

# Der Tagliamento (Norditalien): Eine Wildflussaue als Modellökosystem für den Alpenraum

Klement TOCKNER, James V. WARD, Peter J. EDWARDS, Johannes KOLLMANN,  
Angela M. GURNELL und Geoffrey E. PETTS

## Gliederung

1. Einleitung
2. Der Tagliamento
3. Der Flusskorridor
4. Auen: Zentren der Biodiversität
5. Inseln: Indikatoren der ökologischen Integrität von Fließgewässern
6. Ein Referenzökosystem von europäischer Bedeutung

## Danksagung

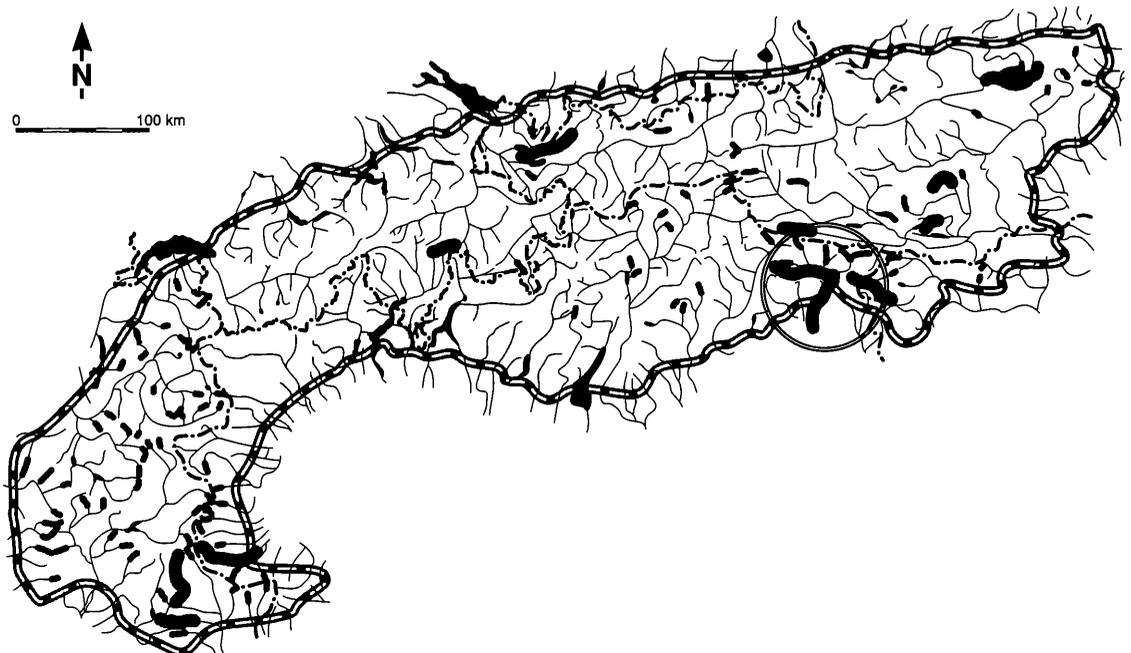
## Literatur

### 1. Einleitung

Nahezu alle Fließgewässer in Europa wurden in den letzten beiden Jahrhunderten vom Menschen grundlegend verändert (PETTS et al. 1989). Im Alpenraum können nur noch 10 % der Fließgewässer als naturnah eingestuft werden, und auch hier handelt es sich in erster Linie um isolierte Bach- und Flussabschnitte in den Oberlaufregionen (MARTI-

NET & 1992; Abb. 1). Insbesondere die ursprünglich ausgedehnten Auen im Mittel- und Unterlauf der Fließgewässer sind dem Flächenbedarf der Landwirtschaft, der Industrie, Siedlungen oder dem Strassenbau geopfert worden. Flussauen sind deshalb in ihrer natürlichen Ausprägung fast vollständig aus unserem Landschaftsbild verschwunden (MUHAR et al. 2000).

In unserem Bemühen, die biologische Vielfalt der mitteleuropäischen Gewässer zu erhalten, ist es jedoch notwendig, jene Gesetzmässigkeiten, die diese Vielfalt schaffen, auch zu verstehen. Hier stoßen wir jedoch an Grenzen, da unsere Kenntnisse über ökologische Zusammenhänge von den jeweils untersuchten Systemen geprägt und deshalb verzerrt sind. So stützen sich allgemeine ökologische Hypothesen in der Fließgewässerforschung zumeist auf Erkenntnisse, die in Gewässern niedriger Ordnungszahl (Oberläufe), in anthropogen veränderten Systemen oder in tropischen Flusssystemen gewonnen wurden. Was fehlt, ist eine bessere Kenntnis der natürlichen Prozesse im gesamten



**Abbildung 1**

**Die letzten naturnahen Fließgewässerabschnitte im Alpenraum** (Inventur CIPRA; MARTINET & DUBOST 1992). Grau schattierter Bereich: lückenhafte Datenlage. Einkreist: Tagliamento-Fluss in Italien.

Flussverlauf; dies ist eine notwendige Voraussetzung um ökologisch sinnvolle „Leitbilder“ für unsere Fließgewässer zu formulieren (WARD 1998, Ward et al. 1999a).

Der „Fiume Tagliamento“ in Italien (Friaul-Julisch Venetien) ist die letzte ausgedehnte Wildflusslandschaft im gesamten Alpenraum, in der flussdynamische Prozesse noch grossräumig ablaufen. Zu Recht wird er als der „König“ der Alpenflüsse bezeichnet (MÜLLER 1995, MÜLLER & CAVALLO 1998). Der ausgedehnte Korridor des Tagliamento verbindet nicht nur Land und Meer sondern auch zwei Biome (Grosslebensräume): die Alpen mit dem Mittelmeerraum. Als einziger Alpenfluss, der bis heute fast auf seiner gesamten Länge sich selbst überlassen blieb, eignet sich der Tagliamento daher im besonderem Masse, aktuelle Fragen zur Struktur und Funktion von natürlichen Ökosystemen zu untersuchen und allgemeine

ökologische Konzepte der Fließgewässerforschung zu überprüfen.

Der Tagliamento weist, wie jüngste Untersuchungen zeigen, eine Reihe an Eigenschaften auf, denen in der Fließgewässerforschung zu wenig Beachtung geschenkt wurde: (i) einen ausgedehnten Korridor, (ii) dynamische Auen entlang des gesamten Flusslaufes und (iii) eine grosse Anzahl an Inseln (LIPPERT et al. 1995, WARD et al. 1999b, im Druck, KOLLMANN et al. 1999, EDWARDS et al. 1999a, GURNELL et al. 2000, 2001, TOCKNER et al. im Druck). Der Tagliamento ist daher ein Referenz- und Modellökosystem von europäischer Bedeutung. Es lassen sich grundlegende ökologische Vorgänge untersuchen, wie die Dynamik von Flussinseln, die Wechselwirkungen zwischen aquatischen und terrestrischen Lebensräumen oder die ökologische Bedeutung von Totholz, die sonst nirgends in diesem Maßstab durchführbar wären.

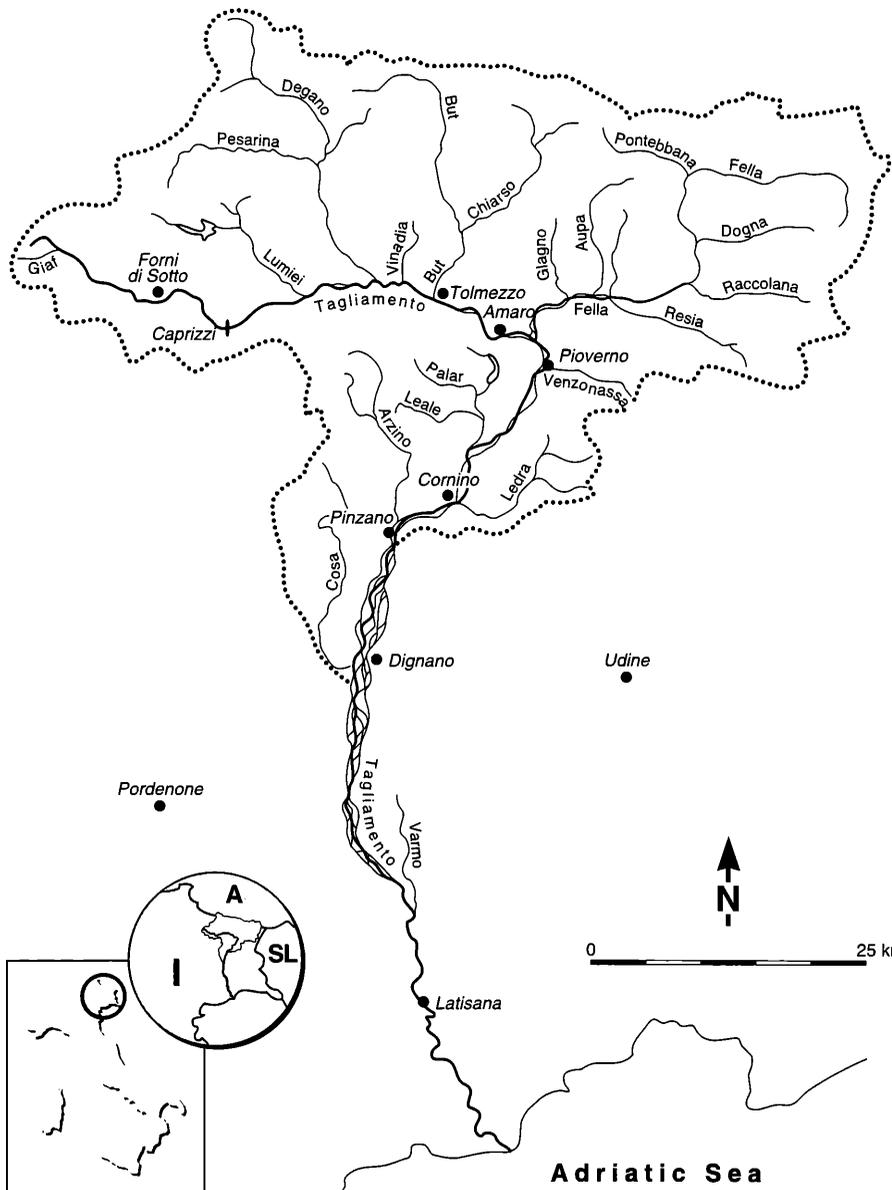
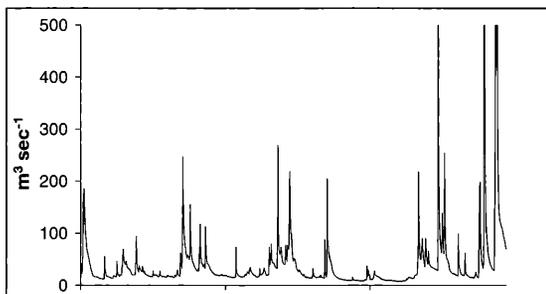


Abbildung 2

Das Einzugsgebiet des Tagliamento, mit Lage der wichtigsten Zuflüsse und Ortschaften (nach WARD et al. 1999b).



**Abbildung 3**

**Mittlerer täglicher Abfluss (1994-1996, m<sup>3</sup>/sec) des Tagliamento bei Piavonno** (Daten: Residenza del Consiglio dei Ministri Ufficio Idrografico e Mareografico di Venezia).

## 2. Der Tagliamento

Der Tagliamento entspringt in den Venezianischen Alpen nahe dem Mauria Pass (1150 m; Abb. 2). Über 70 % des 2580 km<sup>2</sup> grossen Einzugsgebietes liegen in den Südlichen Kalkalpen, mit dem Mt. Coglians als höchster Erhebung (2781 m). Kurz nach dem Zusammenfluss mit der Fella verlässt der Tagliamento den Alpenbogen und breitet sich in die Ebene Friauls aus. Die ausgedehnten Ausschotterungsflächen sind bereits auf Satellitenaufnahmen als weisses Band deutlich erkennbar. Flussab von Dignano wandelt sich der Fluss langsam zu einem mäandrierenden Tieflandfluss. Nach 172 km schliesslich mündet er bei Lignano in die Adria. In seinem Längsverlauf zeigt der Tagliamento eine beinahe modellhafte Abfolge gestreckter, verzweigter und mäandrierender Abschnitte (vgl. Abb. 2). Das Einzugsgebiet ist teilweise tektonisch aktiv und baut sich hauptsächlich aus Kalken, Dolomiten, Schiefen und Flysch aus dem Altpaläozoikum bis zum Trias auf. Die Ebene Friauls besteht aus mächtigen fluvialen und glazialen Schottern, mit

einer durchschnittlichen Porosität von 10 %, die in Meeresnähe von undurchlässigen marinen Sanden und Tonen durchzogen sind (MARTINIS 1993).

Der Tagliamento weist ein pluvio-nivales Abflussregime mit Spitzen im Frühjahr und Herbst auf. Charakteristisch sind auch die ausgeprägten Hochwasser nach Starkregenereignissen (Abb. 3). Das Einzugsgebiet des Tagliamento zählt zu den niederschlagsreichsten Gebieten Europas, mit Jahresmittelwerten von bis zu 3000 mm (z. Bsp. Einzugsgebiet des Resia-Flusses; TOCKNER et al. im Druck). Der mittlere Abfluss bei Piavonno beträgt etwa 90 m<sup>3</sup> sec<sup>-1</sup> (MOSETTI 1983). Beim einjährigen, zweijährigen und 10-jährigen Hochwasser werden dort 1100, 1600 und 2150 m<sup>3</sup> sec<sup>-1</sup> transportiert (MAIONE & MACHNE 1982). Die Spiegelschwankungen im Mittellauf betragen maximal 2 m, im kanalisiertem Unterlauf hingegen über 7 m. In unverbauten Abschnitten dehnt sich der Fluss hauptsächlich in die Breite aus. Diese Expansion und Kontraktion des Gewässernetzes stellt ein wesentliches Merkmal natürlicher Flusssauen dar (TOCKNER et al. 2000).

Im Ober- und Mittellauf wird dem Fluss Wasser für die Energiegewinnung und die Bewässerung entzogen. Flussab vom Wehr bei Caprizzi fällt der Tagliamento bis zur Einmündung des But häufig trocken. Bei Piavonno misst der Gesamtjahresabfluss derzeit nur  $1.3 \pm 0.5 \text{ km}^3$  (1994-1996), das sind 34 % des natürlichen Abflusses vor 60 Jahren ( $3.8 \pm 0.7 \text{ km}^3$ ; 1929-1938). Die bettbildenden Hochwasser sind von diesen massiven hydrologischen Veränderungen jedoch kaum beeinflusst (ASTORI 1993, GURNELL et al. 2000).

## 3. Der Flussskorridor

Der 150 km<sup>2</sup> grosse Korridor, morphologisch noch weitgehendst intakt, macht den Tagliamento zu einer europaweit einzigartigen und eindrucksvollen

**Tabelle 1**

**Der Flussskorridor des Tagliamento** (modifiziert nach TOCKNER et al. im Druck-a).

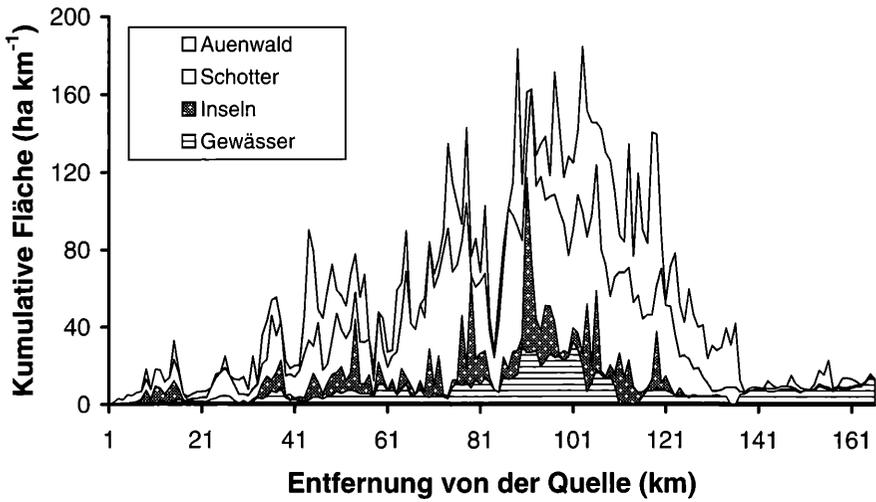
Fläche des aktiven Korridors	61.7 km <sup>2</sup>
Schotterfläche (exkl. Wasser)	38.7 km <sup>2</sup>
Inselfläche	10.6 km <sup>2</sup>
Gewässerfläche	12.4 km <sup>2</sup>
Fläche des uferbegleitenden Auenwaldes	32.0 km <sup>2</sup>
Fläche des Gesamtkorridors <sup>1</sup>	> 150 km <sup>2</sup>
Anzahl der Schotterbänke	950
Anzahl der Inseln <sup>2</sup>	652
Gesamtlänge der Vegetationskanten <sup>3</sup>	670 km
Gesamtlänge der Gewässerufer <sup>4</sup>	940 km

1: Der Gesamtkorridor umfasst den aktiven Flussskorridor, den uferbegleitenden Auenwald und die beidseitig angrenzenden Ebenen, die bei HW noch überflutet werden (bis zu einer maximalen Breite von 2 km; Gurnell et al. 2000).

2: Alle gehölztragenden Inseln mit einer Fläche von > 0.01 ha sind hier berücksichtigt. Pionierinseln (Phase 1 und Phase 2; Edwards et al. 1999b) sind ausgeklammert.

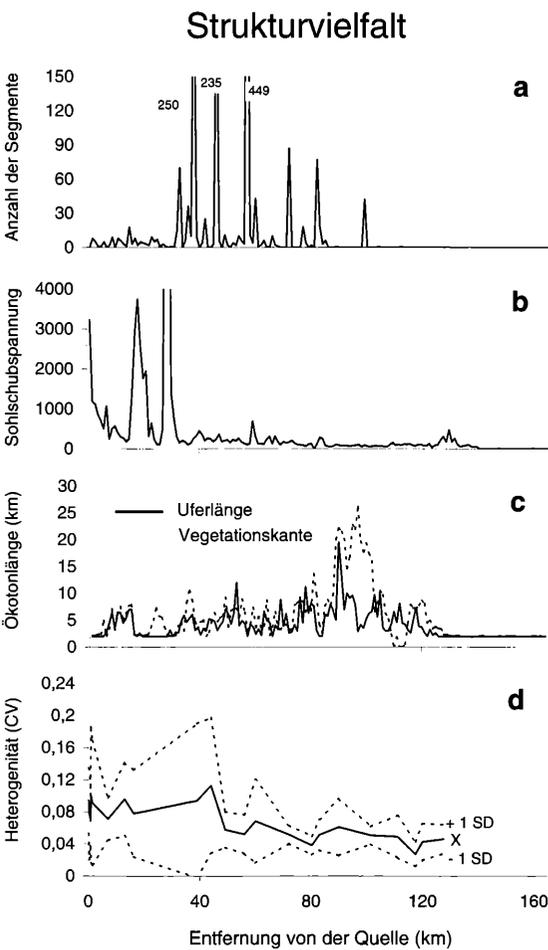
3: Perimeter der Inseln und die Länge der Ufervegetationsstreifen, die den aktiven Korridor seitlich begrenzen (nach Ward et al., 1999b).

4: Uferlänge bei Mittelwasserstand.



**Abbildung 4**

Die Verteilung der wesentlichen Landschaftselemente entlang des Korridors des Tagliamento (nach TOCKNER et al. im Druck).



**Abbildung 5**

Die Entwicklung von vier Strukturparametern entlang des Korridors des Tagliamento (verändert nach TOCKNER & WARD 1999).

Flusslandschaft. Zum Vergleich: der Nationalpark Donauauen in Österreich misst 93 km<sup>2</sup>, der Schweizerische Nationalpark 169 km<sup>2</sup>. Drei Landschaftselemente prägen den aktiven Flusskorridor: (a) stehende und fließende Gewässer, (b) gehölztragende Inseln und (c) offene Schotterflächen (Tabelle 1). Der aktive Korridor wird von einem durchgehenden Auenwald (Gesamtfläche: 32 km<sup>2</sup>) gesäumt. Nur in den letzten 30 km wird der Tagliamento durch Dämme eingefasst und gleicht in seiner Eintönigkeit den meisten europäischen Flüssen (Abb. 4). Im Oberlauf wechseln sich Schluchtabschnitte und Aufweitungsstrecken mit und ohne Inseln ab. Mit fast 2 km Breite erreicht die Aue des Tagliamento im Mittellauf (flussab der Verengung von Pinzano; Flusskilometer 83) ihre maximale Ausdehnung. Bei Mittelwasser verzweigt sich der Fluss in bis zu zehn Gerinne (WARD et al. 1999b). Im mäandrierenden und kanalisierten Abschnitt nimmt die Ausdehnung des aktiven Korridors ab und erreicht höchstens Breiten von 400 m. Die angrenzenden Überflutungsflächen werden hier landwirtschaftlich genutzt.

Anhand von Luftbildern sowie von Karten im Maßstab von 1:10000 wurde die Strukturvielfalt entlang des gesamten Flussverlaufes quantifiziert (TOCKNER & WARD 1999). Vier Kenngrößen, die einen wesentlichen Einfluss auf das Vorkommen und die Vielfalt der Organismen besitzen, wurden für jeden Flusskilometer bestimmt: (a) die Anzahl an Flusssegmenten (Zubringer) als Mass der Vernetzung zwischen Korridor und Einzugsgebiet, (b) die Schleppekraft (Sohlschubspannung, Watt m<sup>2</sup>) als hydraulische Kenngröße, (c) die Länge (km) der Gewässerufer und der Vegetationskanten (Inseln und Ufervegetation) als Indikator aquatisch/terrestrischer Interaktionen („ökotonale“ Heterogenität) und (d) die kleinräumige Substratvielfalt. Detaillierte Angaben zur Methodik finden sich bei TOCKNER & WARD (1999) und GURNELL et al. (2000). Jeder dieser Parameter zeigt eine andersartige Entwicklung entlang des Flusslaufes (Abb. 5). Die kleinräumige Substratvielfalt ist im Oberlauf

am grössten. Im Ober- und Mittellauf zeigen die vielen kleinen und grösseren Zuflüsse (Abb. 5a; hohe Anzahl an Segmenten) eine enge Wechselwirkung mit dem Einzugsgebiet an. Den unteren Mittellauf prägen ausgedehnte Grenzlinien („Ökoto-ne“), die eine maximale Länge von 42 km (Ufer- und Vegetationskantlänge gemeinsam) erreichen. Die Sohlschubspannung ist einerseits in Schluchtstrecken und andererseits im Übergang zwischen unterschiedlichen geomorphologischen Abschnitten (z.B. Übergang verzweigter/mäandrierendem Abschnitt; Fluss-km 129) jeweils deutlich erhöht.

Diese Ergebnisse zeigen, dass die tatsächliche strukturelle Vielfalt eines Gewässers erst durch die Kombination unterschiedlichster Umweltparameter erfassbar wird. Das bedeutet zugleich, dass im Längsverlauf eines Flusses sich die ökologische Bedeutung einzelner Faktoren ändert. Im Oberlauf kommt den kleinen Zuflüssen eine wichtige Refugialfunktion zu. Aus diesen erfolgt teilweise nach Hochwassern die Wiederbesiedelung der Hauptgerinne. Im Mittellauf hingegen sind die Uferzonen und Totholzablagerungen entlang der Gerinne von zentraler Bedeutung. Das gilt sowohl für die terrestrischen als auch die aquatischen Organismen. So fand REICH (1994) im Tagliamento eine positive Korrelation zwischen der Entwicklung der Uferlänge und der Brutdichte des Flussregenpfeifers, mit maximalen Dichten von 40 Paaren pro Flusskilometer. Eigene Beobachtungen zeigen, dass bei ansteigendem Wasserstand benthische Invertebraten aktiv in die Uferbereiche einwandern, einerseits um die zusätzlichen Ressourcen zu nutzen, andererseits aber auch um Schutz vor möglicher Abdriftung zu suchen.

#### 4. Auen: Zentren der Biodiversität

Auen werden als Zentren der biologischen Vielfalt, als sogenannte „hot spots“ der Biodiversität, bezeichnet. Ein Beispiel: In der Schweiz bedecken Auenlandschaften nur mehr 0.26 % der Bundesfläche, beherbergen jedoch etwa 30 % der landesweiten Fauna und Flora (WALTER et al. 1998). Im Mittellauf des Tagliamento bei Pinzano fanden wir auf 125 ha Schotterflächen und Inseln 16 % der 2780 Arten höherer Pflanzen, die POLDINI (1991) für das Friaul und Julisch-Venezien angibt. Ursache für die hohe Artenvielfalt in Flussauen ist die mosaikartige Vernetzung unterschiedlichster Lebensräume. Abflussschwankungen führen zusätzlich zu einer ständigen Veränderung dieser Lebensräume. Geringe Wasserstandsschwankungen ändern zwar die Ausdehnung der Gewässer, nicht jedoch die Matrixstruktur der Aue. Erst wesentlich stärkere Hochwasser („flood pulses“) führen zu Sedimentumlagerung und Verschwenkung ganzer Gerinne. In dynamischen Auen bedeutet bereits ein geringer Anstieg des Wasserspiegels („flow pulse“) eine deutliche Ausdehnung des aquatischen Lebensraumes und es ändert sich somit der Grad der Vernetzung von aquatischen und terrestrischen Lebensräumen (Abb. 6). Isolierte Gewässer werden wieder an das Hauptgerinne angebunden und stehende Gewässer wandeln sich zu fliessenden Gerinnen. In der untersuchten Aue des Tagliamento beträgt bei einem Wasserstand von 100 cm die Fläche der Hauptgerinne 22.4 ha, jene der alluvialen Gerinne (ohne oberstromige Anbindung an das Hauptgerinne) 12.8 ha, die Fläche der Hinterwasser („backwater“) 2.2 ha und jene der isolierten, stehenden Gewässer (Autümpel) 0.2 ha. Die Grösse

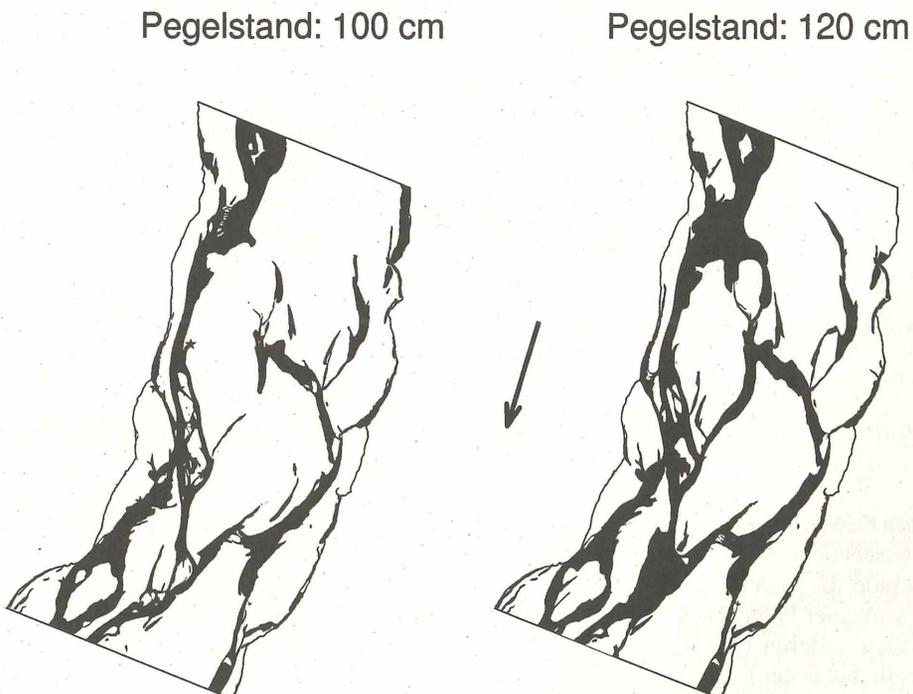


Abbildung 6

Verzweigter Abschnitt im Mittellauf des Tagliamento (Fluss-km 74-75, flussauf von Cornino): Überflutungsflächen bei 100 und 120 cm Wasserstand (Pegel: Pinzano). Kartierungen wurden mit Hilfe eines Differential-GPS (Genauigkeit: < 0.5m) durchgeführt (Nov. 1999, A. SCHMIDT unveröffentlicht). Breite des Korridors: ca. 800 m.

**Tabelle 2**

**Der relative Anteil (%) ausgewählter Laufkäfer (*Carabidae*) in drei Habitatgruppen des Mittellaufes**  
(verzweigter Abschnitt mit Inselbildungen zwischen Cornino und Pinzano; siehe Abbildung 2).

	Auenwald/ Inseln	Pionierinseln	Gewässerufer
<i>Asaphidion austriacum</i> Schweig., 1975	18.2		
<i>A. caraboides</i> (Schränk, 1781)	14.9	25.6	0.3
<i>A. flavipes</i> (L., 1761)	10.1	0.8	
<i>Bembidion ascendens</i> Dan., 1902		6.8	23.5
<i>B. azurescens</i> Dalla Torre, 1877	20.9	5.3	0.6
<i>B. bugnioni</i> Dan., 1902			0.3
<i>B. coeruleum</i> Serv., 1826			0.8
<i>B. cruciatum bualei</i> Jacq. Du Val, 1852	1.4	5.3	0.5
<i>B. decorum</i> (Zenk., 1801)	0.7		2.2
<i>B. distinguendum</i> Jacq., 1852	0.7	3.0	0.6
<i>B. egregium</i> Dan., 1902		1.5	1.6
<i>B. fasciolatum</i> (Duft., 1812)		3.0	25.7
<i>B. femoratum</i> Sturm, 1825	0.7	0.8	0.4
<i>B. foraminosum</i> Sturm, 1825		6.0	1.8
<i>B. fulvipes</i> Sturm, 1827		0.8	3.7
<i>B. punctulatum</i> Drap., 1820	0.7	4.5	18.7
<i>B. pygmaeum</i> (Fabr., 1792)	6.8	5.3	
<i>B. scapulare ssp. oblongum</i> Dej., 1831		1.5	4.4
<i>B. testaceum</i> (Duft., 1812)		1.5	3.7
<i>B. tetracolum</i> Say, 1823	3.4	0.8	
<i>Chlaenius nitidulus</i> (Schränk, 1781)	3.4		
<i>Elaphrus aureus</i> Müller 1821	8.1		
<i>Lionychus quadrillum</i> (Duft., 1812)	0.7	3.0	
<i>Nebria picicornis</i> (Fabr., 1801)	1.4	1.5	1.2
<i>Perileptus areolatus</i> (Creutz., 1799)	0.7	3.8	6.5
<i>Stenolophus teutonius</i> (Schränk, 1781)	2.0		
<i>Tachys micros</i> Fisch.-Waldh., 1828	2.0	7.5	1.1
<i>T. sexstriatus</i> (Duft., 1812)	3.4	12.0	0.8
<i>Thalassophilus longicornis</i> (Sturm, 1825)			0.8
<i>Bembidion</i> spp.			0.7
<i>Perileptus</i> spp.			0.3

**Tabelle 3**

**Vier Entwicklungsphasen von Inseln in einem verzweigten Flussabschnitt des Tagliamento** (Terminologie: EDWARDS et al. 1999a). Alter, Grösse und Artenzahl an Gefässpflanzen sind aufgelistet (Mittelwert und Standardfehler). n: Anzahl der untersuchten Inseln. LWD: Large Woody Debris (nach KOLLMANN et al. 1999).

Inselphase	n	Alter (Jahre)	Grösse (m <sup>2</sup> )	Anzahl der Pflanzenarten
LWD-Inseln (Phase-1, einjährig)	89	1	23.3 ± 3.5	17.3 ± 1.1
LWD-Inseln (Phase-1, zweijährig)	66	2	39.2 ± 4.4	30.2 ± 1.5
Pionierinseln (Phase-2)	22	2-5	44.4 ± 8.6	26.2 ± 2.1
Etablierte Inseln (Phase-3)	17	13.4 ± 1.3	6282 ± 1836	70.0 ± 4.2

der einzelnen Gewässertypen sagt jedoch noch wenig über ihre tatsächliche ökologische Bedeutung aus. So sind gerade die vielen wengleich kleinen Autümpel von einer Fauna besiedelt, die sich deutlich von allen anderen Gewässern unterscheidet (unveröffentlichte Daten).

Die morphologische Vielfalt aquatischer Lebensräume in Auen beeinflusst auch die hydrologischen Austauschprozesse zwischen alluvialem Grundwasserkörper und Oberflächengewässer und zwi-

schen Hauptgerinne und Augewässern. Aufgrund dieser komplexen hydrologischen Wechselwirkungen können in einem Auenquerschnitt Unterschiede in der Wassertemperatur von bis über 15 °C gemessen werden (ARSCOTT et al. 2000, 2001). Das bedeutet, dass in einem Auen transekt eine ähnlich hohe thermische Heterogenität vorkommt wie entlang des gesamten Flusskorridors von 172 km. Als Folge kann im Quertransekt, wengleich in einem anderen Masstab, eine ähnliche Abfolge der Fischfauna beobachtet werden wie entlang des gesamten

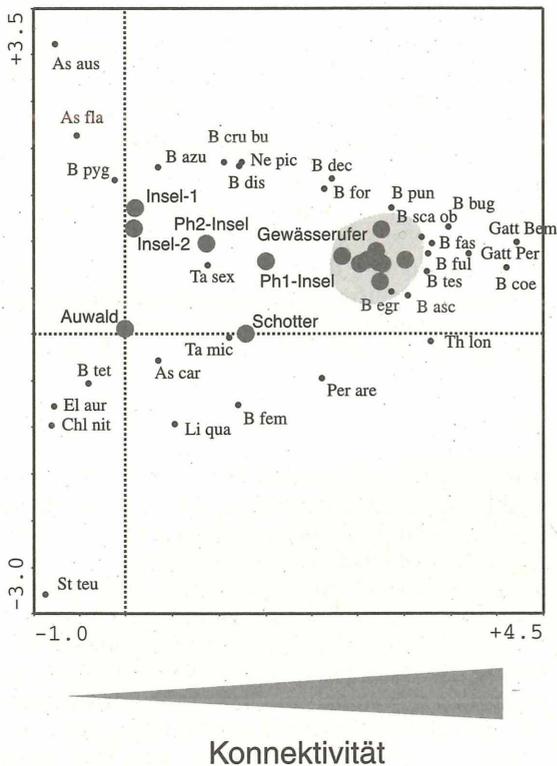


Abbildung 7

Ordination von 13 Habitattypen anhand der Laufkäferzönosen (lateral Gradient in einem verzweigten Flussabschnitt mit Inselbildungen). Kanonische Korrespondenzanalyse (log (x+1) transformierte Werte). Die beiden ersten Faktorenachsen erklären 52.2 % der Gesamtvarianz. Eigenwert der beiden ersten Achsen: 0.76 (RUST 1998). Arten, die nur einmalig oder in geringen Abundanzen ( $\leq 3$  Ind.) vorkommen, wurden nicht berücksichtigt. Phase-1 und Phase-2-Inseln: siehe Text. Arten: siehe Tabelle 2.

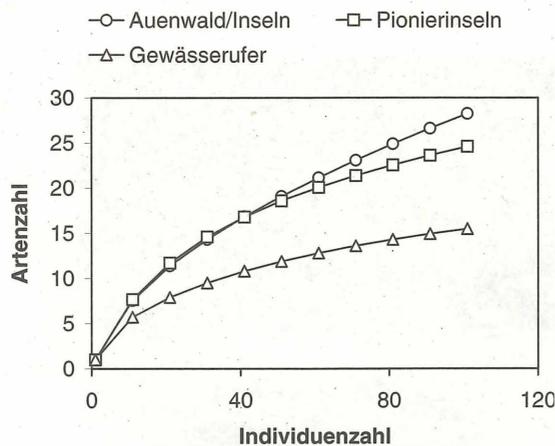


Abbildung 8

„Rarefaction“-Kurven für die Abundanzen von Laufkäfer in drei Habitattypen. Anzahl der zu erwartenden Arten bei 100 zufällig gesammelten Individuen.

Flusslaufes (TOCKNER et al. im Druck). In Auen des Unterlaufes zum Beispiel, nur 20 m über Meeressniveau, finden sich in Grundwasseraufstößen typische Vertreter der Forellen- und Äschenregionen, in Autümpeln und -seen hingegen charakteristische Arten des Unterlaufes, wie Hecht und Schleie (STOCH et al. 1992).

Laufkäfer sind ausgezeichnete Indikatoren für den ökologischen Zustand von Wildflussauen (PLACHTER 1998). Vom Tagliamento sind bislang 99 Arten bekannt, davon sind knapp ein Drittel „Rote-Liste“-Arten (HEIDT et al. 1998, RUST 1998, KETTERER 1999). Hierbei sind besonders viele Uferarten als gefährdet eingestuft. Anhand der Laufkäferzönosen lässt sich deutlich zeigen, wie sich die terrestrischen Habitate entlang eines Überflutungsgradienten anordnen. Die 13 beprobten Habitattypen (Konnektivitätsgradienten; siehe Abb. 7) können in drei Gruppen zusammengefasst werden: (i) Gewässerufer und flache Schotterbänke, (ii) Pionierinseln und angrenzende freie Schotterflächen und (iii) etablierte Inseln und geschlossener Auenwald (Abb. 7; Tabelle 2). Alle Uferbereiche, ob von stehenden oder fließenden Gewässern, sind von einer individuenreichen (Dichten bis 150 Ind.  $m^{-2}$ ) aber sehr ähnlichen Lebensgemeinschaft besiedelt. Die Inseln hingegen sind generell individuenarm (circa 2 Ind.  $m^{-2}$ ) und die verschiedenen Inseltypen unterscheiden sich hinsichtlich der Artzusammensetzung viel deutlicher voneinander. Ein standardisierter Vergleich („rarefaction“-Methodik) zeigt, dass die Inselhabitate jedoch artreicher als die Uferzonen sind. In einer Probe von 100 zufällig aufgesammelten Individuen können im Inselbereich zwischen 24 und 29 Arten, im Uferbereich nur 14 Arten erwartet werden (Abb. 8).

5. Inseln: Indikatoren der ökologischen Integrität von Fließgewässern

Ein herausragendes Merkmal des Tagliamento ist die grosse Anzahl an Schotterbänken und Inseln (Abb. 9; Tabelle 1). Als Inseln können vereinfacht die gehölztragenden Landschaftselemente innerhalb des aktiven Flusskorridors bezeichnet werden (WARD et al. im Druck). Über 650 Inseln, mit Dichten bis zu 25 Inseln pro Flusskilometer, kommen entlang des gesamten Flusslaufes vor. Die Grösse dieser Inseln liegt zwischen 70  $m^2$  (entspricht der Auflösungsgenauigkeit der verwendeten Luftbilder) und 40 ha. Hinzu kommen Myriaden von sogenannten Pionierinseln (Phase-1 und Phase-2 Inseln, EDWARDS et al. 1999a, KOLLMANN et al. 1999). Phase-1 Inseln sind frische Totholzablagerungen, die den Nukleus für die eigentliche Inselentwicklung bilden (ABBE & MONTGOMERY 1996). Phase-2 Inseln formen sich aus Phase-1 Inseln, weisen ein Alter von 2-5 Jahren auf und sind bereits von einer dichten und artreichen Vegetation überwuchert (Tabelle 3). Phase-3 Inseln schliesslich sind etablierte Inseln von bereits beträchtlicher Grösse und sind von einem dichten Gehölzbestand bestockt.

Eine besondere Rolle in der Inseldynamik spielt das Totholz. Während eines einzigen Hochwassers Ende Oktober 1999 wurden in einem 2 km langen Flussabschnitt 9000  $m^2$  Inselfläche und somit mehrere tausend Bäume abgetragen (D. van der NAT, unveröffentlichte Daten). Grosse Mengen dieses Totholzes (besser „Lebendholzes“) werden durch Pionierinseln zurückgehalten, was wiederum die Inselentwicklung fördert (Tabelle 4). Das Vorhandensein genügender Mengen an Totholz und das Zusammenspiel eines natürlichen Hochwasserregimes und einer natürlichen Geschiebedynamik sind

Grundvoraussetzung für die Etablierung von Inseln (OSTERKAMP 1998, WARD et al. im Druck, GURNELL et al. 2001). Fällt eine der genannten Voraussetzungen jedoch weg, beginnt das Gesamtsystem zu altern, Inseln wachsen, verschmelzen zu Auenwäldern und stabilisieren dadurch zusätzlich die Gerinne. Aus verzweigten Flüssen werden gestreckte Gerinne. So sind etwa die ausgedehnten, geschlossenen Auenwälder entlang der Donau oder des Oberrheins regulierungsbedingte Artefakte. Im Gebiet des Nationalparks Donauauen (östlich von Wien) sind von 1880 bis 1993 die freien Schotterflächen von 28 % auf 2 % und die Gewässerflächen von 36 % auf 19 % zurückgegangen. Die Waldflächen hingegen nahmen von 36 % auf 79 % zu (C. BAUMGARTNER, pers. Mitteilung).

Wie vielfältig und wie komplex die Entwicklungsdynamik von Inseln tatsächlich ist, zeigen die jüngsten Untersuchungen am Tagliamento (GURNELL et al. 2001). Inseln können durch Sedimentationsvorgänge, Erosionsprozesse, Avulsionen oder durch die Abtrennung randständiger Auenwälder entstehen. Die relative Bedeutung dieser Prozesse ändert sich im Längsverlauf. Inseln können einen einfachen oder komplexen Aufbau aufweisen, und ihre Entwicklung folgt selten einem linearen sondern vielmehr einem zyklischen Muster. Sowohl allogene (vom Fluss gesteuerte) als auch autogene (vegetationsbedingte) Prozesse spielen eine wesentliche Rolle bei der Entwicklung von Inseln. Die Inselentwicklung entspricht somit keineswegs den klassischen Sukzessionsabläufen, wie sie aus der Vegetationskunde bekannt sind.

Ein Vergleich von Luftbildern zeigt, dass in drei Jahren (1984 bis 1986) die „turnover“-Rate von etablierten Inseln bei 15 % und jene von Pionierin-

seln sogar bei 80 % liegt (VIELI 1998). Das bedeutet, dass sich nur sehr wenige Pionierinseln zu etablierten Inseln entwickeln können; die meisten werden wieder durch Hochwasser zerstört. Im Hauptuntersuchungsgebiet unserer Arbeit (Fluss-km 79.5-81.5) erreichen die Inseln ein maximales Alter von 20 Jahren und somit nie das „reife“ Stadium der uferbegleitenden Auenwälder (KOLLMANN et al. 1999). Anzumerken ist auch, dass Neophyten, die in anthropogen gestörten Flüssen sehr häufig sind (z.B. *Robinia pseudoacacia*, *Solidago gigantea*), in der aktiven Schotterau des Tagliamento selten zu finden sind (EDWARDS et al. 1999a).

Die ökologische Bedeutung der Inseln wurde bislang ignoriert, wahrscheinlich weil nur noch so wenige in den regulierten Flüssen vorkommen. Erste Ergebnisse am Tagliamento zeigen jedoch, dass Inseln den ökologischen Wert einer Flusslandschaft beträchtlich erhöhen. Inseln schaffen nicht nur wichtige Habitate für eine vielfältige Fauna und Flora, sie spielen auch eine zentrale Rolle für den Eintrag, die Transformation und die Retention von organischem Material und Nährstoffen. Inseln können daher als Indikatoren der ökologischen Integrität von Flussauen verwendet werden. Viele aquatische und terrestrische Habitate, die ihre Präsenz den Flussinseln verdanken, spielen eine wichtige Refugialfunktion während Trockenzeiten (z.B. Überdauerungsmöglichkeit in tiefen Kolken) oder nach Hochwasserereignissen (Rekolonisation aus solchen stabileren Habitaten). Inseln erweitern etwa durch die Schaffung von potentiellen Laichgewässern und Überwinterungsarealen in der aktiven Aue auch den Lebensraum von Amphibien. Amphibien (z.B. *Bufo bufo*, *Bufo viridis*) können erst dadurch die aktive Aue besiedeln (cf. KUHN 1993, Klaus et al. 2001).



Abbildung 9

Inselbereich zwischen Cornino und Pinzano (Photo: K. Tockner).

Tabelle 4

**Die Akkumulation an Totholz in unterschiedlichen geomorphologischen Abschnitten (A-H) entlang des Tagliamento. Die Verteilung des Totholzes (Tonnen/ha) ist nach den Landschaftselementen Schotter/Wasser, Pionier- und etablierte Inseln aufgetrennt (aus GURNELL et al. im 2000).**

Abschnitt	Entfernung von der Quelle (km)	Schotter/Wasser	Pionierinseln	Etablierte Inseln
A	2	1		24
B	13.5	21		57
C	25.5	6	444	25
D	74.5	4	787	
E	81	7	911	148
F	93	7	293	44
G	120.5	7	334	186
H	127	1	1664	

## 6. Ein Referenzökosystem von europäischer Bedeutung

Bei der Entwicklung von ökologischen „Leitbildern“ und der Planung von Revitalisierungskonzepten löst man sich derzeit von der Betrachtung lokaler Vorgänge und betrachtet vermehrt den ganzen Flusslauf und das gesamte Einzugsgebiet. Ohne die Kenntnisse natürlicher Prozesse in dynamischen Flussläufen bleibt es aber schwierig, die Tragweite menschlicher Eingriffe zu bewerten und sinnvolle Managementmassnahmen zu entwickeln (cf. STANFORD et al. 1996). Dazu ist es nötig grossräumige Referenzökosysteme zu untersuchen. Der Tagliamento vermittelt noch heute ein Bild einer Wildflusslandschaft, das für die meisten Alpenflüssen vor 150-200 Jahren kennzeichnend war. Für Geomorphologen und Ökologen stellt daher der Tagliamento ein einzigartiges Freiluftlabor dar, in dem grossstabi-mässig die Dynamik von weitgehend natürlichen Auenlandschaften untersucht werden kann. Im Rahmen eines internationalen Forschungsprojektes arbeiten derzeit Hydrologen, Geomorphologen und Ökologen an diesem Fluss zusammen, um Fragen der Entstehung und ökologischen Bedeutung von Inseln zu beantworten, um Interaktionen zwischen terrestrischen und aquatischen Systemen besser zu verstehen und um die Bedeutung lokaler und regionaler Prozesse für die biologische Vielfalt zu erkennen (EDWARDS et al. 1999b). Diese Untersuchungen sollen helfen, die grundlegende wissenschaftliche Basis für eine effektivere, kostengünstigere und nachhaltigere Nutzung unserer Fließgewässer zu erweitern.

Eine zentrale Forderung des Naturschutzes ist es auch, alle Anstrengungen zu unternehmen, um die letzten natürlichen Fließgewässer zu erhalten und/oder grossräumige und zusammenhängende Netzwerke von natürlichen und revitalisierten Flussabschnitten zu schaffen. Der Tagliamento, als grösste Wildflusslandschaft im gesamten Alpenraum, verdient in diesem Sinne unbedingten Schutz, etwa im Rahmen eines Biosphärenparks mit den Anliegergemeinden als dessen wichtigste Trägerorganisationen (MULLER & CAVALLO 1998).

## Danksagung

Die Untersuchungen am Tagliamento werden durch ein Projekt der ETHZ-Forschungskommission (Projekt: 0-20572-98) an PJE, JWV, JK & KT und durch ein Projekt des "UK Natural Environmental Council" (GR 9/03249) an AMG und GEP unterstützt. Besonderer Dank gebühren Dave Arscott, Luana Bottinelli, Edith Kaiser, Sophie Karrenberg, Christian Rust, Andreas Schmidt und Dimitry van der Nat.

## Literatur

- ABBE, T.B. & D.R. MONTGOMERY (1996): Large woody debris jams, channel hydraulics and habitat formation in large rivers.-*Regulated Rivers* 12: 201-221
- ARSCOTT, D.B.; K. TOCKNER & J.V. WARD. (2000): Aquatic habitat structure and diversity along the corridor of an Alpine floorplain river (The Fiume Tagliamento). *Arch. Hydrobiol.* 149: 679-704.
- ARSCOTT, D.B.; K. TOCKNER & J.V. WARD. (2001): Thermal heterogeneity along a braided floodplain river in the Alps. *Can. J. Aquat. Fish.*
- ASTORI, A. (1993): Morfologie alluvionali e dinamica fluviale di un fiume-torrente Alpino: il F.Tagliamento a Tolmezzo (Carnia).-Diplomarbeit, Universität Padua.
- EDWARDS, P.J.; J. KOLLMANN; A.M. GURNELL; G.E. PETTS; K. TOCKNER & J.V. WARD (1999a): A conceptual model of vegetation dynamics on gravel bars of a large Alpine river.- *Wetlands Ecology and Management* 7: 141-153.
- EDWARDS, P.J.; J. KOLLMANN; K. TOCKNER & J.V. WARD (1999b): 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.; G.E. PETTS; N. HARRIS; J.V. WARD; K. TOCKNER; P.E. EDWARDS & J. KOLLMANN (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.; G.E. PETTS; D.M. HANNAH; B.P.G. SMITH; P.J. EDWARDS; J. KOLLMANN; J.V. WARD & K. TOCKNER (2001): Riparian regatation and island formation along the gravel-bed Fiume Tagliamento, Italy. *Earth Surface Processes and Landforms* 26: 31 - 62..

- HEIDT, E.; V. FRAMENAU; D. HERING & R. MANDERBACH (1998):  
Die Spinnen- und Laufkäferfauna auf ufernahen Schotterbänken von Rhone, Ain (Frankreich) und Tagliamento (Italien) (Arachnida: Araneae; Coleoptera: Carabidae).- Entomol.Z. 108: 142-153.
- KETTERER, S. (1999):  
Die Laufkäferzönosen der Uferbereiche des Tagliamento (Friaul, Italien).- Diplomarbeit, ETH-Zürich.
- KLAUS, I.; C. BAUMGARTNER & K. TOCKNER (2001):  
Die Wildflusslandschaft des Tagliamento (Italien, Friaul) als Lebensraum für eine artenreiche Amphibiengesellschaft. Z. Feldherpetologie 8: 21-30
- KOLLMANN, J.; M. VIELI; P.E. EDWARDS; K. TOCKNER & J.V. WARD (1999):  
Interactions between vegetation development and island formation in the Alpine river Tagliamento.- Appl. Veg. Sci. 2: 25-36.
- KUHN, J (1993):  
Fortpflanzungsbiologie der Erdkröte *Bufo b. bufo* (L.) in einer Wildflusssau.- Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz 2: 1-10
- LIPPERT, W.; N. MÜLLER; S. ROSSEL; T. SCHAUER & G. VETTER (1995):  
Der Tagliamento - Flussmorphologie und Auenvegetation der grössten Wildflusslandschaft der Alpen.- Jahrbuch Ver. z. Schutz der Bergwelt 60: 11-70.
- MAIONE, U. & G. MACHNE (1982):  
Studio sulla formazione delle piene del Fiume Tagliamento.- Unveröffentlichte Studie, Ecoconsult, Milano.
- MARTINET, F. & M. DUBOST (1992):  
Die letzten naturnahen Alpenflüsse-Versuch eines Inventars.-CIPRA, Vaduz, FL.
- MARTINIS, B. (1993):  
Storia geologica del Friuli.- La Nuova Base Ed., Udine.
- MOSETTI, F. (1983):  
Sinisti sull'idrologica del Friuli-Venezia Giulia.- Quaderni dell'Ente Tutela Pesce del Friuli-Venezia Giulia, Rivista di Limnologia, No 6.
- MUHAR, S.; M. SCHWARZ; S. SCHMUTZ & M. JUNGWIRTH (2000):  
Identification of rivers with high and good habitat quality: methodological approach and applications in Austria.- Hydrobiologia. 422/423: 343-358
- MÜLLER, N. (1995):  
River dynamics and floodplain vegetation and their alterations due to human impact.- Arch.Hydrobiol.Suppl. 101: 477-512.
- MÜLLER, N. & G. CAVALLO (1998):  
Tagliamento - König der Alpenflüsse, 183-186.- Alpenreport, CIPRA, Bern.
- OSTERKAMP, W.R. (1998):  
Processes of fluvial island formation, with examples from Plum Creek, Colorado and Snake River, Idaho.- Wetlands 17: 530-545.
- PETTS, G.E.; H. MÖLLER & A.L. ROUX (1989, Eds):  
Historical change of large alluvial rivers: Western Europe.- Wiley, Chichester.
- PLACHTER, H. (1998):  
Die Auen alpiner Wildflüsse als Modelle störungsgeprägter ökologischer Systeme.- Schf.-R.f. Landschaftspf. u. Naturschutz 56: 21-66
- POLDINI, L. (1991):  
Atlante corologico delle piante vascolari nel Friuli-Venezia Giulia.- Università degli Studi di Trieste, Udine.
- REICH, M. (1994):  
Kies- und schotterreiche Wildflusslandschaften – primäre Lebensräume des Flussregenpfeifers (*Charadrius dubius*).- Vogel und Umwelt 8: 43-52.
- RUST, C. (1998):  
Die ökologische Bedeutung von Inseln und Schotterbänken im Tagliamento (Friaul, Italien) am Beispiel der Laufkäferzönose (Carabidae, Insecta).- Diplomarbeit, ETH-Zürich.
- STANFORD, J.A.; J.V. WARD; W.J. LISS; C.A. FRISSELL; R.N. WILLIAMS; J.A. LICHATOWITCH; & C.C. COUTANT (1996):  
A general protocol for restoration of regulated rivers.- Regulated Rivers 12: 391-413.
- STOCH, F.; S. PARADISI & M.B. DANCEVICH (1992):  
Carta Ittica del Friuli-Venezia Giulia.- ETP, Udine.
- TOCKNER, K. & J.V. WARD (1999):  
Biodiversity along riparian corridors.- Arch.Hydrobiol.Suppl. 115: 293-310.
- TOCKNER, K.; J.V. WARD; D.B. ARSCOTT; P.J. EDWARDS; J. KOLLMANN; A.M. GURNELL; G.E. PETTS; B. MAIOLINI (im Druck):  
The Tagliamento: A model ecosystem for alpine gravelbed rivers.- In: Plachter, H. & M. Reich (Ed). Ecology and conservation of gravel bed rivers and alluvial floodplains in the Alps. Springer, Berlin.
- TOCKNER, K.; F. MALARD & J.V. WARD (2000):  
An extension of the Flood Pulse Concept.- Hydrological Processes, 14: 2861-2883
- VIELI, M. (1998):  
Luftbild- und GIS-gestützte Vegetationsuntersuchungen am Tagliamento. Diplomarbeit, Univ. Zürich und ETH-Zürich.
- WALTER, T.; M. UMBRICH & K. SCHNEIDER (1998):  
Datenbank zur Fauna der Auen.- <http://www.waho.ethz.ch/pnl>.
- WARD, J.V. (1998):  
Riverine landscapes: biodiversity patterns, disturbance regimes, and aquatic conservation.- Biological Conservation 83: 269-278.
- WARD, J. V.; K. TOCKNER & F. SCHIEMER (1999a):  
Biodiversity of floodplain river ecosystems: ecotones and connectivity.- Regulated River 15: 125-139.
- WARD, J.V.; K. TOCKNER; P.J. EDWARDS; J. KOLLMANN; G. BRETSCHKO; A.M. GURNELL; G.E. PETTS; & B. ROSSARO (1999b):  
A reference system for 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; & B. ROSSARO (im Druck):  
Potential role of island dynamics in river ecosystems.- Verh.Int.Verein.Limnol.

#### **Anschrift des Verfassers:**

Klement Tockner  
Abteilung für Limnologie; EAWAG/ETH,  
Überlandstraße 133  
Postfach 611  
CH-8600 Dübendorf  
e-mail: tockner@eawag.ch  
Fax: 0041-1-8235315

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

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Laufener Spezialbeiträge und Laufener Seminarbeiträge \(LSB\)](#)

Jahr/Year: 2001

Band/Volume: [3\\_2001](#)

Autor(en)/Author(s): diverse

Artikel/Article: [Der Tagliamento \(Norditalien\): Eine Wildflussaue als Modellökosystem für den Alpenraum 25-34](#)