse vor seinem Ende? Natur und Land 89: 28-29.

TOCKNER, K. & TONIUTTI, N. 2003. The Tagliamento River: an ecosystem of European importance. FBA News 22: 6.

TOCKNER, K. 2002. Fiume Tagliamento: Un'eridatá friulana. Pense and Maravee.

TOCKNER, K. AND PETER, A. 2002. Totholz spielt im Ökosystem der Gewässer eine wichtige Rolle. Kommunalmagazin 10/2002: 31.

TOCKNER, K. 2002. Ausgedehnte Wildflusslandschaft durch Hochwasser bedroht. Garten + Landschaft 12: 42.

TOCKNER, K., PAETZOLD, A. AND KARAUS, U. 2002. Leben in der Flusssdynamik zwischen Trockenfallen und Hochwasser. In: Rundgespräche der Kommission für Ökologie Bd. 24. Pfeil, München.

TOCKNER, K., J. V. WARD, P. J. EDWARDS, J. KOLLMANN, A. M. GURNELL AND G. E. PETTS. 2001. Der Tagliamento (Norditalien): Eine Wildflusssau als Modellökosystem für den Alpenraum. Pp. 25-34. Laufener Seminarbeitrag. Bayer. Akad. für Naturschutz und Landschaftspflege, Laufen/Salzach.

TOCKNER, K., LANGHANS, S. AND WARD, J.V. 2001. Schwemmgut in Flüssen: Entsorgungspflichtiger Müll oder wertvolles ökologisches Element. EAWAG Annual Report.

TROTTMANN, N., S.D. LANGHANS & K. TOCKNER. Schwemmgut als Ausbreitungsmedium – das Innenleben eines unterschätzten Naturstoffs. Österreichische Wasserwirtschaft. Im Druck.

VAN DER NAT, D., TOCKNER, K. AND WARD, J.V. 2001. Totholzdynamik in Wildflussauen. EAWAG Annual Report.

#### Adressen der Autoren:

Prof. Dr. Klement Tockner  
EAWAG, Abteilung für Limnologie  
Postfach 611  
CH-8600 Dübendorf  
Tel.: +41 44 823 5616  
[klement.tockner@eawag.ch](mailto:klement.tockner@eawag.ch)

Dr. Nicola Surian  
Universität Padua, Abteilung für Geographie  
Via del Santo 26  
I-35123 Padua  
[nicola.surian@unipd.it](mailto:nicola.surian@unipd.it)

Nicoletta Toniutti  
WWF Italien  
c/o WWF Friuli Venezia Giulia  
Via Parini 11  
I-33100 Udine  
[n.toniutti@wwf.it](mailto:n.toniutti@wwf.it)





# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt](#)

Jahr/Year: 2005

Band/Volume: [70\\_2005](#)

Autor(en)/Author(s): Tockner Klement, Surian Nicola, Toniutti Nicoletta

Artikel/Article: [Geomorphologie, Ökologie und nachhaltiges Management einer Wildflusslandschaft am Beispiel des Fiume Tagliamento \(Friaul, Italien\) - ein Modellökosystem für den Alpenraum und ein Testfall für die EU-Wasserrahmenrichtlinie 3-18](#)