

# Schwemmgut – Ausbreitungsmedium terrestrischer Invertebraten in Gewässerkorridoren



Diplomarbeit  
ETH Zürich/EAWAG Dübendorf  
Niklaus Trottmann  
Oktober 2004

# **Schwemmgut – Ausbreitungsmedium terrestrischer Invertebraten in Gewässerkorridoren**

Diplomarbeit an der EAWAG,  
Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz  
Dübendorf, Schweiz  
Betreuung: Dr. Klement Tockner

Niklaus Trottmann  
Studiengang Biologie  
ETHZ, Eidg. Technische Hochschule Zürich

Oktober 2004

Titelblatt – Grosses Bild: Schwemmgutteppich am Rechen des Wasserkraftwerks Bannwil, Foto: Fritz Grogg, bkw-fmb Energie AG; kleine Bilder: (v. o.) Springschwanz, Schlupfwespe, Schnirkelschnecke, Fotos: Niklaus Trottmann.

## Vorwort

Die vorliegende Diplomarbeit ist zweiteilig aufgebaut. Der erste Teil besteht aus einem Artikel, den ich während meiner Zeit als Diplomand an der EAWAG für die *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft* geschrieben habe. Unter dem Titel „Schwemmgut – das Innenleben eines unterschätzten Naturstoffs“ wird darin der aktuelle Wissensstand zur Ausbreitung terrestrischer Organismen über Fließgewässer besprochen. Der Artikel enthält, neben Literaturdaten, auch Resultate meiner eigenen Untersuchungen sowie Vorschläge für eine umweltverträgliche Schwemmgut-Bewirtschaftung an hydroelektrisch genutzten Flüssen.

Der zweite Teil der Diplomarbeit ist ein Bericht über meine Untersuchungen an der Donau und der Aare. Die Untersuchungen fokussierten auf drei Aspekte der Schwemmgutdynamik in Fließgewässern: **Auen als Quellen und Senken** für organisches Material und Organismen, **Schwemmgut als Ausbreitungsmedium** und **Wasserkraftwerke als Ausbreitungsbarrieren**.

Niklaus Trottmann

Dübendorf, Oktober 2004

## Dank

Die folgenden Personen haben durch vielfältige Hilfeleistungen, Beratung und Bereitstellung von Daten wesentlich zum Gelingen der vorliegenden Diplomarbeit beigetragen:

**Andreas Kieser**, WKW Beznau, NOK; **Fritz Grogg**, WKW Bannwil, bkw-fmb Energie AG; **Theodor Keller**, WKW Klingnau, Aarewerke AG; **Urs Hofstetter**, Atel; **Dr. Walter Hauenstein**, Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband; **Dr. Klement Tockner**, EAWAG; **Simone Blaser**, EAWAG; **Richard Illi**, EAWAG; **Robert Berger**, EAWAG; **Karin Gafner**, EAWAG; **Dr. Christian Baumgartner**, Nationalpark Donauauen; **Martin Seitlinger**, Nationalpark Donauauen; **Michael Thalmann**, Nationalpark Donauauen.

Ich danke ihnen allen für die grosse Unterstützung, die ich während meiner Zeit als Diplomand an der EAWAG erfahren habe.

## Inhalt

<b>Vorwort .....</b>	<b>i</b>
<b>Dank .....</b>	<b>ii</b>
<b>Inhalt .....</b>	<b>iii</b>
<b>Zusammenfassung Teile I &amp; II.....</b>	<b>v</b>
<b>Verzeichnis der Abbildungen.....</b>	<b>vii</b>
<b>Verzeichnis der Tabellen .....</b>	<b>ix</b>

### TEIL I

**Artikel:** „Schwemmgut als Ausbreitungsmedium – das Innenleben eines unterschätzten Naturstoffs.“

<b>1 Flüsse und Bäche als Migrationsachsen .....</b>	<b>2</b>
<b>2 Ausbreitung im Schwemmgut von Fließgewässern .....</b>	<b>3</b>
2.1 Eintritt ins Ausbreitungsmedium.....	4
2.2 Transport.....	6
2.3 Besiedlung .....	6
2.4 Fazit .....	8
<b>3 Forschungsbedarf .....</b>	<b>11</b>
<b>4 Behandlung von Schwemmgut an Wasserkraftwerken .....</b>	<b>12</b>
4.1 Kontraproduktive Gesetzgebung.....	12
4.2 Anthropogene Abfälle als Herausforderung .....	14
4.3 Entwicklung von Schwemmgut-Management-Systemen .....	14
4.4 Ausblick.....	15
<b>5 Literatur.....</b>	<b>16</b>

### TEIL II

**Bericht:** Untersuchungen zum Schwemmgut als Ausbreitungsmedium terrestrischer Makroinvertebraten.

<b>1 Einleitung .....</b>	<b>23</b>
1.1 Ziele, Fragen, Hypothesen .....	23

---

1.2	Definitionen .....	24
<b>2</b>	<b>Fließgewässer und Untersuchungsgebiete.....</b>	<b>25</b>
2.1	Donauauen.....	25
2.2	Aare.....	26
<b>3</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>28</b>
3.1	Budget einer Aue (Donau).....	28
3.1.1	Erfassung und Behandlung der Proben .....	28
3.1.2	Auswertung .....	29
3.2	Schwemmgut als Vektor (Aare).....	29
3.2.1	Erfassung und Behandlung der Proben .....	30
3.2.2	Auswertung .....	32
3.3	Entnahmen von Schwemmgut (Aare).....	32
3.3.1	Methode .....	32
<b>4</b>	<b>Resultate .....</b>	<b>34</b>
4.1	Budget einer Aue (Donau).....	34
4.2	Schwemmgut als Vektor (Aare).....	36
4.3	Entnahmen von Schwemmgut (Aare).....	39
<b>5</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>40</b>
5.1	Budget einer Aue (Donau).....	40
5.2	Schwemmgut als Vektor (Aare).....	41
5.2.1	Individuendichten .....	41
5.2.2	Ähnlichkeit.....	43
5.3	Entnahmen von Schwemmgut (Aare).....	44
<b>6</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>45</b>
<b>7</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>47</b>

## ANHANG

<b>Anhang A (Donau, Tab. A-1 - A-2).....</b>	<b>xi</b>
<b>Anhang B (Aare, Tab. B-1 - B-23).....</b>	<b>xiii</b>
<b>Anhang C (Aare, Tab. C-1 - C-2).....</b>	<b>xxvi</b>

## Zusammenfassung

### TEIL I

**Artikel:** „Schwemmgut als Ausbreitungsmedium – das Innenleben eines unterschätzten Naturstoffs.“

Naturnahe Fliessgewässer sind stark frequentierte Migrationsachsen. Flottierende Geniste aus Totholz und anderen Pflanzenteilen bilden mobile Refugien, in denen lebende terrestrische Kleintiere grosse Distanzen überwinden. Da im Schwemmgut Vertreter der selben Tierarten konzentriert auftreten, können sich lebensfähige Populationen an *neuen* Standorten etablieren. Die bestehende Artenvielfalt in Gewässerkorridoren wird durch den steten Zustrom lebender Organismen aus flussaufwärts gelegenen Gebieten aufrechterhalten.

Verbauungen und Entnahmen von Schwemmgut stören die hydrochore Ausbreitung und führen so zu einer Reduktion der terrestrischen Artenvielfalt entlang von Fliessgewässern. Durch eine veränderte Schwemmgutbewirtschaftung an Wasserkraftwerken – im Sinne einer Wiedereinspeisung des Rechengutes ins Unterwasser – könnten anthropogen geprägte Flüsse strukturell und funktionell aufgewertet werden.

### TEIL II

**Bericht:** *Untersuchungen zum Schwemmgut von Fliessgewässern als Ausbreitungsmedium terrestrischer Makroinvertebraten.*

An der Donau bei Regelsbrunn und an der Aare bei Beznau wurden Drift- und Schwemmgutproben genommen. Die Untersuchungen an der Donau fokussierten auf den Austausch von organischem Material und Organismen zwischen Fluss und Aue. Es wurde festgestellt, dass die Aue Quelle ist für Algenbiomasse und Senke für Feinsedimente.

An der Aare wurde die hydrochore Ausbreitung terrestrischer Kleintiere untersucht. Schwemmgut am Rechen des Wasserkraftwerks Beznau enthielt im Mittel 72 lebende terrestrische Invertebraten pro 100 gTG, oder umgerechnet 93 Individuen pro 100 L. Davon waren 49% Eier, Larven oder Puppen. Vergleiche zwischen der le-

bend extrahierten Fauna und derjenigen aus fixierten Proben zeigten, dass Schwemmgut als Vektor und als Filter wirkt.

Für den Unterlauf der Aare zwischen Bielersee und Rhein wurde berechnet, dass während eines Hochwassers im Juni 2004 an fünf Wasserkraftwerken 62% der Schwemmgutfracht entfernt worden waren. Im Mittel entnehmen die 13 Wasserkraftwerke zwischen Bielersee und Rhein 6104 Tonnen Schwemmgut pro Jahr. Das entspricht ca. 750 Lastwagenladungen.

## Verzeichnis der Abbildungen

### TEIL I

- Abb. I-1. Schwemmgutteppich am Rechen des Wasserkraftwerks Bannwil an der Aare (CH) während eines Hochwassers 2002; Foto: Urs Hofstetter, Atel. .... 3
- Abb. I-2. Relative Taxazusammensetzung der lebenden terrestrischen Wirbellosen im Schwemmgut der Aare am Rechen des Wasserkraftwerks Beznau (CH); AD: adult, JU: juvenil. .... 5
- Abb. I-3. Mittlere Individuenzahlen der aus Schwemmgut der Aare (CH) emergierten terrestrischen Wirbellosen (Makroinvertebraten) in 4-Tages-Intervallen; n = 3, Fehlerbalken: SE. .... 7
- Abb. I-4. Schwemmgutdynamik in Fliessgewässern (verändert nach Tockner & Langhans 2003). .... 9
- Abb. I-5. Senkbalken beim Ausfluss eines Geschwemmselbeckens. .... 13
- Abb. I-6. Organisationsskizze und möglicher Ablauf eines Pilotprojektes zur Wiedereinspeisung von Rechengut an Wasserkraftwerken. .... 15

### TEIL II

- Abb. II-1. Einteilung der Schwimm- und Schwebstoffe in Gewässern (nach Kail & Gerhard 2002). .... 25
- Abb. II-2. Aare zwischen Bielersee und Rhein; Kraftwerke: 1 Brugg, 2 Flumenthal, 3 Bannwil, 4 Schwarzhäusern, 5 Wynau, 6 Ruppoldingen, 7 Gösgen, 8 Aarau, 9 Rüchlig, 10 Rupperswil, 11 Brugg, 12 Beznau, 13 Klingnau. .... 27
- Abb. II-3. Schwemmgutteppich am Rechen des Wasserkraftwerks Beznau (Messlatte: 0.7 m); Foto: N.Trottmann. .... 27

Abb. II-4.	Die Regelsbrunner Aue an der Donau östl. von Wien. Probenahmestandorte: P1 (Donau), P2 (Ausrinn der Aue). ....	28
Abb. II-5.	Übersicht der Probenahmetermine an der Aare bei Beznau (2004). ....	29
Abb. II-6a.	Eklektor (Aussenansicht); 1 Kopfdose, 2 Gasezelt, 3 Drahtzylinder, 4 Box, 5 Flasche, 6 Verschluss.....	31
Abb. II-6b.	Eklektor (Innenansicht); 3 Drahtzylinder, 7 Perforation, 8 Bodenplatte, 9 Loch, 10 Leitplanke.....	31
Abb. II-7.	Durchfluss (Q) des Wasserkraftwerks Gösgen an der Aare während eines Hochwassers im Juni 2004; $\Delta t$ : Zeitraum mit erhöhtem Schwemmgutaufkommen..	34
Abb. II-8.	Relative Zusammensetzung der im Schwemmgut der Aare gefundenen Taxa; A: Eklektorproben, B: Fixationsproben; AD: adult, JU: juvenil; n= 19.....	37
Abb. II-9.	Mittlere Individuenzahlen der aus 9.5 L Schwemmgut der Aare emergierten terrestrischen Makroinvertebraten in 4-Tages-Intervallen; n = 3, Fehlerbalken: SE. ....	37
Abb. II-10.	Zusammensetzung der Schwemmgutproben (Streu-Fraktion) der Aare bei Beznau an sieben Terminen 2004. ....	38
Abb. II-11.	Jährlich entnommene Schwemmgutmengen an 13 Wasserkraftwerken der Aare zwischen Bielersee und Rhein; korrigierte Werte (vgl. Text S. 32).....	39
Abb. II-12.	Errechnete Schwemmgutmengen der Aare an fünf Wasserkraftwerken während eines Hochwassers im Juni 2004. Entnahmen in %.....	40
Abb. II-13.	Tendenzieller Zusammenhang zwischen Abflussmenge und Individuendichte terrestrischer Gehäuseschnecken im Schwemmgut der Aare bei Beznau.....	42

## Verzeichnis der Tabellen

### TEIL I

- Tab. I-1. Individuendichten terrestrischer Wirbelloser im Schwemmgut von Fließgewässern; \* Vergleichswerte Bodenfauna: Individuendichten für Optimalhabitat in einem Bodenblock von 1 m<sup>2</sup> Grundfläche mit beliebiger Tiefe (aus Dunger 1983). Die Tabellenwerte wurden für eine nutzbare Tiefe von 0.2 m berechnet; \*\* umgerechnet von Ind./gTG auf Ind./L (Umrechnung nach Schälchli et al. 1997). ..... 5
- Tab I-2. Zusammenstellung der Funktionen von grobem Schwemmholz in Fließgewässern. Die Pfeile stehen stellvertretend für „Erhöhung“ oder „Verstärkung“ durch die Präsenz von grobem Schwemmholz. .... 10

### TEIL II

- Tab. II-1. Kenndaten der Donau und ihrer Aue bei Regelsbrunn, östlich von Wien (Quelle: Tockner et. al 1999)..... 26
- Tab. II-2. Kenndaten der Aare (Quelle: Hydrologischer Atlas der Schweiz, LHG 1992)..... 26
- Tab. II-3. Physikalisch-chemische und organismische Zusammensetzung von Flusswasser (standardisierte Mittelwerte, ± SE) in der Donau (P1) und in ihrem Seitenarm (P2). Vergleich der beiden Standorte (Wilcoxon Test für Paardifferenzen). SS Suspended Solids, PN Particulate Nitrate, PP Particulate Phosphor, POC Particulate Organic Carbon, FPOM Fine Particulate Organic Material; n.s. nicht signifikant..... 35

---

Tab. II-4.	Feststoff- und Organismenfracht von Flusswasser (standardisierte Mittelwerte, $\pm$ SE) in der Donau (P1) und in ihrem Seitenarm (P2). Vergleich von Oberfläche und Wassersäule (Wilcoxon Test für Paardifferenzen). FPOM Fine Particulate Organic Material; n.s. nicht signifikant. ....	35
Tab. II-5.	Ergebnisse der Probenahme an der Aare. N <sub>IND</sub> : Anzahl Individuen, N <sub>PRO</sub> : Anzahl Proben. ....	36
Tab. II-6.	Liste der im Schwemmgut der Aare gefundenen terrestrischen Taxa. * nur in Fix.proben, ** in Fix.proben fehlend.....	37
Tab. II-7.	Gegenüberstellung der Individuendichten (Ind./gTG, $\pm$ SE) der häufigsten Taxa in Eklektor- und Fixationsproben; n.s. nicht signifikant.....	38

# TEIL I

## **Schwemmgut als Ausbreitungsmedium – das Innenleben eines unterschätzten Naturstoffs.**

### **1 Flüsse und Bäche als Migrationsachsen**

Fliessgewässer sind effiziente Transport- und Vernetzungselemente in der Landschaft. Mit der fließenden Welle werden neben Geschiebe und Schwemmgut (Box I-1) grosse Mengen lebender Organismen transportiert (Rapoport & Sanchez 1963, Katenhusen 2001, Tenzer 2003). Die Ausbreitung auf dem Wasserweg (Hydrochorie) ist sowohl in naturnahen *(i)* als auch in naturfernen Gewässerkorridoren *(ii)* essentiell für das langfristige Überleben auetypischer Tier- und Pflanzenarten:

*(i)* In dynamischen Auen werden durch Überschwemmung und Umlagerung von Sedimenten periodisch Tier- und Pflanzenpopulationen dezimiert oder ausgelöscht (z.B. Vannote et al. 1980, Plachter & Reich 1998). Solche Verluste werden über den Eintrag von Individuen aus flussaufwärts gelegenen Gebieten kompensiert („rescue-effect“, Brown & Kodric-Brown 1977).

*(ii)* Entlang anthropogen veränderter Flüsse sind meistens nur noch vereinzelte Reste von Auengebieten mit scheinbar isolierten Lebensgemeinschaften vorhanden. Faktisch sind letztere aber über einen Strom fortpflanzungsfähiger Individuen miteinander verbunden (Arter 1990, Akcakaya & Baur 1996, Bill 2000). Dadurch werden kleine Populationen geringer genetischer Variabilität mit Genen aus flussaufwärts gelegenen Populationen gespeist (Metapopulationsdynamik), was ihre Überlebenschancen erhöht (Malanson 1993, Naiman et al. 1993). Am Beispiel pflanzlicher und tierischer Gebirgsschwemmlinge kann gezeigt werden, dass Genfluss auch zwischen räumlich weit entfernten Populationen spielen kann (Sandberger 1886, Boettger 1929, Peetz 1937, Ellenberg 1988, Bill 2000).

Die Hydrochorie gilt als besonders effizient für wenig mobile Tiere (Dörge et al. 1999). Gegenüber der aktiven Ausbreitung auf dem Landweg und im Vergleich zu anderen Vektoren (Wind, Vierbeiner etc.) bietet die Ausbreitung über Fliessgewässer eine Reihe von Vorteilen: Periodisch auftretende Hochwasser bewirken, dass in relativ kurzen Abständen grosse Mengen Organismen transportiert werden. Ungeeignete Lebensräume und Ausbreitungsbarrieren wie Strassen und Siedlungen werden auf

dem Wasserweg umgangen (Borchert 1992). Die Ausbreitung erfolgt in einer gerichteten Bewegung. Dabei ist die Chance in einem geeigneten Habitat zu landen gross, da entlang von Fließgewässern die selben Lebensraumtypen wiederkehren (Bonn & Poschlod 1998, Dörge et al. 1999).

**Box I-1.** Begriffsbestimmung.

**Schwemmgut** (syn. Treibgut, Getreibsel, Geschwemmsel) ist durch Wasser transportiertes oder abgelagertes überwiegend organisches Material wie Holz, Laub, Gras u.ä. (Abb. I-1). Im wasserbaulichen Sinne benennt der Begriff die schwimmfähigen Anteile des Feststofftransportes, die „Schwimmstoffe“ (vgl. Vischer & Huber 1985). Aggregiertes oder verflochtenes Schwemmgut wird von einigen Autoren als **Genist** bezeichnet (u.a. Gerken et al. 1998).



**Abb. I-1.** Schwemmgutteppich am Rechen des Wasserkraftwerks Bannwil an der Aare (CH) während eines Hochwassers 2002; Foto: Urs Hofstetter, Atel.

## 2 Ausbreitung im Schwemmgut von Fließgewässern

Der Wassertransport von Diasporen (Ausbreitungseinheiten) kann auf zwei Arten erfolgen: Frei driftend im Wasser oder gekoppelt an flottierendes organisches Material, also Schwemmgut. Untersuchungen zeigen, dass, assoziiert mit Totholz und anderen Pflanzenteilen, terrestrische Wirbellose in signifikant höheren Dichten transportiert werden als im Freiwasser (Langhans 2000, zitiert in Tockner et al. 2003,

Braccia & Datzer 2001). Deshalb wird im vorliegenden Artikel zwar vom Wasser als *Transportmedium*, aber vom Schwemmgut als *Ausbreitungsmedium* gesprochen.

Die Ausbreitung über Schwemmgut ist ein passiver Prozess, der modellhaft in drei Schritte unterteilt werden kann: **Eintritt** ins Ausbreitungsmedium, **Transport** und **Besiedlung** des neuen Standortes. Schwemmgut hat dabei nicht nur eine direkte Funktion als Vektor. Es ist ausserdem Filter, Anker, Lebensraum und Diasporenbank. Wie nachfolgend erläutert wird, verstärken diese indirekten Funktionen das Potential von Schwemmgut als Ausbreitungsmedium.

## 2.1 Eintritt ins Ausbreitungsmedium

Wesentliche Anteile der im Schwemmgut transportierten Kleintiere nutzen das betreffende organische Material vor dem Wassertransport als Lebensraum (Gerken et al. 1998, Braccia & Datzer 2001) und werden mit diesem in die Gewässer gespült (Tockner & Waringer 1997). Abb. I-2 zeigt die Zusammensetzung der Wirbellosenfauna im Schwemmgut der Aare (CH). Die Dominanzverhältnisse sind typisch für Lebensgemeinschaften der Streuschicht in Waldböden (Savelly 1939, Fager 1968, Abbot & Crossley 1982). Streu zählt zu den individuenreichsten Mikrohabitaten überhaupt (Dunger 1983, Mühlenberg 1993). Wie Tab. I-1 zeigt, bewegen sich die Individuendichten terrestrischer Wirbelloser im Schwemmgut in derselben Grössenordnung.

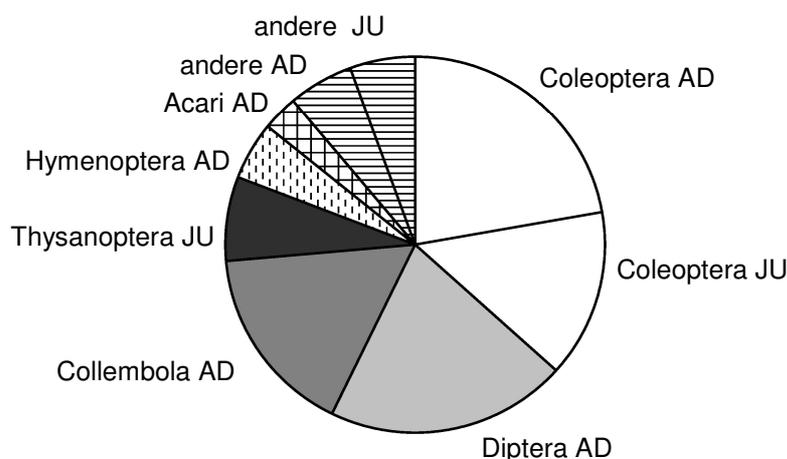
Eine weitere Konzentration von Tieren im Schwemmgut kommt zu Stande, wenn Auwälder grossflächig überschwemmt werden. Auf der Gewässeroberfläche treibendes Holz und andere Pflanzenteile werden dann von zahlreichen Tieren als „Hochwasserrefugien“ aktiv aufgesucht (Gerken 1988, Siepe 1994, Braccia & Datzer 2001). Wird ein überschwemmter Auwald von einer zweiten, grösseren Hochwasserwelle durchflutet, gelangen solche schwimmenden Inseln samt ihrer Organismenfracht in die Flüsse.

Versuche belegen, dass terrestrische Gehäuseschnecken fähig sind, sogar in der Strömung (!) auf schwimmende Holzstücke zu gelangen (Tenzer 2001, 2003). Verhaltensweisen wie diese lassen die Vermutung zu, dass sich auetypische Tiere im Evolutionsprozess an das Ausbreitungsmedium Schwemmgut angepasst haben. Aus marinen Systemen existieren Beispiele morphologischer und physiologischer Anpas-

sungen terrestrischer Kleintiere an den Wassertransport (Jokiel 1990, Houle 1998, Coulson et al. 2002).

**Tab. I-1.** Individuendichten terrestrischer Wirbelloser im Schwemmgut von Fließgewässern; \* Vergleichswerte Bodenfauna: Individuendichten für Optimalhabitat in einem Bodenblock von 1 m<sup>2</sup> Grundfläche mit beliebiger Tiefe (aus Dunger 1983). Die Tabellenwerte wurden für eine nutzbare Tiefe von 0.2 m berechnet; \*\* umgerechnet von Ind./gTG auf Ind./L (Umrechnungsfaktor nach Schälchli et al. 1997).

	<b>Boden*</b>	<b>Schwemmgut</b>		<b>Bemerkungen</b>	<b>Gewässer</b>	<b>Referenz</b>
	<i>Ind./100L</i>	<i>Ind./100L</i>	<i>Ind./100gTG</i>			
<b>Aranea</b>	100	48		lebende Tiere	Lahn (D)	Tenzer (2003)
		204	2.5	lebende Tiere	Aare (CH)	Trottmann (nicht publ.)
<b>Coleoptera</b>	300	600-800		k. A. über Anteile lebender Tiere	Oberrhein (D)	Siepe (1989)
		779		„	Lahn, Weschnitz (D)	Tenzer (2000)
		1'214		„	Lahn, Weschnitz (D)	Tenzer (2000)
		2'181	26.8	lebende Tiere	Aare (CH)	Trottmann (nicht publ.)
		1'962		„	Lahn (D)	Tenzer (2003)
		2'960		„	Oberweser (D)	Gerken (1998)
		5'000		„	Rhein, Wupper (D)	Boness (1975)
<b>Diptera</b>	500	1'213	14.9	„	Aare (CH)	Trottmann (nicht publ.)
		5'000		k. A. über Anteile lebender Tiere	Rhein, Wupper (D)	Boness (1975)
<b>Hymenoptera</b>	-	93		lebende Tiere	Lahn (D)	Tenzer (2003)
		293	3.6	„	Aare (CH)	Trottmann (nicht publ.)
		25'000		k. A. über Anteile lebender Tiere	Rhein, Wupper (D)	Boness (1975)
<b>Gastropoda</b>	500	1'724		lebende Tiere	Rhein (D)	Tenzer (2003)
		[2'500]**	30	k. A. über Anteile lebender Tiere	Tagliamento (It)	Langhans (2000)



**Abb. I-2.** Relative Taxazusammensetzung der lebenden terrestrischen Wirbelloser im Schwemmgut der Aare am Rechen des Wasserkraftwerks Beznau (CH); AD: adult, JU: juvenil; n = 19.

## 2.2 Transport

Ungefähr die Hälfte der terrestrischen Wirbellosen im Schwemmgut von Fließgewässern werden in Form von Eiern oder juvenilen Stadien transportiert (Boness 1975; Trottmann, nicht publiziert). Dabei sind offen liegende Larven und Puppen vielfach beschädigt und nicht mehr lebensfähig. Im Inneren von morschem Holz, Pflanzenstängeln, Früchten und Gallen hingegen überstehen sie den Transport meist unbeschadet (Boness 1975).

Schwimmfähige Tiere wie adulte Käfer, Spinnen, Springschwänze und Schnecken sind im Prinzip nicht auf Schwemmgut als Ausbreitungsmedium angewiesen (z.B. Rapoport & Sanchez 1963, Gettmann 1978, Siepe 1994, Dörge et al. 1999). Es existieren aber Hinweise darauf, dass auch bei solchen Tieren die Verlustraten in der freien Drift wesentlich höher sind als beim Transport im Schwemmgut. So zeigen z.B. Versuche mit Gehäuseschnecken, dass die Individuenzahlen frei driftender Tiere mit zunehmender Distanz exponentiell abnehmen, während die Verlustraten bei der Verfrachtung im Schwemmgut geringer sind (Tenzer 2003).

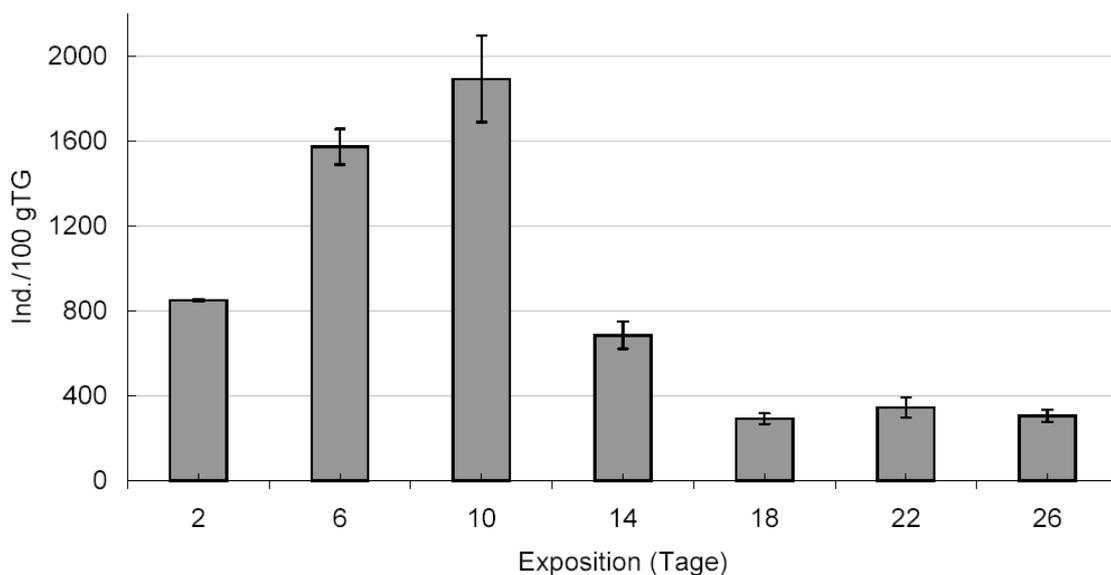
Schwimmende Geniste sind mobile Lebensräume, in denen Kleintiere einen Wassertransport während Tagen und Wochen überleben können und dabei grosse Distanzen überwinden (Junk 1973, Houle 1998). So gilt es z.B. als gesichert, dass die Wiederbesiedlung der Vulkaninsel Krakatau (nach dem Ausbruch von 1883) u.a. durch Tiere erfolgte, die auf schwimmenden Inseln aus Pflanzenteilen dorthin verfrachtet worden waren (Thornton 1996, Gathorne-Hardy & Jones 2000). Für die maximalen Ausbreitungsdistanzen terrestrischer Wirbelloser über mitteleuropäische Fließgewässer während einzelner Hochwasserereignisse werden Werte zwischen 20 km (Tenzer 2003) und 300 km (Czogler & Rotarides 1938) angegeben.

## 2.3 Besiedlung

Das Verlassen der fließenden Welle ist ungleich schwieriger als der Eintritt. Viele frei driftende Tiere schaffen den Sprung zurück an Land vermutlich nicht. Dem gegenüber haben Individuen, die assoziiert mit Pflanzenteilen transportiert werden, aufgrund ihres sperrigen Vehikels, eine höhere Chance, an Strukturen im Uferbereich hängen zu bleiben.

Von strukturierten Ufern profitieren aber auch frei driftende Organismen. In Schwemmgutteppichen an Strömungshindernissen ordnen sich Schwimmstoffe ihrer Größe nach ein. Auf diese Weise entsteht ein natürlicher Filter, der zum proximalen Rand hin kontinuierlich feiner wird (Abb. I-1). Auf der Oberfläche driftende Organismen werden von solchen Schwemmgutteppichen aufgehalten (Fittkau 1976) und erhalten so die Möglichkeit an Land zu gelangen.

Bei sinkenden Wasserständen bleiben Akkumulationen von Schwemmgut auf den Uferbänken zurück. Im Innern bleiben solche Hochwassergeniste noch lange feucht und bilden Bruträume für die transportierten Eier, Larven und Puppen. Geschützt vor Austrocknung und UV-Strahlung können sich diese über Tage und Wochen zu adulten Tieren entwickeln. Schwemmgut hat dadurch die Funktion einer Diasporenbank, von der aus die angrenzenden Habitate besiedelt werden (Abb. I-3).



**Abb. I-3.** Mittlere Individuenzahlen der aus Schwemmgut der Aare emergierten terrestrischen Wirbellosen (Makroinvertebraten) in 4-Tages-Intervallen;  $n = 3$ , Fehlerbalken: SE.

Nicht alle Tiere haben jedoch Anlass ihr Ausbreitungsmedium am neuen Standort zu verlassen. Wie erwähnt (vgl. 2.1) dient ihnen das betreffende organische Material bereits vor der Ausbreitung als Habitat – und es erfüllt ihre Lebensraumanforderungen auch nach dem Wassertransport. Panek & Siegl (1996) konnten zeigen, dass ältere Hochwassergeniste sogar höhere Individuendichten aufweisen als flottierendes oder frisch abgelagertes Schwemmgut. Hochwassergeniste sind also nicht nur Ausgangsorte von Besiedlungsprozessen sondern werden ihrerseits von

Tieren aus angrenzenden Habitaten besiedelt. Auf diese Weise findet eine Durchmischung der angeschwemmten und der ansässigen Fauna statt.

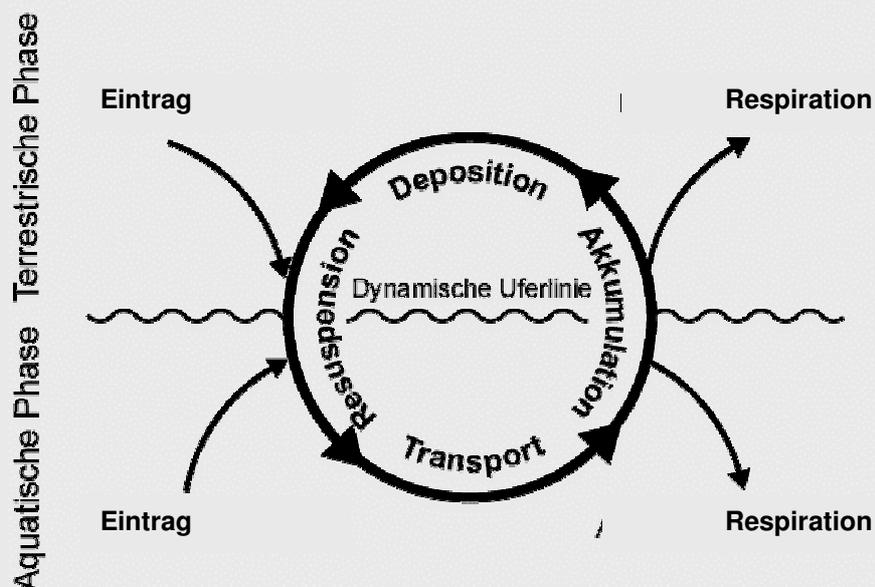
## **2.4 Fazit**

Schwemmgut hat ein grosses Potential als Ausbreitungs- und Etablierungsmedium für auetypische Tiere und Pflanzen, da es gleichzeitig Lebensraum, Vektor und Diasporenbank ist. Da im Schwemmgut Vertreter derselben Tierarten in grossen Konzentrationen transportiert werden, können sich lebensfähige Populationen an Standorten etablieren, an denen zuvor noch keine Artgenossen vorkamen. Schwemmgut ist damit eine Keimzelle der Neu- und Wiederbesiedlung von Auenstandorten (Gerken et al. 1998, Gerken & Dörfer 2002).

Hydrochore Ausbreitung kann nur dann effizient sein, wenn alle drei der geschilderten Schritte (Eintritt, Transport und Besiedlung) von möglichst vielen Individuen erfolgreich absolviert werden. Entscheidend für den Ausbreitungserfolg ist, neben der Verfügbarkeit von geeigneten Lebensräumen, eine intakte Schwemmgutdynamik (Andersson et al. 2000). Motor der Schwemmgutdynamik in Fließgewässern sind steigende und fallende Wasserstände. Als intakt kann sie dann bezeichnet werden, wenn organisches Material einen zyklischen Phasenwechsel zwischen Wasserpassage und Anlandung durchläuft und dabei etappenweise flussabwärts transportiert wird (Abb. I-4). Dies bedingt einerseits, dass Uferbereiche und Auen periodisch überschwemmt werden (hydrologische Konnektivität) und andererseits, dass die longitudinale Durchgängigkeit der Flüsse und Bäche gewährleistet ist. Die ökologischen Folgen von Gewässerverbauungen und Entnahmen von Schwemmgut an Wasserkraftwerken müssen deshalb auch mit Fokus auf die hydrochore Ausbreitung terrestrischer Organismen diskutiert werden (Tockner et al. 2002, Tockner & Langhans 2003). Diese Diskussion findet bisher noch kaum statt.

**Box I-2. Schwemmgut als strukturelles und funktionelles Vernetzungselement**

■ Eingebunden in die Abflussdynamik durchläuft natürliches Schwemmgut in stetem Wechsel stationäre und mobile Phasen (Abb. I-4). Es initiiert und katalysiert dabei grundlegende hydrologische, morphologische und biologische Prozesse (Tab. I-2). Eine Gesamtschau der ökologischen Funktionen von Schwemmgut in Fließgewässern lässt erkennen, dass es – je nach Phase und Größenklasse – lateral, vertikal oder longitudinal vernetzend wirkt.



**Abb. I-4.** Schwemmgutdynamik in Fließgewässern (verändert nach Tockner & Langhans 2003).

**Laterale Vernetzung**

Grobes Schwemmh Holz fördert Erosions- und Akkumulationsprozesse der Gewässerufer (Kail & Hering 2003). Die damit verbundene Dynamisierung der Uferlinie erhöht die hydrologische Konnektivität zwischen Fluss und Aue (Tockner et al. 2002). Letztere ist eine Grundvoraussetzung für laterale Austauschprozesse (Amoros & Roux 1988, Heiler et al. 1995).

Flottierende Schwemmgutteppiche im Uferbereich von Fließgewässern werden durch terrestrische und aquatische Organismen besiedelt. Dies führt zu Verknüpfungen in den Nahrungsketten über die Grenze Land/Wasser hinweg (Braccia & Datzler 2001, Tockner et al. 2002).

**Vertikale Vernetzung**

Akkumulationen von grobem Schwemmgut auf der Gewässersohle erhöhen lokal das Fließgefälle, was zu einer verstärkten Durchstömung der Sedimente führt (Pusch et al. 1998). Über diesen vertikalen Wasseraustausch gelangen partikuläre und gelöste Stoffe aus dem Flusswasser tief in die Kiessohle, wo sie mikrobiell abgebaut werden. Dies hat einen positiven Effekt auf die Selbstreinigungskraft eines Gewässers (Pusch et al. 1999b). Flüsse ohne Totholz haben dagegen eine monotone Bodenstruktur. Die Sedimente kolmatieren und mikrobieller Abbau findet nur noch in den obersten Zentimetern der Gewässersohle statt.

In Gewässern akkumuliertes Schwemmholt wird rasch besiedelt (France 1997, Lemly & Hilderbrand 2000). Seine feste Matrix bietet mehr Halt als die Steine der Gewässersohle (Hoffmann & Hering 2000). Zu stationären Genisten aufgetürmt, macht Schwemmholt die Wassersäule vertikal zugänglich für filtrierende Organismen und schafft so vielfältigere Nahrungsnetze.

**Longitudinale Vernetzung**

Die Systemkreisläufe entlang von Flüssen werden über das fließende Wasser mit organischem Material und Organismen aus dem Einzugsgebiet gespeist. Auf diese Weise vernetzt Schwemmgut Produzenten im Oberlauf mit Konsumenten im Unterlauf (Vannote et al. 1980) und sorgt für einen Genstransfer von flussaufwärts gelegenen Populationen hin zu solchen flussabwärts (Arter 1990, Akcakaya & Baur 1996). Aquatische und terrestrische Lebensgemeinschaften sind an diesen steten Zustrom angepasst. Wird er unterbrochen, beispielsweise durch Staustufen, entwickeln sich die Ökosysteme im Oberlauf und im Unterlauf auseinander, flussabwärts nimmt die Artenvielfalt ab (Andersson et al. 2000). ■

**Tab I-2.** Zusammenstellung der Funktionen von grobem Schwemmholt in Fließgewässern. Die Pfeile stehen stellvertretend für „Erhöhung“ oder „Verstärkung“ durch die Präsenz von grobem Schwemmholt.

<sup>1</sup>(Harmon et al. 1986, Maser & Sedell 1994, Gurnell et al. 1995), <sup>2</sup>(Pusch 1996, Pusch et al. 1998), <sup>3</sup>(Evans & Petts 1997, Claret et al. 2002), <sup>4</sup>(Abbe & Montgomery 1996), <sup>5</sup>(Gunkel 1996), <sup>6</sup>(Bunt et al. 1999, Solazzi et al. 2002), <sup>7</sup>(Smock 1989, Borchardt 1993), <sup>8</sup>(Tockner et al. 2002)

HYDRO-MORPHOLOGISCHE FUNKTIONEN	ÖKOLOGISCHE FUNKTIONEN
<b>STRÖMUNGSWIDERSTAND ↑</b>	
Diversifizierung der Fließgeschwindigkeit <sup>1</sup>	Habitatvielfalt ↑ <sup>1</sup>
Durchströmung der Sedimente ↑ <sup>2</sup>	Abbaurrate organischer Stoffe ↑ <sup>2</sup>
Vertikaler Wasseraustausch ↑ <sup>2</sup>	Abbaurate organischer Stoffe ↑ <sup>2</sup>
Temperatur-Heterogenität ↑ <sup>3</sup>	Habitatvielfalt ↑ <sup>1</sup>
Sedimentumlagerung ↑ <sup>1</sup>	
Neubildung von Kolken <sup>1, 4</sup>	Refugium für Fische u. Makrozoobenthos <sup>6, 7</sup>
Diversifizierung der Sedimentzusammensetzung <sup>1</sup>	Struktur- u. Habitatvielfalt ↑ <sup>1</sup>
Ufererosion/-stabilisierung ↑ <sup>1</sup>	
Breitenvarianz ↑ <sup>1</sup>	Struktur- u. Habitatvielfalt ↑ <sup>1</sup>
Remändrierung ↑ <sup>1, 5</sup>	Struktur- u. Habitatvielfalt ↑ <sup>1</sup>
<b>FESTSTOFFRÜCKHALT ↑</b>	
Sohlenanhebung <sup>1</sup>	Vernetzung mit terrestrischem Umland ↑ <sup>8</sup>
Neubildung von Kiesbänken <sup>1</sup>	Struktur- u. Habitatvielfalt ↑ <sup>1</sup>
Neubildung von Genist <sup>1</sup>	positive Rückkopplung

### 3 Forschungsbedarf

Während mit der Erforschung der strukturellen und funktionellen Wirkungen des Schwemmgutes auf aquatische Lebensgemeinschaften bereits Mitte der 80er Jahre begonnen wurde (u.a. Harmon et al. 1986), gewinnt seine Bedeutung für terrestrische Organismen erst seit einigen Jahren an Aufmerksamkeit. Das bisherige Wissen über die hydrochore Ausbreitung von Tieren und Pflanzen mit Schwemmgut basiert hauptsächlich auf Fallbeispielen; systematische Untersuchungen fehlen dagegen weitgehend (Robinson et al. 2002). In der Naturschutzpraxis besteht grosses Interesse an vertieften Kenntnissen über die Funktion von Schwemmgut als Lebensraum und Ausbreitungsmedium (Gerken et al. 1998, Gerken & Dörfer 2002). Offene Fragen sind beispielsweise:

- Welche Anpassungen an die hydrochore Ausbreitung sind bei auetypischen Tier- und Pflanzenarten vorhanden? (vgl. Siepe 1994, Bill et al. 1999).
- Welchen Einfluss hat eine intakte Schwemmgutdynamik auf die Ausbreitung invasiver Tier- und Pflanzenarten entlang von Fliessgewässern? (vgl. Jaekel 1960).
- Welchen Stellenwert haben Diasporenbanken für die Beständigkeit von Tier- und Pflanzenpopulationen in dynamischen Auen? (vgl. Andersson et al. 2000, Bill 2000).

Grosse Erkenntnisgewinne könnten wissenschaftlich begleitete Pilotprojekte zur Wiedereinspeisung von Schwemmgut an Wasserkraftwerken bieten. Hier wäre direkt messbar, welche Effekte eine Erhöhung der Durchgängigkeit auf die Lebensgemeinschaften entlang von Fliessgewässern hat. Im letzten Teil dieses Artikels machen wir Vorschläge, wie ein solches Schwemmgut-Management-System konkret aussehen könnte.

## 4 Behandlung von Schwemmgut an Wasserkraftwerken

### 4.1 Kontraproduktive Gesetzgebung

Die Gewässerschutzgesetze Österreichs, Deutschlands, der Schweiz und anderer europäischer Länder schreiben vor, dass an Wasserkraftwerken entnommenes Schwemmgut nicht mehr in die Gewässer zurückgeführt werden darf. Die Betreiber der Anlagen sind verpflichtet, ihr Rechengut auf eigene Kosten fachgerecht zu entsorgen. Einen Überblick über die europäische Gesetzgebung bezüglich Schwemmgut gibt Kibele (2002).

Die ersten Gesetzesartikel zum Gewässerschutz wurden zu einer Zeit erlassen, als die Gewässerverschmutzung gravierende Ausmasse angenommen hatte. Aufgrund der damals hohen Anteile an Zivilisationsmüll wurde Schwemmgut pauschal als Abfall betrachtet, den es aus den Gewässern zu entfernen galt (Beyeler 1997). Mit der Einführung von Recycling-Systemen hat die Belastung der Gewässer mit Feststoffen stark abgenommen. Zivilisationsmüll macht heute in Österreich, Deutschland und der Schweiz im Durchschnitt nur noch 5 % des Schwemmgutes aus (Giesecke & Heimerl 2000, Hauenstein 2003, ÖAWAV 2004). Der grosse Rest ist pflanzliches Material, vor allem Totholz. Daraus ergibt sich eine paradoxe Situation: Im Namen des Gewässerschutzes werden jährlich Tausende Tonnen Bäume, Wurzelstöcke und anderes pflanzliches Material aus den Flüssen entfernt und vernichtet. Die Kraftwerksbetreiber müssen dafür grosse Summen aufwenden (vgl. Box I-3 oben), trotz übereinstimmender Belege, dass v.a. grobes Totholz für die ökologische Qualität der Gewässer von hervorragender Bedeutung ist (Box I-2). In mitteleuropäischen Gewässerökosystemen herrscht heute ein Mangel an natürlichem Schwemmgut (Hering et al. 2000).

#### Box I-3. Beispiele

##### Exkurs in die heutige Entsorgungspraxis

■ In Österreich wird das Rechengut der 9 Donaukraftwerke in der Biomasseanlage Aschach zur Wärmeenergiegewinnung verbrannt. In Deutschland und der Schweiz wird Rechengut ebenfalls thermisch genutzt. Alternativ dazu wird kompostiert. Diesen Entsorgungswegen ist gemeinsam, dass vorgängig eine Abtrennung der anthropogenen Abfälle erfolgen muss. Längst nicht alle Kraftwerke machen dies selber. Viele lassen ihr Rechengut von Entsorgungsfirmen abholen und verwerten. Der Transport erfolgt auf der Strasse, z.T. über grosse Distanzen. Wurzelstöcke können, aufgrund eingewachsener Steine, nur mit schweren Häckslern zerkleinert werden. Solche Spezialgeräte sind rar, was die Entsorgung verteuert. Ein Beispiel: Im Juni 2004 entsorgten die Kraftwerke Flumenthal,

Ruppoldingen und Gösgen an der Aare (CH) während eines Hochwassers, das statistisch einmal jährlich auftritt, in fünf Tagen 502 Tonnen Schwemmgut. Das entspricht ca. 62 Lastwagenladungen. Die Transport- und Entsorgungskosten beliefen sich auf rund 49'000 Euro (Daten: U. Hofstetter, Atel).

### **Der Etappenplan des Verbandes Aare-Rhein-Werke**

Die Kraftwerksgesellschaften der vier grossen Flüsse im Kanton Aargau schlossen 1973 gemeinsam mit den Behörden eine Vereinbarung über die Entsorgung von Rechengut ab – den Etappenplan (Beyeler 1997). Dieser befreit einzelne Kraftwerke innerhalb einer Kette von der Entsorgungspflicht. Sie dürfen ihr Rechengut weiterspülen. Entnommen wird dieses vom nächsten entsorgungspflichtigen Werk. Die Auflagen des Gewässerschutzgesetzes sind damit erfüllt. Ein Ausgleichsschlüssel regelt die gerechte Verteilung der Kosten zwischen den Gesellschaften. Am Rhein wurde der Etappenplan inzwischen durch bilaterale Verträge abgelöst, die auf derselben Grundidee basieren.

### **Einfache technische Lösung zur Abtrennung von Zivilisationsabfällen**

Beim Wasserkraftwerk Beznau an der Aare wird das Rechengut über die Schwemmrinne in ein Auffangbecken gespült, das durch einen Senkbalken vom Fluss getrennt ist (Abb. I-5). Der Balken hält die schwimmfähigen Anteile des Rechengutes zurück, darunter erhebliche Mengen an PET-Flaschen und Kunststoffverpackungen. Gleichzeitig erlaubt die Konstruktion, dass diejenigen Anteile des Rechengutes, welche sich mit Wasser vollsaugen und allmählich nach unten sinken, unter dem Balken hindurch zurück in den Fluss geschwemmt werden. Das sind vor allem Blätter, Gras, Wasserpflanzen und morsches Holz. Zivilisationsabfälle dagegen sind kaum dabei. ■



**Abb. I-5.** Senkbalken beim Ausfluss eines Geschwemmselbeckens.

## 4.2 Anthropogene Abfälle als Herausforderung

Das Haupthindernis für eine Wiedereinspeisung des aus betrieblichen Gründen entnommenen Schwemmgutes ins Unterwasser der Kraftwerke sind die beigemengten anthropogenen Abfälle – trotz ihres relativ geringen Anteils. Kunststoffverpackungen und PET-Flaschen in Flüssen sind zwar nicht umweltgefährdend, werden aber als ästhetische Beeinträchtigung wahrgenommen. Zur Zeit liegen noch keine Publikationen darüber vor, wie eine Reinigung und Rückführung des Rechengutes in die Gewässer rationell gehandhabt werden könnte. Zur Reduktion der Zivilisationsabfälle wären sowohl technische Lösungen denkbar (Box I-3 unten) als auch sporadische Reinigungsaktionen der Uferbereiche durch den Gewässerunterhalt, das Kraftwerkspersonal oder Dritte. Im Nationalpark Donau-Auen hat man damit bereits Erfahrung. Mitarbeiter, Fischereivereine und freiwillige Helfer reinigen laufend Teile des Gebietes. Dadurch werden Zivilisationsabfälle – trotz unmittelbarer Nähe zur Millionenstadt Wien – kaum mehr als Problem empfunden (C. Baumgartner, mdl. Mitteilung).

## 4.3 Entwicklung von Schwemmgut-Management-Systemen

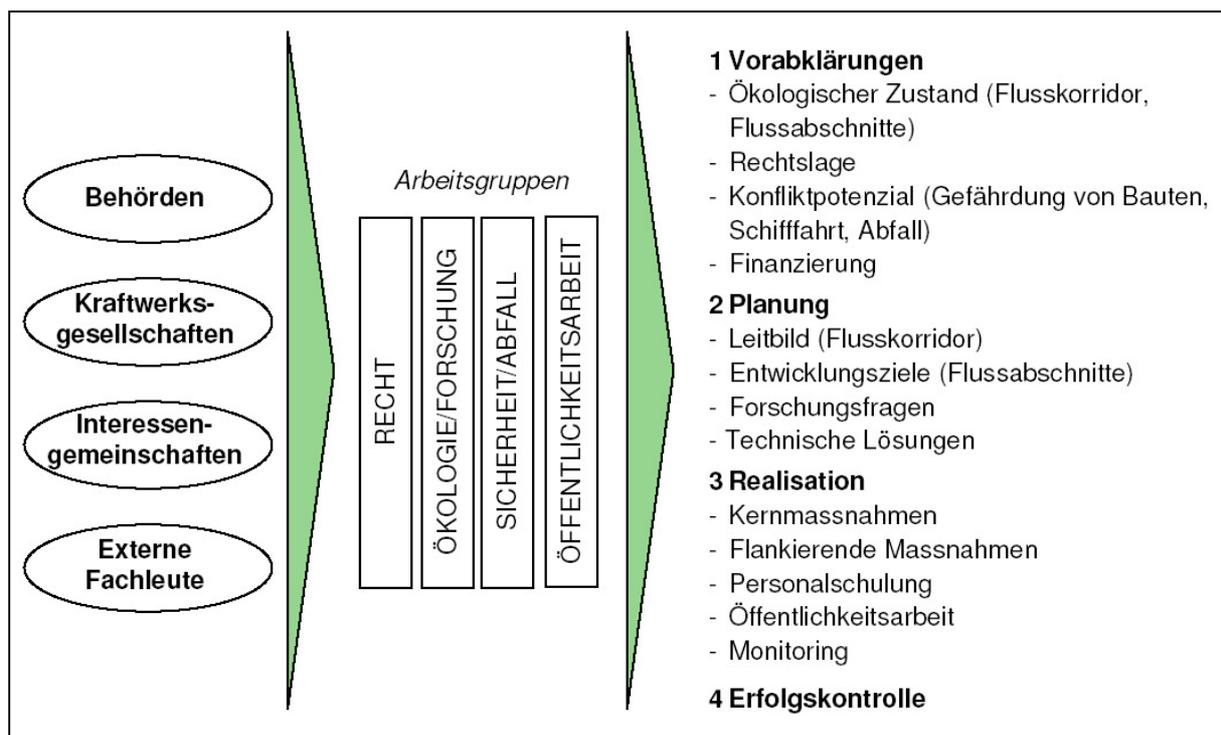
Der erste Schritt hin zu einem umweltverträglichen Umgang mit Schwemmgut besteht in einer Reinterpretation des Verbots, Rechengut wieder einzubringen. Die entsprechenden Paragraphen schreiben vor, dass feste Stoffe nicht zu dem Zweck in ein Gewässer eingebracht werden dürfen, *sich ihrer zu entledigen* – hingegen ist das Einbringen von Feststoffen *zwecks ökologischer Aufwertung* erlaubt und wird bereits praktiziert. Ein Beispiel: Das Wasserkraftwerk Bannwil an der Aare (CH) lässt angeschwemmte Wurzelstöcke durch ein Unternehmen abholen, welches diese zur naturnahen Gestaltung von Bachläufen einsetzt (F. Grogg, mdl. Mitteilung). Die Rückführung von Schwemmgut in die Gewässer ist hier Realität, wenn auch auf einem Umweg.

Im Sinne der grundlegenden Zielsetzung der Gewässerschutzgesetze, der Erhaltung der natürlichen Funktionsfähigkeit, sollten Behörden, Kraftwerksgesellschaften und Naturschutzfachleute gemeinsam Lösungen entwickeln, die der ökologischen Bedeutung des Schwemmgutes Rechnung tragen. Aus einer solchen Zusammenarbeit könnten Pilotprojekte zum Management von Schwemmgut an hydroelektrisch genutzten Flüssen resultieren (Abb. I-6).

Eine wesentliche ökologische Aufwertung der Gewässer könnte rasch realisiert werden, indem die groben Anteile des Rechengutes, wie Baumstämme und Wurzel-

stöcke, ins Unterwasser der Kraftwerke eingespeist, bzw. auf den konzessionierten Strecken gezielt zur Ablagerung gebracht würden (Pusch et al. 1999a).

Zivilisationsabfälle wären hierbei kein Hindernis, da grobes Totholz nicht mit dem restlichen Geschwemmsel gezogen (Rechenreinigungsmaschine), sondern manuell vom Rechen entfernt wird und damit frei von Verunreinigungen ist.



**Abb. I-6.** Organisationsskizze und möglicher Ablauf eines Pilotprojektes zur Wiedereinspeisung von Rechengut an Wasserkraftwerken.

#### 4.4 Ausblick

Bei den Kraftwerksgesellschaften ist ein über Jahrzehnte gewachsenes Know-how im Umgang mit Schwemmgut vorhanden. Bereits heute existieren innovative Lösungen (Box-I-3, Mitte). Wenn die gesetzliche Hürde einmal überwunden ist, werden die Werke alles Interesse daran haben, vor Ort kostengünstige Methoden zur Abtrennung anthropogener Abfälle zu entwickeln. Vor kurzem gründete die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (ATV-DVWK) die Arbeitsgruppe „Rechengutbehandlung an Gewässern“ (Heimerl et al. 2003). Von dieser sind in naher Zukunft weitere konkrete Vorschläge für einen umweltverträglichen Umgang mit Schwemmgut zu erwarten.

## 5 Literatur

- Abbe, T. B. & D. R. Montgomery. 1996. Large woody debris jams, channel hydraulics and habitat formation in large rivers. *Regulated Rivers: Research and Management* **12**:201–221.
- Abbot, D. T. & D. A. Crossley. 1982. Woody litter decomposition following clear-cutting. *Ecology* **63**:35-42.
- Akcakaya, H. R. & B. Baur. 1996. Effects of population subdivision and catastrophes on the persistence of a land snail metapopulation. *Oecologia* **105**:475-483.
- Amoros, C. & A. L. Roux. 1988. Interaction between waterbodies within the floodplain of large rivers: function and development of connectivity. Pages 125-130 in K.-F. Schreiber, editor. *Connectivity in Landscape Ecology, Proceedings of the 2nd International Seminar of the International Association of Landscape Ecology*, Münster.
- Andersson, E., C. Nilsson & M. E. Johansson. 2000. Effects of river fragmentation on plant dispersal and riparian flora. *Regulated Rivers: Research and Management* **16**:83-89.
- Arter, H. E. 1990. Spatial relationship and gene flow paths between populations of the alpine snail *Arianta arbustorum* (Pulmonata: Helicidae). *Evolution* **44**:966-980.
- Beyeler, P. C. 1997. Der Etappenplan des Verbandes Aare-Rheinwerke. Entsorgung von Geschwemmsel. *Verbandsschrift des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes*. **58**:35-46.
- Bill, H.-C. 2000. Besiedlungsdynamik und Populationsbiologie charakteristischer Pionierpflanzen nordalpiner Wildflüsse. Dissertation. Philipps-Universität, Marburg.
- Bill, H.-C., P. Poschlod, M. Reich & H. Plachter. 1999. Experiments and observations on seed dispersal by running water in an Alpine Floodplain. *Bulletin of the Geobotanical Institute ETH* **65**:13-28.
- Boettger, C. R. 1929. Untersuchungen zur Entstehung eines Faunenbildes. Zur Zoogeographie der Weichtiere Schlesiens. *Zeitschrift für Morphologie und Ökologie der Tiere Abteilung A* **6**:333-414.
- Boness, M. 1975. Arthropoden im Hochwassergenist von Flüssen. *Bonner zoologische Beiträge* **26**:383-401.
- Bonn, S. & P. Poschlod. 1998. *Ausbreitungsbiologie der Pflanzen Mitteleuropas. Grundlagen und kulturhistorische Aspekte*. Quelle & Meyer, Wiesbaden.

- Borchardt, D. 1993. Effects of flow and refugia on drift loss of benthic macroinvertebrates: implications for habitat restoration in lowland streams. *Freshwater Biology* **29**:221-227.
- Borchert, J. 1992. Flusskorridore als überregionale Verbundstrukturen. *Natur und Landschaft* **67**:413-418.
- Braccia, A. & D. P. Datzler. 2001. Invertebrates associated with woody debris in a southeastern U.S. forested floodplain wetland. *Wetlands* **21**:18-31.
- Brown, J. H. & A. Kodric-Brown. 1977. Turnover rates in insular biogeography: effect of immigration on extinction. *Ecology* **58**:445-449.
- Bunt, C. M., S. J. Cooke, C. Katopodis & R. S. McKinley. 1999. Movement and summer habitat of brown trout (*Salmo trutta*) below a pulsed discharge hydroelectric generating station. *Regulated Rivers: Research and Management* **15**:395-403.
- Claret, C., J. V. Ward & K. Tockner. 2002. Temperature heterogeneity of interstitial water in island-associated water bodies of a dynamic flood plain. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie* **28**:345-351.
- Coulson, S. J., I. D. Hodgkinson, N. R. Webb & J. A. Harrison. 2002. Survival of terrestrial soil dwelling arthropods on and in seawater: implications for transoceanic dispersal. *Functional Ecology* **16**:353-356.
- Czogler, K. & M. Rotarides. 1938. Analyse einer vom Wasser angeschwemmten Molluskenfauna. *Arbeiten des Ungarischen Biologischen Forschungsinstituts* **10**:8-43.
- Dörge, N., C. Walter, B. Beinlich & H. Plachter. 1999. The significance of passive dispersal for distribution and persistence in terrestrial snails (Gastropoda, Pulmonata). *Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz* **8**:1-10.
- Dunger, W. 1983. *Tiere im Boden*. A. Ziemsen Verlag, Wittenberg Lutherstadt.
- Ellenberg, H. 1988. *Vegetation ecology of central Europe*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Evans, E. C. & G. E. Petts. 1997. Hyporheic temperature patterns within riffles. *Hydrological Sciences-Journal-des-Sciences Hydrologique* **42**:199-213.
- Fager, E. W. 1968. The community of invertebrates in decaying oak wood. *Journal of Animal Ecology* **7**:121-142.
- Fittkau, E. J. 1976. Kinal und Kinon, Lebensraum und Lebensgemeinschaft der Oberflächendrift am Beispiel amazonischer Fließgewässer. *Biogeographica* **7**:101-113.

- France, R. L. 1997. Macroinvertebrate colonization of woody debris in Canadian shield lakes following riparian clearcutting. *Conservation Biology* **11**:513-521.
- Gathorne-Hardy, F. L. & D. T. Jones. 2000. The recolonization of the Krakatau island by termites (Isoptera) and their biogeographical origins. *Biological Journal of the Linnean Society* **71**:251-267.
- Gerken, B. 1988. Auen - verborgene Lebensadern der Natur. Rombach, Freiburg.
- Gerken, B., H. Böttcher, F. Böwingloh, K. Dörfer, C. Leushacke-Schneider, A. Robinson & M. Wienhöfer. 1998. Treibgut und Genist - Landschaftsmüll oder Quelle und Antrieb dynamischer Lebensvorgänge in Auen? Auenregeneration, Fachbeiträge **1**:1-24.
- Gerken, B. & K. Dörfer. 2002. Auenregeneration an der Oberweser. *Angewandte Landschaftsökologie* **46**:91-97.
- Gettmann, W. W. 1978. Untersuchungen zum Nahrungsspektrum von Wolfsspinnen (Lycosidae) der Gattung Pirata. *Mitteilungen der deutschen Gesellschaft für allgemeine angewandte Entomologie* **1**:63-66.
- Giesecke, J. & S. Heimerl. 2000. Treibgut an Wasserkraftanlagen - ist die vollständige Entnahme heute noch zeitgemäss? *Wasserwirtschaft* **90**:294-299.
- Gunkel, G. 1996. Renaturierung kleiner Fließgewässer. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Gurnell, A. M., K. J. Gregory & G. E. Petts. 1995. The role of coarse woody debris in forest aquatic habitats: implications for management. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems* **5**:143-166.
- Harmon, M. E., J. F. Franklin, F. J. Swanson, P. Sollins, S. V. Gregory, J. D. Lattin, N. H. Anderson, S. P. Cline, N. G. Aumen, J. R. Sedell, G. W. Lienkaemper, K. Cromack Jr. & K. W. Cummins. 1986. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in Ecological Research* **15**:133-302.
- Hauenstein, W. 2003. Entsorgungspflicht versus Nutzen von Totholz im Gewässer - ein Interessenkonflikt für die Wasserkraft. *Wasser Energie Luft* **11/12**:363-366.
- Heiler, G., T. Hein, F. Schiemer & G. Bornette. 1995. Hydrological connectivity and flood pulses as the central aspects for the integrity of a river-floodplain system. *Regulated Rivers: Research and Management* **11**:351-361.
- Heimerl, S., J. Giesecke & K. Kibele. 2003. Neuinterpretation der Schwemmgutbehandlung an Wasserkraftanlagen in der Bundesrepublik Deutschland? *Wasser Energie Luft* **11/12**:363-366.

- Hering, D., J. Kail, S. Eckert, M. Gerhard, E. I. Meyer, M. Mutz, M. Reich & I. Weiss. 2000. Coarse woody debris quantity and distribution in central European streams. *International Review of Hydrobiology* **85**:5-23.
- Hoffmann, A. & D. Hering. 2000. Wood-associated macroinvertebrate fauna in central European streams. *International Review of Hydrobiology* **85**:25-48.
- Houle, A. 1998. Floating islands: a mode of long-distance dispersal for small and medium-sized terrestrial vertebrates. *Diversity and Distribution* **4**:201-216.
- Jaekel, S. 1960. In Schleswig-Holstein eingeschleppte Land-, Süßwasser und Brackwassermollusken. *Schriften der Naturwissenschaftlichen Vereinigung Schleswig-Holsteins*. **31**:56-65.
- Jokiel, P. L. 1990. Long-distance dispersal by rafting: reemergence of an old hypothesis. *Endeavor* **14**:66-73.
- Junk, W. J. 1973. Investigations on the ecology and production-biology of the "floating meadows" (*Paspalo-Echinochloetum*) of the middle Amazon. Part II. The aquatic fauna in the root zone of floating vegetation. *Amazoniana* **4**:9-102.
- Kail, J. & D. Hering. 2003. Renaturierung von Fließgewässern mit Totholz. *Wasser Energie Luft* **95**:355-357.
- Katenhusen, O. 2001. Die Ausbreitung von Pflanzen durch Hochwasser in norddeutschen Flusslandschaften. *Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz* **9**:225-236.
- Kibebe, K. 2002. Eine gestörte Beziehung: Die Juristen und das Rechengut. *Wasserwirtschaft* **92**:30-33.
- Langhans, S. D. 2000. Schwemmgut: Indikator der ökologischen Integrität einer Flussaue. Diplomarbeit. ETH Zürich.
- Lemly, A. D. & R. H. Hilderbrand. 2000. Influence of large woody debris on stream insect communities and benthic detritus. *Hydrobiologia* **421**:179-185.
- Malanson, G. P. 1993. *Riparian Landscapes*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Maser, C. & J. R. Sedell. 1994. *From the forest to the sea - the ecology of wood in streams, rivers, estuaries and oceans*. St. Lucie Press, Delray Beach.
- Mühlenberg, M. 1993. *Freilandökologie*, 3. A. edition. Quelle & Meyer, Wiesbaden, Heidelberg.
- Naiman, R. J., H. Décamps & M. Pollock. 1993. The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity. *Ecological Applications* **3**:209-212.

- ÖAWAV. 2004. Liste aus Betreiberangaben und Literaturangaben zu Kohlenstoffgehalten und biogenen Anteilen von Ersatzbrennstoffen. Österreichischer Abfall- und Wasserwirtschaftsverband, Wien.
- Panek, K. & W. Siegel. 1996. Auswirkungen von Schwemmgutentnahmen am Beispiel des Donaukraftwerks Altenwörth. Pages 107-111 in S. Oder, editor. DGL.
- Peetz, F. 1937. Käfer im Hochwassergebiet. *Decheniana* **95b**:71-82.
- Plachter, H. & M. Reich. 1998. The significance of disturbance for populations and ecosystems in natural floodplains. Pages 29-38 in P. o. t. I. S. o. R. Restoration, editor. International Symposium on River Restoration, Tokyo-Japan.
- Pusch, M. 1996. The metabolism of organic matter in the hyporheic zone of a mountain stream, and its spatial distribution. *Hydrobiologia* **323**:107-118.
- Pusch, M., C. Feld & A. Hoffmann. 1999a. Schwemmgut - kostenträchtiger Müll oder wertvolles Element der Flussökosysteme? *Wasserwirtschaft* **89**:280-284.
- Pusch, M., D. Fiebig, I. Brettar, H. Eisenmann, B. K. Ellis, L. A. Kaplan, M. A. Lock, M. W. Naegeli & W. Traunspurger. 1998. The role of micro-organisms in the ecological connectivity of running waters. *Freshwater Biology* **40**:453-495.
- Pusch, M., H. Fischer & A. Sachse. 1999b. The microbial metabolism in the riparian zones and sediments of running waters, and its significance for water quality management. Pages 39-46 in Jahresforschungsbericht 1998, Berichte des IGB.
- Rapoport, E. H. & L. Sanchez. 1963. On the epineuston or the superaquatic fauna. *Oikos* **14**:6-109.
- Robinson, C. T., K. Tockner & J. V. Ward. 2002. The fauna of dynamic riverine landscapes. *Freshwater Biology* **47**:661-677.
- Sandberger, F. 1886. Die Verbreitung der Mollusken in den einzelnen natürlichen Bezirken Unterfrankens und ihre Beziehung zu der pleistocänen Fauna. *Verhandlungen der phys.-med. Gesellschaft* **19**:299-322.
- Savely, H. E. 1939. Ecological relations of certain animals in dead pine and oak logs. *Ecological Monographs* **9**:322-285.
- Schälchli, U., A. Baumgartner & P. Baumann. 1997. Geschwemmsel bei Kleinwasserkraftwerken. *DIANE* **10**.
- Siepe, A. 1989. Untersuchungen zur Besiedlung einer Auen-Catena am südlichen Oberrhein durch Laufkäfer (Coleoptera: Carabidae) unter besonderer Berücksichtigung der Einflüsse des Flutgeschehens. Dissertation. Universität Freiburg (D).

- Siepe, A. 1994. Das "Flutverhalten" von Laufkäfern (Coleoptera: Carabidae), ein Komplex von öko-ethologischen Anpassungen in das Leben der periodisch überfluteten Aue - I: Das Schwimmverhalten. *Zoologisches Jahrbuch für Systematik* **121**:515-566.
- Smock, L. A., Metzler, G.M. & Gladden, J.E. 1989. Role of debris dams in the structure and functioning of low-gradient headwater streams. *Ecology* **70**:764-775.
- Solazzi, M. F., T. E. Nickelson, S. L. Johnson & J. D. Rodgers. 2002. Effects of increasing winter rearing habitat on abundance of salmonids in two coastal Oregon streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* **57**:906-914.
- Tenzer, C. 2000. Passive Ausbreitung terrestrischer Wirbelloser über Fliessgewässer unter besonderer Berücksichtigung der Landgehäuseschnecken. Pages 74 *in* 30. Jahrestagung der Gesellschaft für Ökologie. Parey Buchverlag Berlin, Kiel.
- Tenzer, C. 2001. Passive Ausbreitung terrestrischer Wirbelloser über Fliessgewässer. Pages 218 *in* 31. Jahrestagung der Gesellschaft für Ökologie. Parey Buchverlag Berlin, Basel.
- Tenzer, C. 2003. Ausbreitung terrestrischer Wirbelloser durch Fliessgewässer. Dissertation. Philipps-Universität Marburg, Marburg/Lahn.
- Thornton, I. 1996. Krakatau - The destruction and reassembly of an island ecosystem. Harvard University Press, Cambridge.
- Tockner, K. & S. D. Langhans. 2003. Die ökologische Bedeutung des Schwemmgutes. *Wasser Energie Luft* **95**:353-354.
- Tockner, K., A. Paetzold & U. Karaus. 2002. Leben in der Flussdynamik zwischen Trockenfallen und Hochwasser. *Rundgespräche der Kommission für Ökologie* **24**:37-46.
- Tockner, K. & J. A. Waringer. 1997. Measuring drift during a receding flood: results from an Austrian mountain brook (Ritrodat-Lunz). *International Review of Hydrobiology*. **82**:1-13.
- Vannote, R. L., G. W. Minshall, K. W. Cummins, J. R. Sedell & C. E. Cushing. 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **37**:130-137.
- Vischer, D. & A. Huber. 1985. *Wasserbau*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.

## TEIL II

## 1 Einleitung

An dieser Stelle wird auf eine ausführliche Schilderung des thematischen Hintergrundes der vorliegenden Diplomarbeit verzichtet, da dieser im ersten Teil umfassend erklärt wird. Nachfolgend sind die wichtigsten Aussagen aus Teil I in Kurzform wiedergegeben:

- Fließgewässer sind stark frequentierte Migrationsachsen terrestrischer Tiere und Pflanzen. (S. 2)
- Die Ausbreitung auf dem Wasserweg (Hydrochorie) ist sowohl in naturnahen als auch in naturfernen Gewässerkorridoren essentiell für das langfristige Überleben auentypischer Tier- und Pflanzenarten. (S. 2)
- Assoziiert mit Totholz und anderen Pflanzenteilen werden terrestrische Wirbellose in signifikant höheren Dichten transportiert als im Freiwasser. (S. 3)
- Uferverbauungen und Staustufen reduzieren die hydrologische Konnektivität. Dies kann sich negativ auf die terrestrische Artenvielfalt entlang von Fließgewässern auswirken. (S. 8)
- Das bisherige Wissen über die hydrochore Ausbreitung von Tieren und Pflanzen mit Schwemmgut basiert hauptsächlich auf Fallbeispielen; systematische Untersuchungen fehlen dagegen weitgehend. (S. 11)

### 1.1 Ziele, Fragen, Hypothesen

Das Hauptziel der Untersuchungen war es, das Potential von Schwemmgut als Ausbreitungsmedium terrestrischer Invertebraten zu beurteilen. Es wurden drei Aspekte des Ausbreitungsprozesses betrachtet: Die Herkunft des Schwemmgutes (Budget einer Aue), der Transport (Schwemmgut als Vektor) und Störungen (Entnahmen von Schwemmgut an Wasserkraftwerken). Folgende Fragen wurden bearbeitet:

- Für welche Komponenten der Drift ist ein Auengebiet Quelle, für welche Senke?

- Welche Individuendichten lebender terrestrischer Invertebraten enthält Schwemmgut?
- Welche Taxa sind vertreten? Welche Anteile machen diese aus?
- Welche Mengen Schwemmgut werden an einem hydroelektrisch stark genutzten Gewässer entnommen?
- Welche Anteile der lokalen Schwemmgutfracht machen die entnommenen Mengen aus?

Die entsprechenden Erwartungen lauten:

E1: Ein Auengebiet ist Quelle für CPOM und terrestrische Organismen.

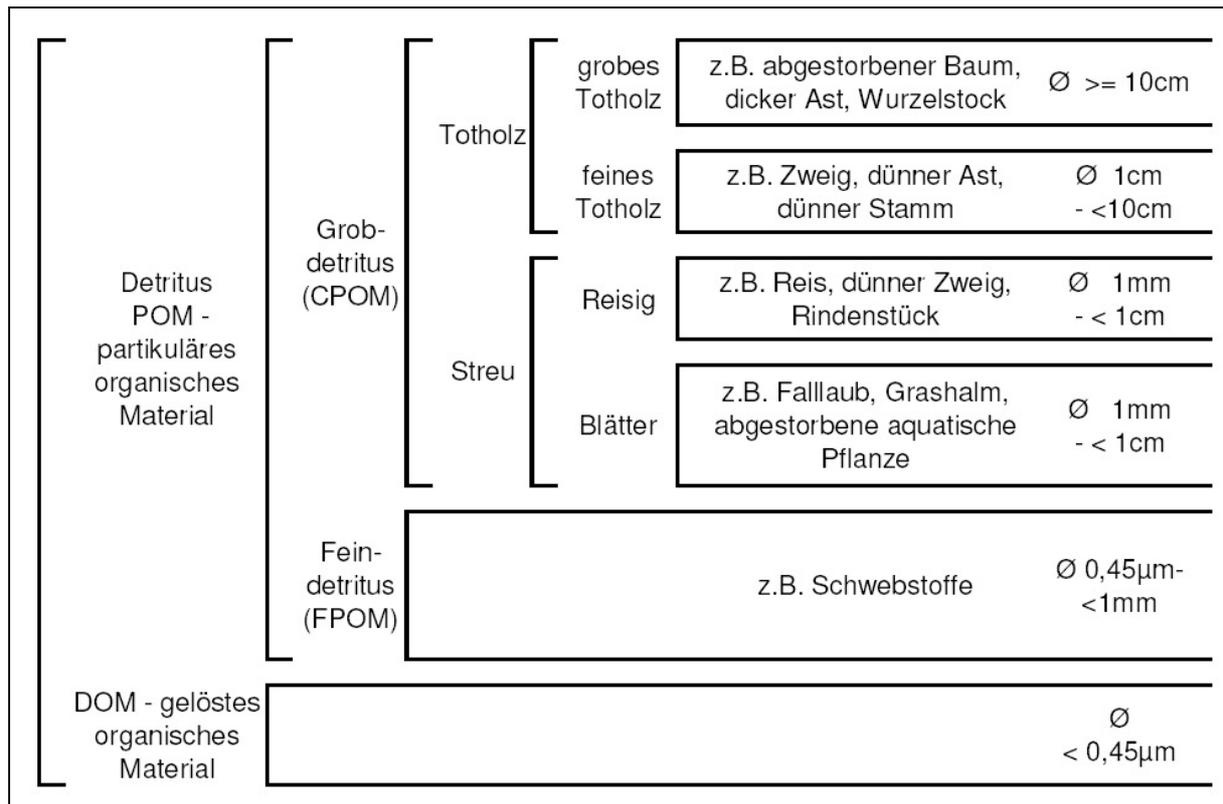
E2: Schwemmgut enthält hohe Dichten lebender terrestrischer Invertebraten.

E3: Die Schwemmgutfracht eines Fließgewässers wird durch Entnahmen an Wasserkraftwerken stark reduziert.

## 1.2 Definitionen

**Schwemmgut** (syn. Treibgut, Getreibsel, Geschwemmsel) ist durch Wasser transportiertes oder abgelagertes, überwiegend organisches Material wie Holz, Laub, Gras u.ä. (Abb. II-1). Im wasserbaulichen Sinne benennt der Begriff die schwimmfähigen Anteile des Feststofftransportes, die „Schwimmstoffe“ (vgl. Vischer & Huber 1985). Aggregiertes oder verflochtenes Schwemmgut wird von einigen Autoren als **Genist** bezeichnet (u.a. Gerken et al. 1998).

Als **aquatisch** werden in der vorliegenden Arbeit wirbellose Tiere bezeichnet, die obligat auf Wasser als Lebensraum angewiesen sind. Als **terrestrisch** gelten alle restlichen Makroinvertebraten. Dazu zählen auch die adulten Stadien der Diptera, Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera und Odonata sowie adulte semiaquatische Käfer (z.B. Elmidae).



**Abb. II-1.** Einteilung der Schwimm- und Schwebstoffe in Gewässern (nach Kail & Gerhard 2002).

## 2 Fließgewässer und Untersuchungsgebiete

Die Untersuchungen wurden im Nationalpark Donauauen bei Wien (Budget einer Aue) und an der Aare beim Wasserkraftwerk Beznau (Schwemmgut als Vektor) durchgeführt. Die Entnahmen von Schwemmgut an Wasserkraftwerken wurden für den Unterlauf der Aare zwischen Bielersee und Rhein quantifiziert.

### 2.1 Donauauen

Die Auen der Donau östlich von Wien zählen zu den letzten grossflächigen Resten dieses Landschaftstypus in Europa (Tab. II-1) (Schiemer & Waidbacher 1992, Dister 1994). Die freie Fließstrecke der Donau zwischen Wien und der Grenze zur Slowakei zeigt trotz Regulierungen noch immer ihre wichtigsten funktionellen Eigenschaften: Eine hohe Geschiebefracht und ein stochastisches Abflussregime, das grosse saisonale Veränderungen im Wasserstand hervorruft. Ausserdem bilden in diesem Gebiet die Donau und ihr Zufluss, die March, den Schnittpunkt zweier O-W und N-S orientierter Landschaftskorridore von besonderer ökologischer Bedeutung (Tockner et al. 1998).

**Tab. II-1.** Kenndaten der Donau und ihrer Aue bei Regelsbrunn, östlich von Wien (Quelle: Tockner et al. 1999).

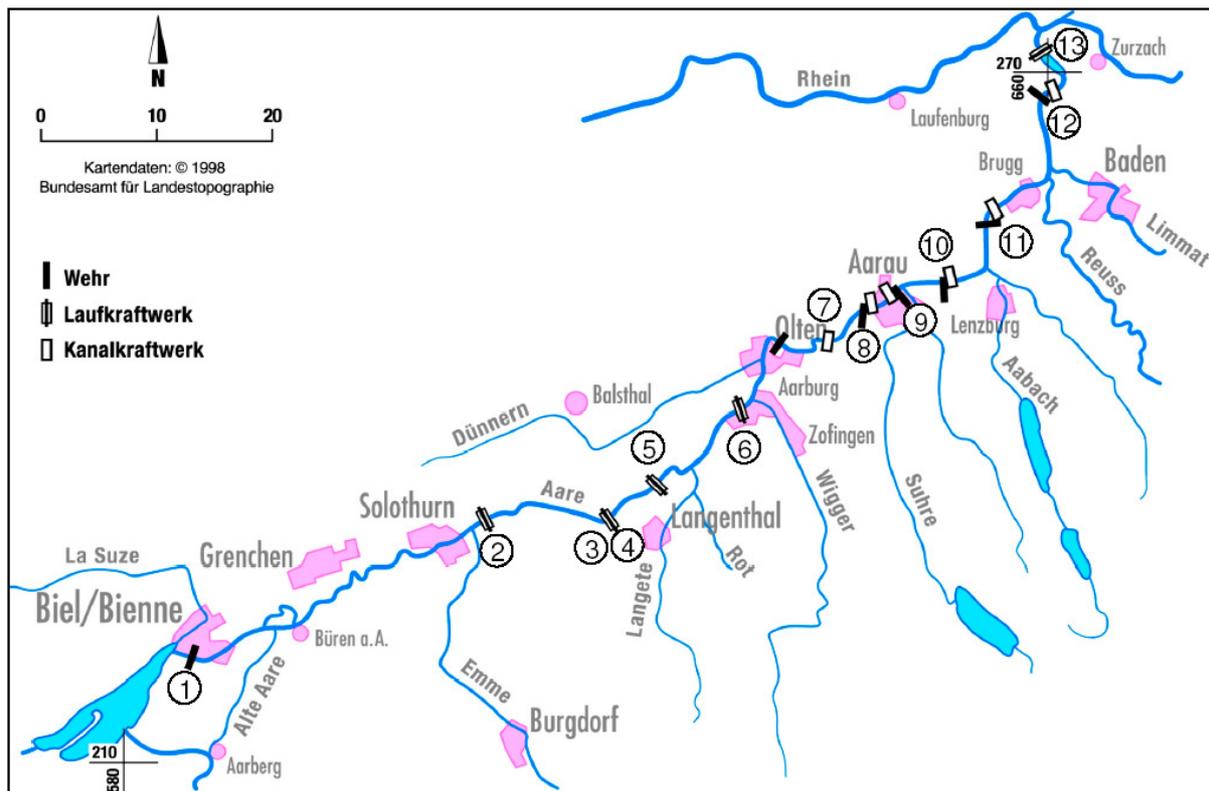
Donau	
Ordnungszahl	9
Gesamteinzugsgebiet (km <sup>2</sup> )	104 000
Länge (von Mündung, km)	1919
Gefälle (%)	0.04
Mittlerer Abfluss (m <sup>3</sup> /s)	1950
Mittleres jährl. Hochwasser (m <sup>3</sup> /s)	5270
Mittlere Fliessgeschw. (m/s)	1.9 - 2.2
Regelsbrunner Aue	
Überschwemmbar Fläche (ha)	570
Wasserfläche (ha)	128
Uferlänge (Seitenarm, km)	28
Uferlänge (Stillgewässer, km)	73

## 2.2 Aare

Die Aare (Tab. II-2) ist das grösste Fliessgewässer im schweizerischen Mittelland. Vor ihrer Mündung in den Rhein bei Koblenz führt dieser die geringere Wassermenge als jene. Das Abflussregime der Aare ist durch alpine Speicherbecken und Seenregulierung stark anthropogen geprägt. Am Unterlauf zwischen Bielersee und Rhein werden 13 Wasserkraftwerke betrieben (Abb. II-2).

**Tab. II-2.** Kenndaten der Aare (Quelle: Hydrologischer Atlas der Schweiz, LHG 1992).

Ordnungszahl	8		
Gesamteinzugsgebiet (km <sup>2</sup> )	17 779		
Länge (km)	307.3		
Bielersee bis Rhein (km)			
Gefälle (%)	0.09		
Mittlere Fliessgeschw. (m/s)	2.9		
Staurecken (km)	~ 107.6		
Fliesswasserrecken (km)	~ 18.2		
Restwasserrecken (km)	~ 22.2		
	Einzugsgebiet	Mittlerer Abfluss	Mittleres jährl.
	(km <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /s)	Hochwasser (m <sup>3</sup> /s)
Brügg (Seeausfluss)	8'317	244	500
Brugg	11'750	314	819
Felsenau (vor Mündung)	17'779	558	1550



**Abb. II-2.** Aare zwischen Bielersee und Rhein. Kraftwerke: 1 Brügg, 2 Flumenthal, 3 Bannwil, 4 Schwarzhäusern, 5 Wynau, 6 Ruppoldingen, 7 Gösgen, 8 Aarau, 9 Rüchlig, 10 Rupperswil, 11 Brügg, 12 Beznau, 13 Klingnau.



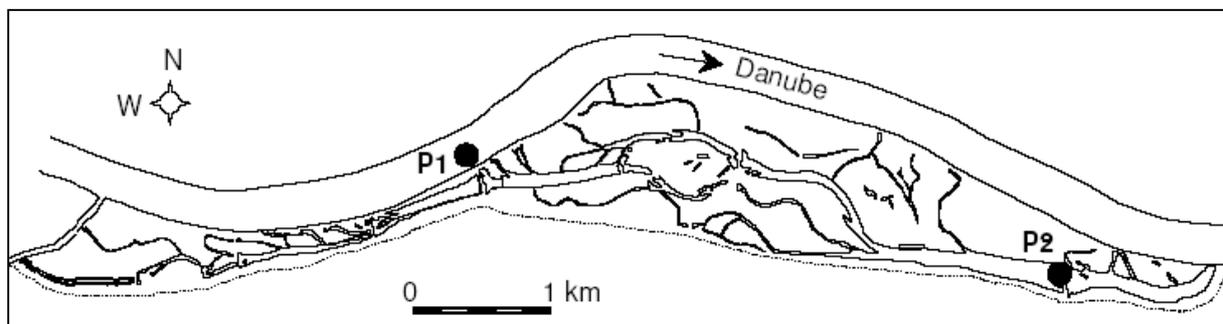
**Abb. II-3.** Schwemmgutteppich am Rechen des Wasserkraftwerks Beznau (Messlatte: 0.7 m); Foto: N.Trottmann.

Das Wasserkraftwerk Beznau liegt rund 7 km unterhalb der Mündung von Reuss und Limmat in die Aare und ist das erste Kraftwerk nach dem Zusammenfluss. Für die Untersuchungen hatte das den Vorteil, dass sich an einem einzigen Standort Mischproben des Schwemmgutes dreier mittelgrosser Flüsse (Gesamteinzugsgebiet: 43% der Schweizer Landesfläche) nehmen lassen. Der Standort Beznau erwies sich ausserdem als günstig, weil der Rechen des Kraftwerks mit einem Stababstand von 8 cm feiner ist als diejenigen der meisten anderen Kraftwerke an der Aare (Abb. II-3).

### 3 Material und Methoden

#### 3.1 Budget einer Aue (Donau)

An 23 Terminen (17. 04. 2004 - 01. 09. 2004) wurden insgesamt 46 Schwemmgutproben der Wasseroberfläche und 46 Driftproben der Wassersäule genommen. Pro Termin wurden in der Regel je eine Probe jedes Typus aus dem Hauptgerinne (Abb. II-4, Standort P1) und aus dem Seitenarm (Abb. II-4, Standort P2) gezogen. Ausserdem wurden an jedem Termin pro Standort drei Wasserproben genommen sowie Temperatur, Leitfähigkeit und Sauerstoffgehalt gemessen.



**Abb. II-4.** Die Regelsbrunner Aue an der Donau östl. von Wien. Probenahmestandorte: P1 (Donau), P2 (Ausrinn der Aue).

##### 3.1.1 Erfassung und Behandlung der Proben

Zur Beprobung der Oberfläche wurde ein Netz (Maschenweite 0.1 mm) mit rechteckiger Öffnung (Aluminiumrahmen, 0.2 x 0.5 m) 0.04 m tief ins Wasser eingetaucht. Zur Beprobung der Wassersäule wurde das Netz auf einer Tiefe von ca. 0.3 m (Oberkante) exponiert. In beiden Fällen wurden die Expositionszeit und die mittlere Strömungsgeschwindigkeit gemessen, um das gefilterte Wasservolumen berechnen zu können. Das Driftmaterial sammelte sich in einer Auffangdose am distalen Ende des Netzes. Mittels einer Spritzflasche wurde es herausgespült und in Alkohol (50%)

fixiert. Im Labor wurden die Proben gesiebt (Maschenweiten: 0.5, 0.25, 0.125, 0.063 mm). Unter einer Lupe wurden alle sichtbaren Makroinvertebraten nach terrestrischen und aquatischen Formen sortiert und ausgezählt. Die Bestimmung der Tiere erfolgte auf Ordnungsniveau (Tachet et al. 2002).

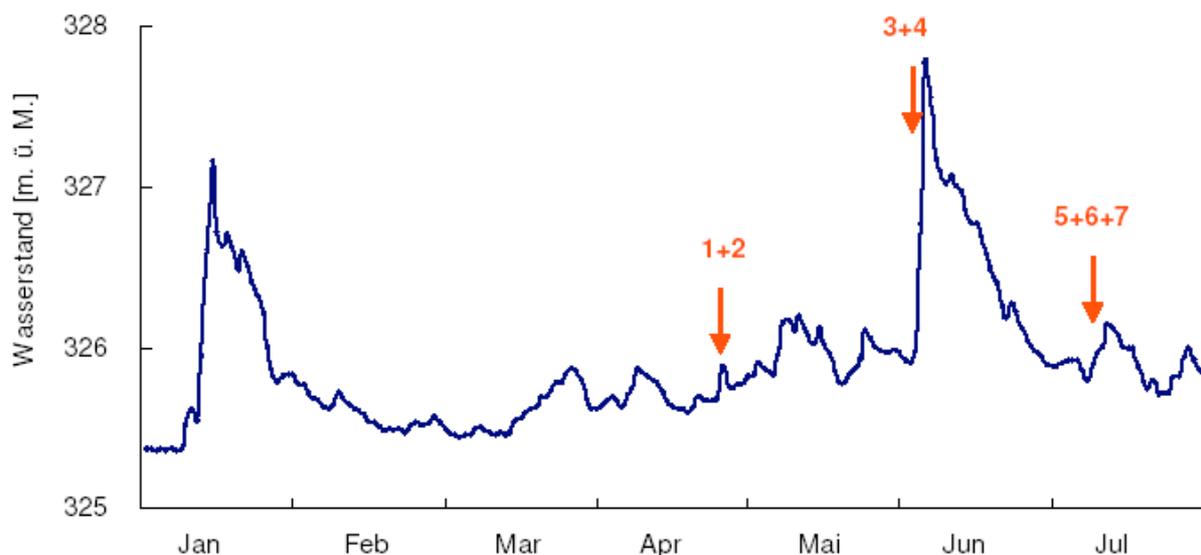
Die Wasserproben wurden auf folgende chemisch-physikalischen Parameter untersucht: Gehalt an partikulärem organischem Kohlenstoff (POC = Particulate Organic Carbon), Stickstoff (PN = Particulate Nitrogen), Phosphor (PP = Particulate Phosphate), Chlorophyll (Chl-a und -b) und suspendierten Feinsedimenten (SS = Suspended Solids).

### 3.1.2 Auswertung

Die Individuenzahlen und die Trockengewichte des organischen Materials aller Proben wurden standardisiert (Ind./m<sup>3</sup> bzw. gTG/L). Mit dem Wilcoxon-Test für Paardifferenzen (Zar 1984) wurden die gepaarten Proben der Standorte P1 und P2 verglichen. Analog dazu wurden innerhalb der Standorte paarweise Vergleiche zwischen Oberfläche- und Wassersäuleproben vorgenommen. Die Daten wurden mit Statistica v6.0 analysiert.

### 3.2 Schwemmgut als Vektor (Aare)

An der Aare wurden während 7 Terminen (Abb. II-5) insgesamt 19 Schwemmgut-Proben genommen.



**Abb. II-5.** Übersicht der Probenahmetermine an der Aare bei Beznau (2004).

### 3.2.1 Erfassung und Behandlung der Proben

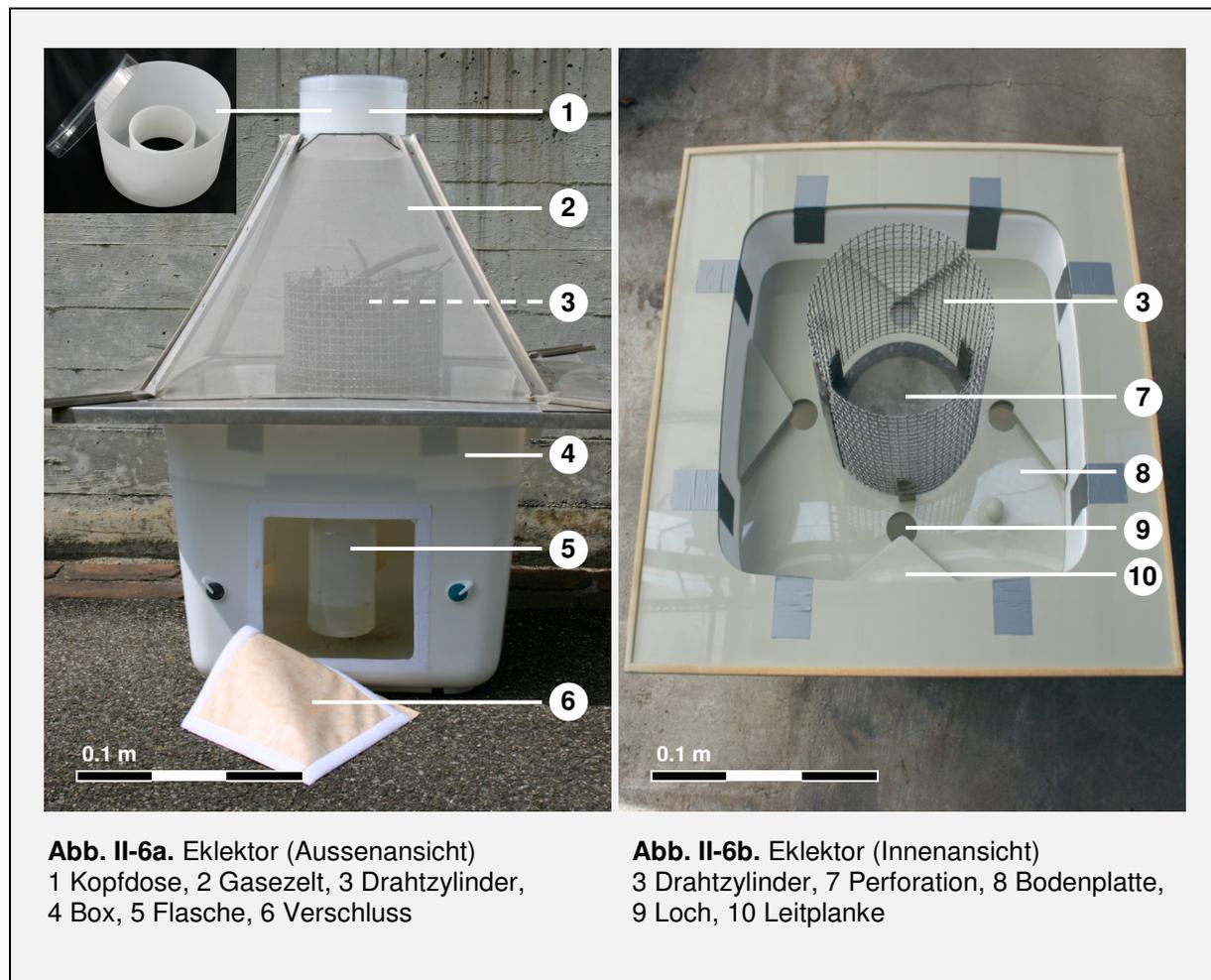
Mit einem Stabnetz (Maschenweite 0.1 mm) wurde am Kraftwerksrechen frisch angeschwemmtes flottierendes Material herausgeschöpft und in Eimer (Volumen: 12 L) gefüllt. Die vollen Eimer wurden abgedeckt, um das Entweichen von Tieren zu verhindern. Nach Abschluss der Probenahme wurde der Inhalt jedes Eimers separat in eine Weisssschale umgefüllt. Holzstücke mit  $\varnothing > 1\text{cm}$ , die somit nicht der Definition von „Streu“ entsprachen (vgl. Abb. II-1), wurden entfernt. Anschliessend wurden jeweils zwei Eimerinhalte fusioniert und als *eine* Stichprobe festgelegt. Mit einer Gartenkralle wurde dieses Material durchmischt, um eventuell auftretende Konzentrationen von Tieren auszugleichen. Anschliessend wurde ca. 1/3 davon als Parallelprobe zur Fixation (einfrieren) und späteren manuellen Auslese abgetrennt. Die restlichen 2/3 wurden für die Behandlung mit Eklektoren (Box II-1) vorgemerkt. Von allen Proben wurde das Volumen bestimmt. Der Transport erfolgte in Abfallsäcken.

**Box II-1.** Methode zur Extraktion lebender Makroinvertebraten aus Schwemmgut.

■ Zur Extraktion der lebenden Invertebraten aus den Schwemmgutproben wurde eine Kombination aus Bodenelektor (Mühlenberg 1993) und Bodenfallen entwickelt, im folgenden Eklektor genannt (Abb. II-6a und b).

Die Proben werden in den Drahtzylinder (3) gefüllt. Anschliessend werden das dicht schliessende Gasezelt (2) darüber gestülpt, die Kopfdose (1) eingesetzt und die Flaschen (5) eingeschraubt. Der Apparat liegt die Idee zu Grunde, dass die aquatischen Organismen in der Probe absterben, während die terrestrischen Tiere das eintrocknende Material allmählich verlassen, wobei Fluginsekten in den Kopfdosen und die übrigen Tiere in den Bodenfallen (5, 9) aufgefangen werden. Die Kopfdosen (Lieferant: ecoTech, Bonn) bestehen im Prinzip aus zwei ineinander gestülpten Hohlzylindern unterschiedlicher Durchmesser ( $\varnothing_1 = 15\text{ cm}$ ,  $\varnothing_2 = 8\text{ cm}$ ) und Höhen ( $h_1 = 11\text{ cm}$ ,  $h_2 = 6,5\text{ cm}$ ) auf einer ringförmigen Bodenfläche. Fluginsekten gelangen durch den Innenzylinder hinein, stossen sich am transparenten Deckel und fallen schliesslich in die Fangflüssigkeit (Alkohol/Wasser 1:1, Spülmittel). Zur Leerung kann die Kopfdose herausgenommen werden. Die Flaschen sind durch die seitliche Öffnung in der Box (4) zugänglich.

Eine andere Methode zur Extraktion lebender Invertebraten wäre die Berlese-Apparatur (Mühlenberg 1993). Diese wird normalerweise für Bodenproben verwendet, kann aber auch zur Behandlung von Schwemmgut eingesetzt werden (Tenzer 2003). Für die Untersuchungen im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit wurde die Berlese-Apparatur als wenig geeignet erachtet, da diese nur die Behandlung kleinerer Mengen Material erlaubt und keine Erfassung der Fluginsekten ermöglicht. ■



Die Proben wurden innerhalb von 3 bis 12 Stunden nach der Entnahme in die zehn Eklektoren umgefüllt. Leerungen der Flaschen und Kopfdosen erfolgten in der Regel alle zwei Tage. Dabei wurden die Inhalte der Flaschen und Kopfdosen jedes Eklektors zusammengeführt. Die Tiere wurden herausgesiebt (Maschenweite 0.5 mm) und in Alkohol (90%) konserviert. Alle Individuen wurden auf Ordnungsniveau bestimmt. Überraschend war, dass aquatische Larven der Coleoptera (Käfer) und Diptera (Zweiflügler) z.T. mehrere Tage in den Eklektoren überlebten. Dadurch enthielten die Flaschen manchmal bis zur dritten Leerung terrestrische *und* aquatische Tiere, was die Bestimmung erschwerte. Viele dieser zweifelhaften Formen konnten schliesslich als terrestrisch erkannt werden, weil sie bis zum Ende der Expositionszeit (min. 26, max. 35 Tage) auftraten. Zur Vereinfachung wurde festgelegt, dass ab der vierten Leerung (8. Tag) alle Organismen in den Auffangbehältern als terrestrisch gelten, da zu diesem Zeitpunkt das Material in den Eklektoren jeweils annähernd trocken war.

Nach Ablauf der Expositionszeit wurden die Schwemmgutproben bei 60°C während 48 h vollständig getrocknet und anschliessend gewogen.

Das aufgetaute Material der Parallelproben wurde durch eine Siebkolonne (Maschenweiten: 16, 8, 4, 2, 1 und 0,5 mm) geschleust. Der Inhalt jedes Siebes wurde unter einer Lupe gründlich auf terrestrische und aquatische Makroinvertebraten durchsucht. Die ausgelesenen Tiere wurden auf Ordnungsniveau bestimmt. Larvenstadien wurden, sofern nicht zweifelsfrei als aquatisch oder terrestrisch erkennbar, anhand von Vergleichsexemplaren aus den Eklektoren einer der beiden Gruppen zugeteilt. Individuen, bei denen dies nicht gelang, wurden nicht erfasst. Puppen wurden als juvenile gezählt. Nach Eiern wurde nicht gesucht.

Das partikuläre Material wurde in die Fraktionen Holz, Blätter, Samen, Gras, Zivilisationsabfall und Feinstreu aufgeteilt. Alle Fraktionen wurden analog den Proben aus den Eklektoren getrocknet und gewogen.

### **3.2.2 Auswertung**

Die Individuenzahlen aller Proben wurden standardisiert (Ind./100 gTG). Eklektor- und Fixationsproben wurden auf ihre Ähnlichkeit untersucht (Wainstein-Index) und mit dem Wilcoxon-Test für Paardifferenzen auf signifikante Unterschiede bzgl. der Individuendichten getestet. Die Daten wurden mit Statistica v6.0 analysiert.

## **3.3 Entnahmen von Schwemmgut (Aare)**

### **3.3.1 Methode**

Zur Quantifizierung der an Wasserkraftwerken entnommenen Schwemmgutmengen wurden langjährige Datenreihen (1981-2003) der 13 Werke an der Aare (Abb. II-2) zwischen Bielersee und Rhein ausgewertet. Für die Jahre 1981 bis 1997 war eine Korrektur der Werte nach unten notwendig, weil bis 1997 das Rechengut der Kraftwerke locker geschüttet in m<sup>3</sup> erfasst und anschliessend mit einem aus heutiger Sicht zu hohen Umrechnungsfaktor in Tonnen umgerechnet wurde (mdl. Mitteilung, W. Hauenstein). Seit 1998 wird direkt in Tonnen erfasst (Frischgewicht). Der hier verwendete Korrekturfaktor von 3.0 wurde aus einer Gleichsetzung der jeweils mittleren Jahresmenge vor 1998 und ab 1998 gewonnen.

Die relativen Anteile der entnommenen Mengen an der lokalen und an der gesamten Schwemmgutfracht der Aare zwischen Bielersee und Rhein wurden für ein Hoch-

wasserereignis ermittelt, das statistisch einmal jährlich auftritt. Die Berechnung basiert auf folgender Gleichung:

$$\frac{Q_M(\Delta t)}{Q_M(\Delta t) + Q_W(\Delta t)} = \frac{S_R(\Delta t)}{S_R(\Delta t) + S_W(\Delta t)} \quad (1)$$

$\Delta t$ : Zeitraum mit erhöhtem Schwemmgutaukommen

$Q_M(\Delta t)$ : Turbinierete Wassermenge während  $\Delta t$

$Q_W(\Delta t)$ : Vorbei geleitete Wassermenge während  $\Delta t$

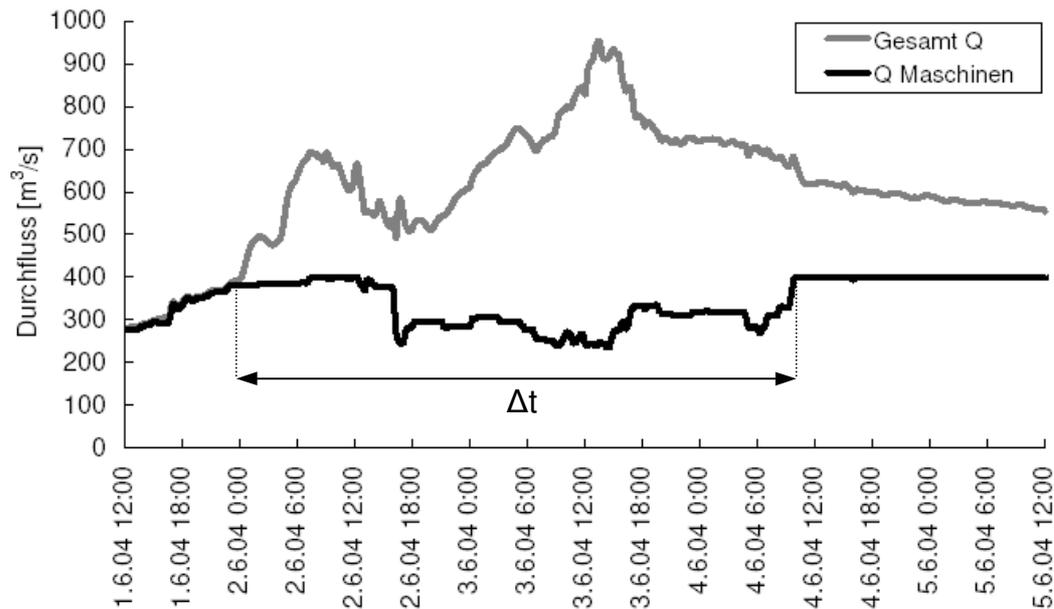
$S_R(\Delta t)$ : Entnommene Schwemmgutmenge während  $\Delta t$

$S_W(\Delta t)$ : Vorbei geleitete Schwemmgutmenge während  $\Delta t$ .

Die Berechnung wurde für fünf Kraftwerke (Flumenthal, Wynau, Ruppoldingen, Gösigen, Klingnau) entlang der gesamten Länge des untersuchten Flussabschnitts durchgeführt. Die Werte für  $\Delta t$  wurden für jedes Kraftwerk anhand hydrologischer Kurven bestimmt, beginnend mit dem ersten Pegelanstieg, den gesamten Zeitraum abdeckend, während dem die Anlage – aufgrund der erhöhten Schwemmgutfracht – mit gedrosselter Leistung betrieben wurde (Abb. II-7). Die Werte für  $Q_M$ ,  $Q_W$  und  $S_R$  wurden von den Kraftwerken zur Verfügung gestellt. Gesucht war jeweils  $S_W$ .

Für die Berechnung der gesamten Schwemmgutfracht  $S_A$  der Aare zwischen Bielersee und Rhein wurde Gleichung (2) aufgestellt.

$$S_A = S_{R1}(\Delta t_1) + S_{W1}(\Delta t_1) + \sum_{i=1}^4 [S_{R_{i+1}}(\Delta t_{i+1}) + S_{W_{i+1}}(\Delta t_{i+1}) - S_{W_i}(\Delta t_i)] \quad (2)$$



**Abb. II-7.** Durchfluss (Q) des Wasserkraftwerks Gösgen an der Aare während eines Hochwassers im Juni 2004;  $\Delta t$ : Zeitraum mit erhöhtem Schwemmgutaufkommen.

## 4 Resultate

### 4.1 Budget einer Aue (Donau)

Die Tabellen II-3 und II-4 enthalten Gegenüberstellungen der untersuchten physikalisch-chemischen Parameter und der Individuendichten (standardisierte Mittelwerte). In Tab. II-3 werden die Standorte P1 (Donau) und P2 (Seitenarm) verglichen, in Tab. II-4 Oberfläche und Wassersäule.

Die Konzentrationen der suspendierten Feinsedimente (SS) waren im Seitenarm signifikant tiefer ( $p < 0.01$ ), diejenigen des Chlorophyll a signifikant höher ( $p < 0.05$ ) als in der Donau. Ebenfalls signifikant höher ( $p < 0.001$ ) waren Leitfähigkeit und Temperatur im Seitenarm. Die Werte der anderen physikalisch-chemischen Parameter und die Individuendichten zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Standorten.

Sowohl in der Donau als auch im Seitenarm wurden an der Wasseroberfläche signifikant höhere Konzentrationen feinpartikulärer Feststoffe (FPOM) und terrestrischer Invertebraten festgestellt als in der Wassersäule. Im Seitenarm waren die Konzentrationen aquatischer Invertebraten an der Wasseroberfläche zudem signifikant hö-

her als in der Wassersäule. In der Donau wurde diesbezüglich kein Unterschied festgestellt.

Alle Proben enthielten ausschliesslich Material mit  $\varnothing < 1$  mm, d.h. CPOM fehlte vollständig (vgl. Abb. II-1).

**Tab. II-3.** Physikalisch-chemische und organismische Zusammensetzung von Flusswasser (standardisierte Mittelwerte,  $\pm$  SE) in der Donau (P1) und in ihrem Seitenarm (P2). Vergleich der beiden Standorte (Wilcoxon Test für Paardifferenzen). SS Suspended Solids, PN Particulate Nitrate, PP Particulate Phosphor, POC Particulate Organic Carbon, FPOM Fine Particulate Organic Material; n.s. nicht signifikant.

Parameter	P1 (Donau)	P2 (Seitenarm)	p-Level	n
<i>Wasser</i>				
Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )	16.4 $\pm$ 0.5	17.8 $\pm$ 0.8	p < 0.001	18
Sauerstoff (%)	127.3 $\pm$ 5.0	131.9 $\pm$ 4.8	n.s.	9
Leitfähigkeit ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	349.6 $\pm$ 5.2	373.0 $\pm$ 6.4	p < 0.001	18
SS ( $\text{g L}^{-1}$ )	0.03 $\pm$ 0.005	0.02 $\pm$ 0.002	p < 0.01	23
PN ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0.23 $\pm$ 0.03	0.25 $\pm$ 0.02	n.s.	23
PP ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	50.5 $\pm$ 7.1	41.2 $\pm$ 3.1	n.s.	23
POC ( $\text{mg L}^{-1}$ )	2.32 $\pm$ 0.21	2.14 $\pm$ 0.17	n.s.	23
Chlorophyll a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	4.05 $\pm$ 0.88	5.42 $\pm$ 1.01	p < 0.05	23
Chlorophyll b ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	0.13 $\pm$ 0.03	0.12 $\pm$ 0.02	n.s.	23
<i>Oberfläche (Schwemmgut)</i>				
FPOM ( $\text{mg L}^{-1}$ )	1.72 $\pm$ 0.78	1.54 $\pm$ 0.96	n.s.	11
Invertebraten (aq.) ( $\text{Ind. m}^{-3}$ )	16.4 $\pm$ 6.0	59.0 $\pm$ 28.2	n.s.	11
Invertebraten (terr.) ( $\text{Ind. m}^{-3}$ )	19.4 $\pm$ 5.7	20.0 $\pm$ 9.0	n.s.	11
<i>Wassersäule (Drift)</i>				
FPOM ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0.14 $\pm$ 0.05	0.07 $\pm$ 0.03	n.s.	11
Invertebraten (aq.) ( $\text{Ind. m}^{-3}$ )	7.1 $\pm$ 2.4	4.5 $\pm$ 1.8	n.s.	11
Invertebraten (terr.) ( $\text{Ind. m}^{-3}$ )	0.58 $\pm$ 0.16	2.22 $\pm$ 1.08	n.s.	11

**Tab. II-4.** Feststoff- und Organismenfracht von Flusswasser (standardisierte Mittelwerte,  $\pm$  SE) in der Donau (P1) und in ihrem Seitenarm (P2). Vergleich von Oberfläche und Wassersäule (Wilcoxon Test für Paardifferenzen). FPOM Fine Particulate Organic Material; n.s. nicht signifikant.

Parameter	Oberfläche (Schwemmgut)	Wassersäule (Drift)	p-Level	n
<i>P1 (Donau)</i>				
FPOM ( $\text{mg L}^{-1}$ )	1.39 $\pm$ 0.53	0.08 $\pm$ 0.03	p < 0.001	21
Invertebraten (aq.) ( $\text{Ind. m}^{-3}$ )	25.0 $\pm$ 13.0	8.6 $\pm$ 2.8	n.s.	21
Invertebraten (terr.) ( $\text{Ind. m}^{-3}$ )	19.4 $\pm$ 5.4	0.68 $\pm$ 0.17	p < 0.001	21
<i>P2 (Seitenarm)</i>				
FPOM ( $\text{mg L}^{-1}$ )	1.54 $\pm$ 0.96	0.07 $\pm$ 0.03	p < 0.01	11
Invertebraten (aq.) ( $\text{Ind. m}^{-3}$ )	59.0 $\pm$ 28.2	4.5 $\pm$ 1.8	p < 0.01	11
Invertebraten (terr.) ( $\text{Ind. m}^{-3}$ )	20.0 $\pm$ 9.0	2.2 $\pm$ 1.1	p < 0.01	11

## 1.2 Schwemmgut als Vektor (Aare)

Aus 19 Schwemmgut-Proben der Aare mit einem Gesamtvolumen von 162 Litern wurden insgesamt 6189 lebende terrestrische Makroinvertebraten aus 23 Taxa extrahiert. Die manuelle Auslese von 13 fixierten Parallelproben mit einem Gesamtvolumen von 40 Litern ergab 1743 terrestrische Invertebraten aus 19 Taxa. Die Eklektorproben enthielten im Mittel 72 Ind./100 gTG, die Fixationsproben 66 Ind./100 gTG (Tab. II-5, II-6).

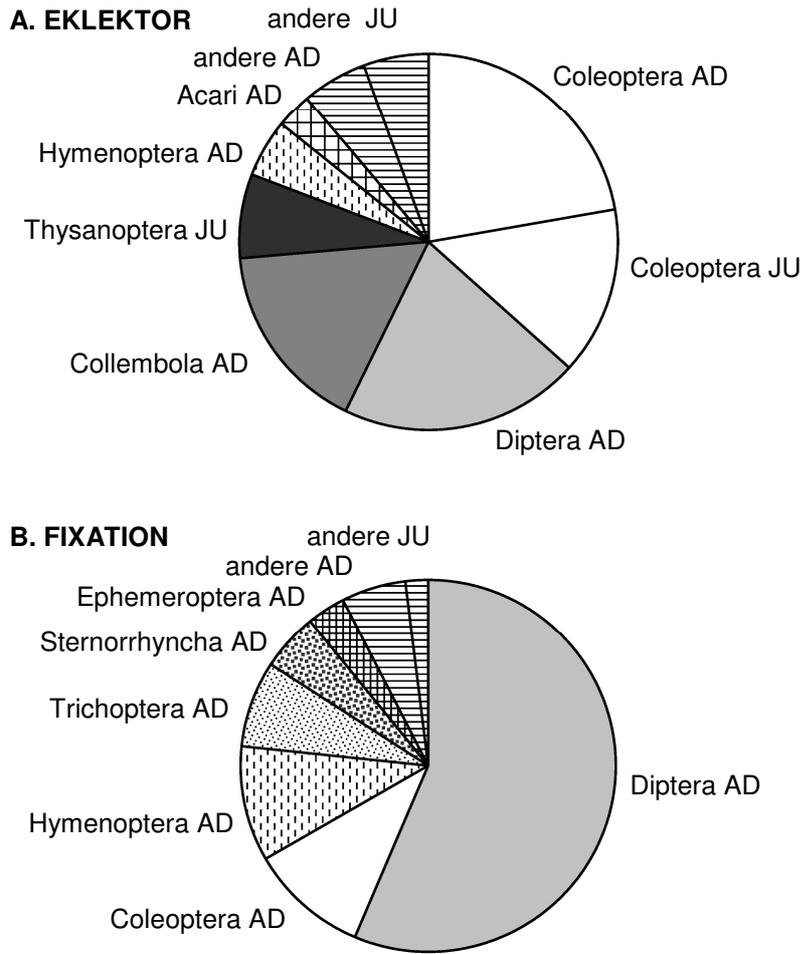
**Tab. II-5.** Ergebnisse der Probenahme an der Aare. N<sub>IND</sub>: Anzahl Individuen, N<sub>PRO</sub>: Anzahl Proben.

Datum	Abfluss [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	EKLEKTOR				FIXATION			
		N <sub>IND</sub>	N <sub>PRO</sub>	Material		N <sub>IND</sub>	N <sub>PRO</sub>	Material	
				[gTG]	[L]			[gTG]	[L]
23.04.04	443	691	2	624	12.5	628	2	504	8.5
24.04.04	640	830	2	1164	20.0	470	2	161	9.0
02.06.04	1195	281	3	2115	21.0	27	3	255	6.0
02.06.04	1128	313	3	2660	25.5	139	3	268	9.5
06.07.04	517	1143	3	2225	28.0	161	1	186	2.3
08.07.04	700	1693	3	2519	28.5	148	1	239	2.7
09.07.04	727	1238	3	2517	26.0	170	1	168	1.7

In den Eklektorproben (Abb. II-8, A) dominierten Imagines und Larven der Coleoptera (22%, bzw. 15%), Diptera (21%) und Collembola (16%). Subdominant vertreten waren Larven der Thysanoptera (7%), Hymenoptera (5%) und Acari (3%). Die restlichen Taxa machten 11% aus. Von allen erfassten Individuen der Eklektorproben waren 28% juvenile Formen. Unter den adulten Coleoptera waren Staphylinidae mit 52% die häufigste Gruppe.

Der grösste Teil der Individuen verliessen die Proben jeweils zwischen dem dritten und dem zehnten Tag der Exposition (Abb. II-9).

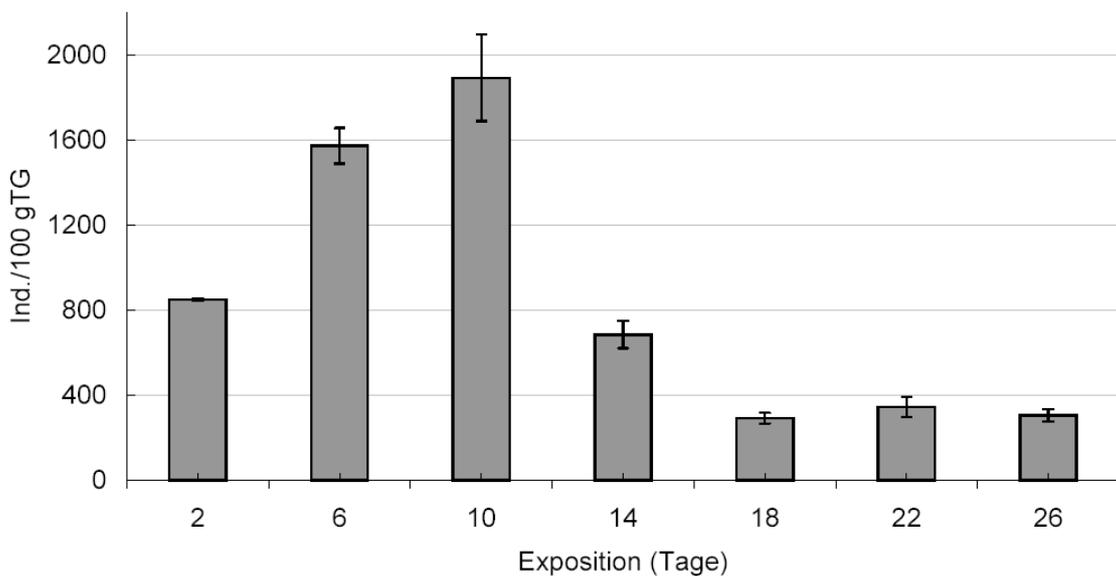
In den Fixationsproben (Abb. II-8, B) dominierten adulte Diptera (57%), Coleoptera (11%) und Hymenoptera (10%). Subdominant vertreten waren adulte Trichoptera (7%), Sternorrhyncha (5%) und Ephemeroptera (3%). Die restlichen Taxa machten 7% aus. Von allen erfassten Individuen der Fixationsproben waren nur 2% juvenile Formen.



**Tab. II-6.** Liste der im Schwemmgut der Aare gefundenen terrestrischen Taxa. \* nur in Fix.proben, \*\* in Fix.proben fehlend.

- Acari
- Araneae
- Auchenorrhyncha
- Blattodea\*
- Chilopoda\*\*
- Coleoptera
- Collembola
- Dermaptera\*\*
- Diplopoda\*\*
- Diptera
- Ephemeroptera\*
- Gastropoda
- Heteroptera
- Hymenoptera
- Isopoda\*\*
- Lepidoptera
- Neuroptera
- Opiliones\*\*
- Orthoptera
- Plecoptera\*
- Pseudoscorpiones\*\*
- Psocoptera\*\*
- Sternorrhyncha
- Thysanoptera
- Trichoptera

**Abb. II-8.** Relative Zusammensetzung der im Schwemmgut der Aare gefundenen Taxa; oben: Eklektorproben, unten: Fixationsproben; AD: adult, JU: juvenil; n = 19.



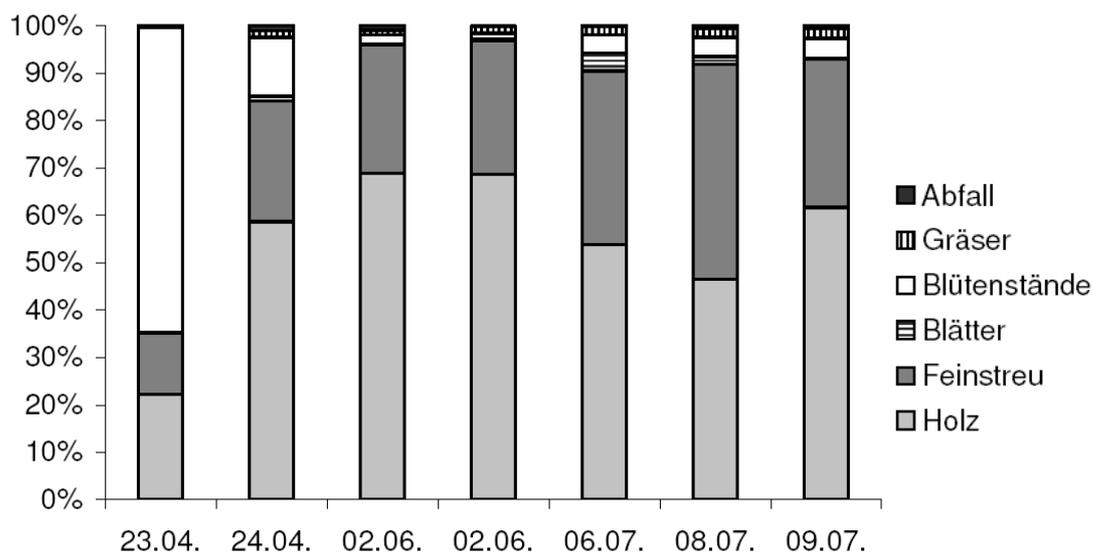
**Abb. II-9.** Mittlere Individuenzahlen der aus Schwemmgut der Aare emergierten terrestrischen Makroinvertebraten in 4-Tages-Intervallen; n = 3, Fehlerbalken: SE.

Der Ähnlichkeitsvergleich zwischen Eklektor- und Fixationsproben (Tab. II-7) ergab einen Index-Wert von 22.5% (Wainstein). Signifikante Unterschiede bzgl. der Individuendichten waren bei den Coleoptera, Collembola, Ephemeroptera und Thysanoptera zu verzeichnen.

**Tab. II-7.** Gegenüberstellung der Individuendichten (Ind./gTG,  $\pm$  SE) der häufigsten Taxa in Eklektor- und Fixationsproben; n.s. nicht signifikant.

Taxa	EKLEKTOR	FIXATION	p-Level	n
Diptera	14.9 $\pm$ 5.2	37.6 $\pm$ 17.5	n.s.	7
Coleoptera AD	16.1 $\pm$ 7.6	5.7 $\pm$ 2.5	p < 0.05	7
Collembola	11.9 $\pm$ 5.3	0.05 $\pm$ 0.04	p < 0.05	7
Coleoptera JU	10.7 $\pm$ 5.2	0.04 $\pm$ 0.04	p < 0.05	7
Hymenoptera	3.6 $\pm$ 1.8	6.2 $\pm$ 2.9	n.s.	7
Trichoptera	0.1 $\pm$ 0.05	4.91 $\pm$ 3.04	n.s.	7
Ephemeroptera	-	2.7 $\pm$ 1.2	p < 0.05	7
Thysanoptera JU	2.1 $\pm$ 1.6	-	p < 0.05	7

Das beprobte Schwemmgut bestand hauptsächlich aus Holz und Feinstreu (Abb. II-10).

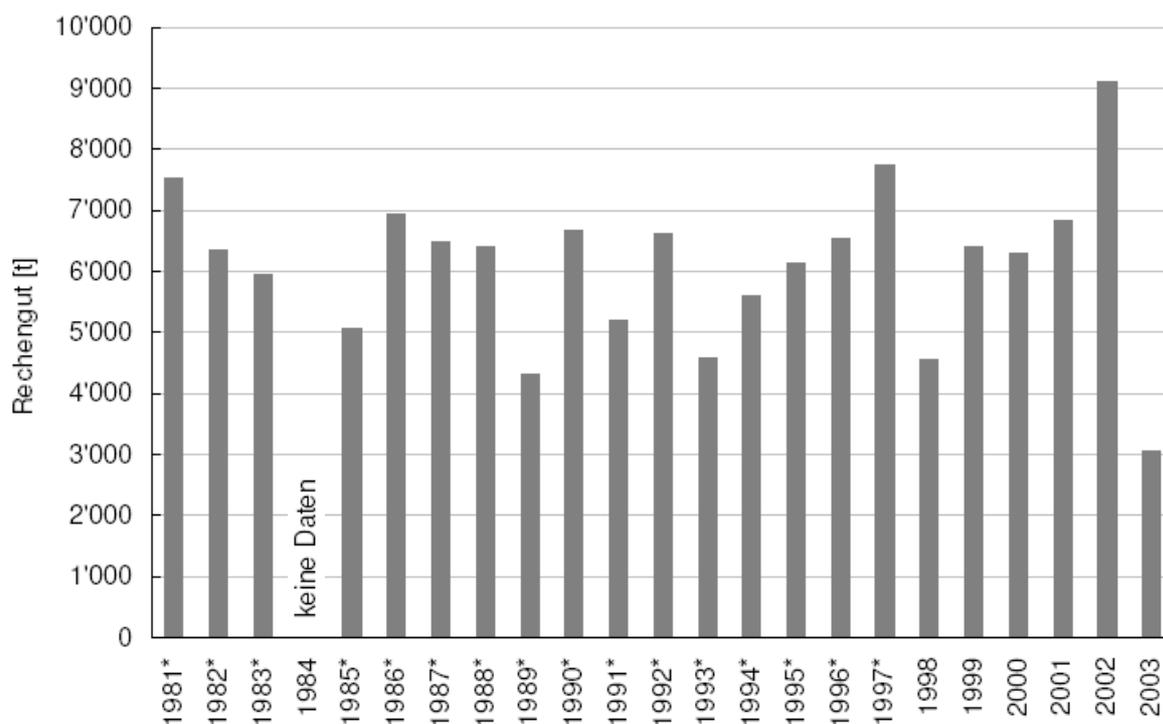


**Abb. II-10.** Zusammensetzung der Schwemmgutproben (Streu-Fraktion) der Aare bei Beznau an sieben Terminen 2004.

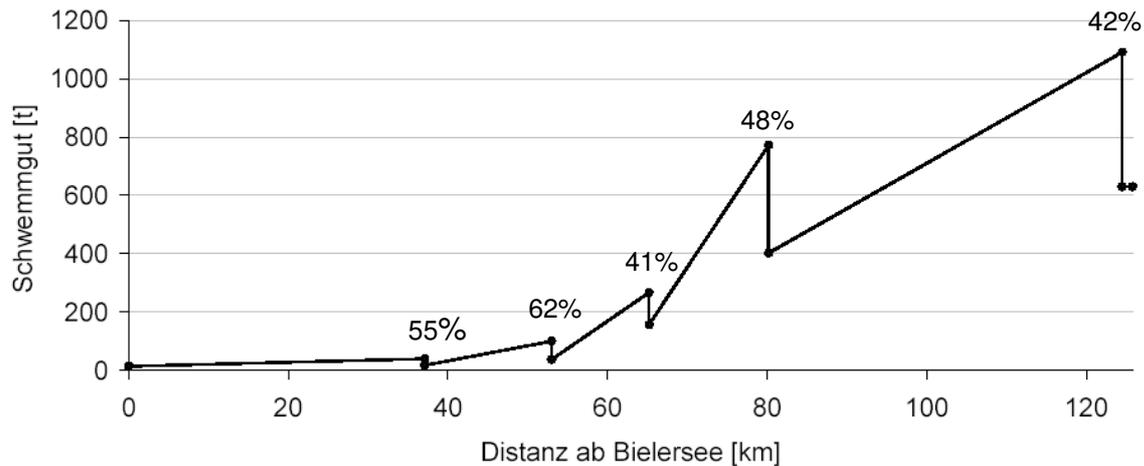
### 1.3 Entnahmen von Schwemmgut (Aare)

Die an den 13 Wasserkraftwerken der Aare zwischen Bielersee und Rhein im Mittel entnommene Menge Schwemmgut beträgt 6104 t, was ca. 21'500 m<sup>3</sup> entspricht (Umrechnungsfaktor zwischen 3 und 4; Schälchli ). In (Abb. II-11) sind die jährlich entnommenen Mengen zusammengestellt.

Die Berechnung der relativen Anteile ergab, dass während des Zeitraums mit erhöhtem Schwemmgutauflkommen ( $\Delta t$ ) an den fünf Kraftwerken zwischen 40 und 60% der lokalen Schwemmgutfracht der Aare entfernt wurden (Abb. II-12). Auf den gesamten Flussabschnitt umgerechnet waren es 62% (1026 t).



**Abb. II-11.** Jährlich entnommene Schwemmgutmengen an 13 Wasserkraftwerken der Aare zwischen Bielersee und Rhein; \* korrigierte Werte (vgl. Text S. 32).



**Abb. II-12.** Errechnete Schwemmgutmengen der Aare an fünf Wasserkraftwerken während eines Hochwassers im Juni 2004. Entnahmen in %.

## 5 Diskussion

### 5.1 Budget einer Aue (Donau)

Die bearbeitete Fragestellung zur Funktion einer Aue als Quelle und Senke für organisches Material und Organismen basiert auf einer Studie von Tockner et. al (1999), welche im selben Untersuchungsgebiet durchgeführt wurde. Die Autoren belegten u.a. Netto-Exporte von Algenbiomasse (Chlorophyll a) bei Niederwasser und Netto-Exporte von Schwemmgut (CPOM) bei Hochwasser. Über den Export terrestrischer Organismen aus Auengebieten sind bisher keine quantitativen Daten verfügbar. Im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit wurde die genannte Studie unter Einbezug der Individuendichten terrestrischer und aquatischer Organismen wiederholt.

Die Resultate der genannten Autoren konnten für die Situation bei Niederwasser bestätigt werden. Die untersuchte Aue erwies sich als Senke für suspendierte Feinsedimente und als Quelle für Algenbiomasse (Chlorophyll a). Eine Anreicherung des Seitenarms mit terrestrischen Organismen konnte als Tendenz festgestellt werden. Die Individuendichten zeigten jedoch zu grosse Schwankungen, um signifikante Unterschiede zu ergeben. Erwähnenswert ist hierbei, dass eine Anreicherung von Gewässeroberflächen mit Organismen nicht zwangsläufig auf passivem Weg erfolgen muss. Rapoport & Sanchez (1963) berichten, dass der auf Gewässeroberflächen schwimmende Biofilm (Kinal) von terrestrischen Spinnen, Milben, Ameisen und Springschwänzen aktiv aufgesucht und als Nahrungsquelle genutzt wird. Fittkau (1976) belegte die selbe Verhaltensweise für aquatische Taxa. Die signifikant höhe-

ren Dichten aquatischer Makroinvertebraten an der Oberfläche (v.a. Oligochaeta), verglichen mit der Wassersäule, könnten die Folge einer solchen aktiven Besiedlung sein.

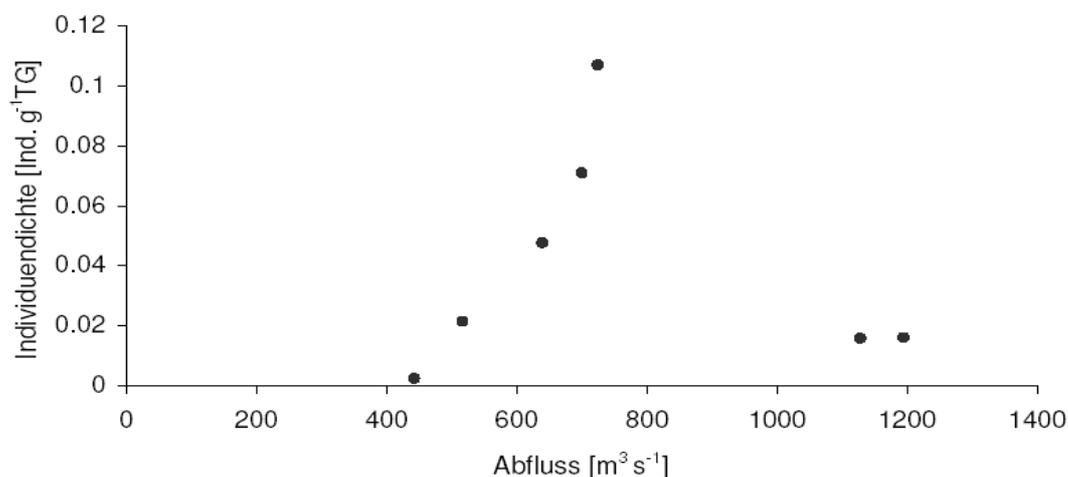
Aussagen über die Situation bei Hochwasser können anhand der vorliegenden Resultate keine gemacht werden, da der Abfluss der Donau während des untersuchten Zeitraums meistens unter Mittelwasser lag. Grobpartikuläres Schwemmgut (CPOM) fehlte vollständig. Aus diesem Grund ist es hier auch nicht möglich, den Transport terrestrischer Organismen *im Schwemmgut* der Donau zu besprechen. Eine Aussage betreffend der hydrochoren Ausbreitung *im Freiwasser* ist allerdings zulässig: Auf der Wasseroberfläche wurden signifikant mehr terrestrische Invertebraten transportiert als in der Wassersäule. Neben adulten Diptera wurden in der Oberflächendrift v.a. Collembola und adulte Coleoptera festgestellt. An terrestrischen Vertretern der beiden letztgenannten Taxa wurde experimentell gezeigt, dass sie, aufgrund ihrer nicht benetzbaren Körperoberfläche, während Tagen und Wochen auf dem Wasser treibend überleben können (Siepe 1994, Coulson et al. 2002). Eine Ausbreitung über Fliessgewässer ist im Falle dieser Tiere unabhängig vom Medium Schwemmgut möglich.

## **5.2 Schwemmgut als Vektor (Aare)**

### **5.2.1 Individuendichten**

Es existieren übereinstimmende Belege, dass terrestrische Organismen mit dem fliessenden Wasser über weite Distanzen transportiert werden (Sandberger 1886, Franz 1907, Bütikofer 1920, Czogler & Rotarides 1938, Boness 1975, Langhans 2000). Quantitative Angaben über die Individuendichten lebender Kleintiere in driftendem Schwemmgut sind jedoch rar. Tabelle I-1 (S. 5) enthält eine Zusammenstellung von Literaturwerten und von Resultaten der hier besprochenen Untersuchungen bei Beznau. Die Dichten lebender terrestrischer Arthropoden im Schwemmgut der Aare (Eklektorproben) bewegen sich in derselben Grössenordnung wie die von Tenzer (2000, 2003), Siepe (1989) und Gerken (1998) angegebenen Werte. Aus der Tabelle geht hervor, dass die Individuendichten der Coleoptera und Diptera im Schwemmgut um das Vier- bis Fünffache höher sind als die entsprechenden Literaturwerte für optimale Habitate. Somit konnte Erwartung 2 für die beiden häufigsten Taxa (58% aller Individuen) bestätigt werden.

Unerwartet war dagegen das geringe Vorkommen der Gastropoda im Schwemmgut. Als Ursache dafür wäre denkbar, dass das beprobte Schwemmgut nicht primär durch Überflutung in die Aare gelangte – da Schnecken in der Bodenstreu für gewöhnlich in hohen Dichten präsent sind (vgl. Tab. I-1) – sondern z.B. durch starke Niederschläge aus ufernahen Baumkronen ins Gewässer verfrachtet wurde. Tatsächlich lässt sich tendenziell ein positiver Zusammenhang zwischen den Individuendichten der Gastropoden im Schwemmgut (inkl. leere Gehäuse) und der Abflussmenge zum Zeitpunkt der Probenahme erkennen (Abb. II-13). Dies kann dahingehend interpretiert werden, dass mit zunehmender Überflutung der Gewässerufer (Abflussmenge) die Anteile der Bodenstreu im Schwemmgut und somit die Individuendichten der terrestrischen Gastropoden zunehmen. Die im Schwemmgut der Aare gefundenen Individuenzahlen sind allerdings zu gering, um eine signifikante Korrelation nachzuweisen. Resultate von Tenzer (2003) deuten jedoch in die selbe Richtung: Die Autorin fand in flottierender Bodenstreu im Uferbereich des Altrheins mit 69% die höchsten Anteile terrestrischer Gehäuseschnecken. In Material aus der Strommitte machten diese dagegen nur 37% aus. Gleichzeitig enthielt Schwemmgut aus der Strommitte deutlich weniger Material der Streufraktion. Dieser Befund lässt darauf schließen, dass die Anteile terrestrischer Gastropoden im Schwemmgut die Anteile des durch Überflutung eingetragenen Materials widerspiegeln. Ein solcher Zusammenhang könnte für die Naturschutzpraxis besonders interessant sein, weil die Schneckenfauna im Schwemmgut dann ein Mass für die hydrologische Konnektivität zwischen Gewässer und Umland wäre und somit als Indikator für die ökologische Integrität von Gewässerkorridoren Anwendung finden könnte (vgl. Langhans 2000).



**Abb. II-13.** Tendenzieller Zusammenhang zwischen Abflussmenge und Individuendichte terrestrischer Gehäuseschnecken im Schwemmgut der Aare bei Beznau.

### 5.2.2 Ähnlichkeit

Bei fast identischen Individuendichten (0.72 Ind./gTG bzw. 0.66 Ind./gTG) weisen Eklektor- und Fixationsproben mit einem Index-Wert von 22.5% (Wainstein) eine geringe Ähnlichkeit auf.

In den Fixationsproben dominieren erwartungsgemäss anemochore Formen: Adulte Diptera, Trichoptera, Sternorryncha, Auchenorrhyncha, und Ephemeroptera machen 67% der Individuen aus. Ähnliche Dominanzverhältnisse unter den terrestrischen Taxa sind in Untersuchungen zur Oberflächendrift von Fließgewässern beschrieben worden (Waringer 1992, Tockner & Waringer 1997).

Ganz anders dagegen ist die Fauna der Eklektorproben zusammengesetzt: Hier dominieren Taxa wie sie für gewöhnlich in Totholz und Detritus gefunden werden (vgl. Savely 1939, Fager 1968, Abbot & Crossley 1982): Coleoptera (v.a. Staphylinidae und Larven), Diptera (Larven\*), Collembola und Acari – alles typische Bewohner von zerfallendem Pflanzenmaterial (Honomichl & Bellmann 1998) – machen annähernd 3/4 der Individuen aus. Bestätigt wird dieser Befund durch die Zusammensetzung der untersuchten Streu-Fraktion: Holz und Feinstreu dominieren, während frisches Gras und frische Blätter selten sind (Abb. II-10).

\*Die Diptera verliessen die Proben fast ausschliesslich in Form frisch geschlüpfter Individuen, was anhand offener Ptilinalnähte und/oder unvollständig ausgehärteter Flügel erkennbar war. Folglich waren die in Abb. II-8 (oben) als „adult“ aufgeführten Individuen zum Zeitpunkt der Probenahme noch juvenil.

Wie erwähnt, wurden Eklektor- und Fixationsproben jeweils aus *einer* homogenisierten Stichprobe gewonnen. Die signifikanten Unterschiede in der Taxazusammensetzung sind deshalb methodisch bedingt: Bei der manuellen Auslese wurden offen liegende Individuen erfasst, ungeachtet dessen, ob sie zum Zeitpunkt der Probenahme lebend oder tot waren; die Behandlung mit Eklektoren förderte dem gegenüber ausschliesslich lebende Tiere zu Tage, darunter viele verborgene Formen. Der faunistische Vergleich zwischen Eklektor- und Fixationsproben lässt zwei Funktionen von Schwemmgut im Ausbreitungsprozess erkennen: Filter und Vektor.

**Filter:** Der Wassertransport adulter Diptera, Trichoptera, Sternorryncha, Auchenorrhyncha und Ephemeroptera ist nicht an das Medium Schwemmgut gekoppelt. Die Tiere gelangen über den Wind oder durch unvollständige Emergenz auf die

Wasseroberfläche. Aufgrund ihrer benetzbaren Flügel schaffen sie es nicht, diese wieder zu verlassen und verenden. Im Ausbreitungsprozess haben solche Tiere keine Funktion mehr\*. An Hindernissen im Uferbereich oder an Kraftwerksrechen werden frei driftende Organismen vom dort akkumulierten Schwemmgut aus dem Wasser gefiltert (vgl. Fittkau 1976). Die hohen Individuendichten geflügelter Formen in den Fixationsproben sind die Folge dieses Effekts. In den Auffangbehältern der Eklektoren erscheint diese tote Komponente der Driftfauna nicht.

\*Als Fischnahrung sind sie von grosser Bedeutung (z.B. Bridcut 2000).

**Vektor:** Für die Funktion von Schwemmgut als Vektor spricht, dass fast die Hälfte (49%) der in den Eklektorproben nachgewiesenen Tiere in Form von Eiern oder juvenilen Stadien transportiert worden sind und dass diese in ihrer Lebensweise eine starke Assoziation mit pflanzlichem Material zeigen. Es ist wenig wahrscheinlich, dass die gefundenen terrestrischen Larven der Coleoptera, Diptera und Thysanoptera *unabhängig* von organischem Material in die Aare gelangten und erst am Kraftwerksrechen aus dem Wasser gefiltert wurden.

In weiterführenden Untersuchungen sollten Schwemmgut und Freiwasser parallel auf lebende Organismen untersucht werden. Diese Methode würde es erlauben, das Potential von Schwemmgut als Ausbreitungsmedium gegenüber demjenigen der freien Drift zu quantifizieren. Braccia (2001) lieferte diesbezüglich eindeutige Ergebnisse: In einem Fluss in Nordamerika wurden assoziiert mit driftendem Holz signifikant mehr terrestrische Invertebraten-Taxa nachgewiesen als im Freiwasser (40 Taxa gegenüber 14 Taxa).

### 5.3 Entnahmen von Schwemmgut (Aare)

An Wasserkraftwerken anfallendes Schwemmgut muss aus betrieblichen Gründen entfernt werden. Entnommenes Material darf von Gesetzes wegen nicht wieder in die Gewässer eingebracht werden (vgl. Teil I, S. 12). Über die Auswirkungen dieser Praxis auf hydrochore Ausbreitungsprozesse ist noch wenig bekannt. Schätzungen der Organismenverluste gestalten sich schwierig. Aus Stichproben gewonnene Individuendichten können nicht einfach auf entnommene Jahresmengen hochgerechnet werden, da beträchtliche Anteile des Schwemmgutes aus Baumstämmen und Wurzelstöcken bestehen. Deren Gehalt an Organismen dürfte deutlich geringer sein, als derjenige der beprobten Streu (vgl. auch Boness 1975). Daten über die *relativen*

Anteile des entnommenen Schwemmgutes könnten hier weiterhelfen. Wenn an der Aare fast 2/3 der natürlichen Schwemmgutfracht entfernt werden, geht dem Ausbreitungsprozess der selbe Anteil an Organismen verloren, ungeachtet dessen, ob diese im Schwemmgut transportiert oder erst am Rechen aus der freien Drift gefiltert werden (vgl. 5.2.2). Entsprechende Daten, für viele Fliessgewässer und über längere Zeitabschnitte ermittelt, würden vergleichende Aussagen über den Grad der Beeinträchtigung von Ausbreitungsprozessen durch Schwemmgut-Entnahmen erlauben.

Bezüglich der hier durchgeführten Berechnungen ist folgendes anzumerken:

Das Verhältnis der entnommenen zur weitergeleiteten Schwemmgutmenge ( $S_R/S_W$ ) wird durch die Oberflächenströmung vor dem Wehr beeinflusst. Die Modellrechnung gemäss Gleichung (1) kann die reale Situation deshalb nicht exakt erfassen. Eine Gleichsetzung mit den Abflussmengen wird von Fachleuten aber als vertretbar angesehen (mdl. Mitteilung W. Hauenstein). An Kanalkraftwerken, wie z.B. Gösgen, sind die real entnommenen Anteile vermutlich sogar höher als mit der Formel berechnet. Aus folgendem Grund: Die grössten Schwemmgutmengen fallen jeweils zu Beginn einer Hochwasserwelle an (Vischer & Huber 1985, Schälchli et al. 1997). Eine daraufhin eingeleitete Drosselung der Maschinen reduziert das Schwemmgutaufkommen im Kanal erst mit einer zeitlichen Verzögerung, so dass über einen unbestimmten Zeitraum noch überproportional viel Material (im Verhältnis zum Durchfluss) an den Rechen gelangt (mdl. Mitteilung F. Grogg).

Als Alternative zu der hier verwendeten Modellrechnung könnten die relativen Anteile des entnommenen Schwemmgutes an der gesamten Schwemmgutfracht eines Gewässers auch über dessen *Schwemmgutpotential* abgeschätzt werden. Formeln dazu finden sich bei Rickenmann (1997).

## 6 Fazit

Zitate aus Teil I:

*„Schwemmgut hat ein grosses Potential als Ausbreitungs- und Etablierungsmedium für auetypische Tiere und Pflanzen, da es gleichzeitig Lebensraum, Vektor und Diasporenbank ist. Da im Schwemmgut Vertreter derselben Tierarten in grossen Konzentrationen transportiert werden, können sich lebensfähige Populationen an*

*Standorten etablieren, an denen zuvor noch keine Artgenossen vorkamen. Schwemmgut ist damit eine Keimzelle der Neu- und Wiederbesiedlung von Auenstandorten (Gerken et al. 1998, Gerken & Dörfer 2002).“* (S. 8)

*„Hydrochore Ausbreitung kann nur dann effizient sein, [...] wenn Uferbereiche und Auen periodisch überschwemmt werden (hydrologische Konnektivität) und die longitudinale Durchgängigkeit der Flüsse und Bäche gewährleistet ist. Die ökologischen Folgen von Gewässerverbauungen und Entnahmen von Schwemmgut an Wasserkraftwerken müssen deshalb auch mit Fokus auf die hydrochore Ausbreitung terrestrischer Organismen diskutiert werden (Tockner et al. 2002, Tockner & Langhans 2003). Diese Diskussion findet bisher noch kaum statt.“* (S. 8)

## 7 Literatur

- Abbot, D. T. & D. A. Crossley. 1982. Woody litter decomposition following clear-cutting. *Ecology* **63**:35-42.
- Boness, M. 1975. Arthropoden im Hochwassergenist von Flüssen. *Bonner zoologische Beiträge* **26**:383-401.
- Braccia, A. & D. P. Datzler. 2001. Invertebrates associated with woody debris in a southeastern U.S. forested floodplain wetland. *Wetlands* **21**:18-31.
- Bridcut, E. E. 2000. A study of terrestrial and aerial macroinvertebrates on river banks and their contribution to drifting fauna and salmonid diets in a Scottish catchment. *Hydrobiologia* **427**:83-100.
- Bütikofer, E. 1920. Die Bedeutung des Genistes für den Konchyliensammler. *Festschrift für Zschokke* **8**:1-11.
- Coulson, S. J., I. D. Hodkinson, N. R. Webb & J. A. Harrison. 2002. Survival of terrestrial soil dwelling arthropods on and in seawater: implications for trans-oceanic dispersal. *Functional Ecology* **16**:353-356.
- Czogler, K. & M. Rotarides. 1938. Analyse einer vom Wasser angeschwemmten Molluskenfauna. *Arbeiten des Ungarischen Biologischen Forschungsinstituts* **10**:8-43.
- Dister, E. 1994. The function, evaluation and relicts of near-natural floodplains. Pages 317-329 *in* R. Kinzelbach, editor. *Biologie der Donau*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Fager, E. W. 1968. The community of invertebrates in decaying oak wood. *Journal of Animal Ecology* **7**:121-142.
- Fittkau, E. J. 1976. Kinal und Kinon, Lebensraum und Lebensgemeinschaft der Oberflächendrift am Beispiel amazonischer Fließgewässer. *Biogeographica* **7**:101-113.
- Franz, V. 1907. Beiträge zur schlesischen Molluskenfauna. *Nachrichtenblatt der Deutschen Malakozoologischen Gesellschaft* **39**:20-33, 53-68.
- Gerken, B., H. Böttcher, F. Böwingloh, K. Dörfer, C. Leushacke-Schneider, A. Robinson & M. Wienhöfer. 1998. Treibgut und Genist - Landschaftsmüll oder Quelle und Antrieb dynamischer Lebensvorgänge in Auen? *Auenregeneration, Fachbeiträge* **1**:1-24.
- Gerken, B. & K. Dörfer. 2002. Auenregeneration an der Oberweser. *Angewandte Landschaftsökologie* **46**:91-97.

- Honomichl, K. & H. Bellmann. 1998. Biologie und Ökologie der Insekten. *in*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Kail, J. & M. Gerhard. 2002. Totholz in Fließgewässern - eine Begriffsbestimmung. *Wasser & Boden* **10**.
- Langhans, S. D. 2000. Schwemmgut: Indikator der ökologischen Integrität einer Flussaue. Diplomarbeit. ETH Zürich.
- Rapoport, E. H. & L. Sanchez. 1963. On the epineuston or the superaquatic fauna. *Oikos* **14**:6-109.
- Rickenmann, D. 1997. Schwemholz und Hochwasser. *Wasser Energie Luft* **89**:115-119.
- Sandberger, F. 1886. Die Verbreitung der Mollusken in den einzelnen natürlichen Bezirken Unterfrankens und ihre Beziehung zu der pleistocänen Fauna. *Verhandlungen der phys.-med. Gesellschaft* **19**:299-322.
- Savely, H. E. 1939. Ecological relations of certain animals in dead pine and oak logs. *Ecological Monographs* **9**:322-285.
- Schälchli, U., A. Baumgartner & P. Baumann. 1997. Geschwemmsel bei Kleinwasserkraftwerken. *DIANE* **10**.
- Schiemer, F. & H. Waidbacher. 1992. Strategies for conservation of the Danubian fish fauna. Pages 364-384 *in* P. J. Boon, P. Calow, & G. E. Petts, editors. *River Conservation and Management*. John Wiley & Sons, New York.
- Siepe, A. 1989. Untersuchungen zur Besiedlung einer Auen-Catena am südlichen Oberrhein durch Laufkäfer (Coleoptera: Carabidae) unter besonderer Berücksichtigung der Einflüsse des Flutgeschehens. Dissertation. Universität Freiburg (D).
- Siepe, A. 1994. Das "Flutverhalten" von Laufkäfern (Coleoptera: Carabidae), ein Komplex von öko-ethologischen Anpassungen in das Leben der periodisch überfluteten Aue - I: Das Schwimmverhalten. *Zoologisches Jahrbuch für Systematik* **121**:515-566.
- Tachet, H., P. Richoux, M. Bournaud & P. Usseglio-Polatera. 2002. *Invertébrés d'eau douce - systématique, biologie, écologie*. CNRS ÉDITIONS, Paris.
- Tenzer, C. 2000. Passive Ausbreitung terrestrischer Wirbelloser über Fließgewässer unter besonderer Berücksichtigung der Landgehäuseschnecken. Pages 74 *in* 30. Jahrestagung der Gesellschaft für Ökologie. Parey Buchverlag Berlin, Kiel.
- Tenzer, C. 2003. Ausbreitung terrestrischer Wirbelloser durch Fließgewässer. Dissertation. Philipps-Universität Marburg, Marburg/Lahn.

- Tockner, K. & S. D. Langhans. 2003. Die ökologische Bedeutung des Schwemmgutes. *Wasser Energie Luft* **95**:353-354.
- Tockner, K., A. Paetzold & U. Karaus. 2002. Leben in der Flussdynamik zwischen Trockenfallen und Hochwasser. *Rundgespräche der Kommission für Ökologie* **24**:37-46.
- Tockner, K., D. Pennetzdorfer, N. Reiner, F. Schiemer & J. V. Ward. 1999. Hydrological connectivity, and the exchange of organic matter and nutrients in a dynamic river-floodplain system (Danube, Austria). *Freshwater Biology* **41**:1-15.
- Tockner, K., F. Schiemer & J. V. Ward. 1998. Conservation by restoration: the management concept for a river-floodplain system on the Danube River in Austria. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Systems* **8**:71-86.
- Tockner, K. & J. A. Waringer. 1997. Measuring drift during a receding flood: results from an Austrian mountain brook (Ritrodat-Lunz). *International Review of Hydrobiology* **82**:1-13.
- Vischer, D. & A. Huber. 1985. *Wasserbau*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Waringer, J. A. 1992. The drifting of invertebrates and particulate organic matter in an Austrian mountain brook. *Freshwater Biology* **27**:367-378.
- Zar, J. H. 1984. *Biostatistical Analysis*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall.

# ANHANG

## Anhang A

Tab. A-1. Übersicht Probenahme Donau.

Datum	Ort:	Uhrzeit	Leitf. [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	$\text{O}_2$ [%]	$\text{O}_2$ [mg/l]	Temp. [ $^\circ\text{C}$ ]	v Oberfl. [m/sec]	t Oberfl. [sec]	v Wassersäule [m/sec]	t Wassersäule [sec]
17.04.04	Donau	14:30					0.23	60	0.19	60
17.04.04	Au	14:30								
19.04.04	Donau	13:00					0.39	60	0.33	60
19.04.04	Au	14:00								
26.04.04	Donau	10:30					0.41	60	0.39	60
26.04.04	Au	13:30					0.36	120	0.40	120
03.05.04	Donau	16:30	383	137	13.5	15.2	0.38	60	0.35	60
03.05.04	Au	14:00	399	135	13.0	16.0	0.34	90	0.31	90
08.05.04	Donau	10:00	347	107	10.7	14.5	0.35	60	0.33	120
08.05.04	Au	12:00	380	105	10.6	15.0	0.25	30	0.25	60
12.05.04	Au	13:30	404	140	12.9	18.7				
12.05.04	Donau	15:00	374	120	11.8	15.4	0.28	60	0.25	120
14.05.04	Au	12:00	427	127	12.0	17.9				
14.05.04	Donau	13:00	390	115	11.5	14.8	0.43	60	0.39	60
17.05.04	Au	11:30	387	117	11.8	14.5	1.00	60	1.12	30
17.05.04	Donau	13:00	389	118	11.8	14.4	0.26	120	0.23	120
03.06.04	Au	12:30	378	137	12.6	15.0	0.48	60	0.60	60
03.06.04	Donau	11:00	345	144	13.5	14.4	0.37	60	0.27	60
04.06.04	Au	13:30	352	141	13.0	14.3	1.06	50	0.60	30
04.06.04	Donau	12:00	342	130	12.5	14.3	1.45	20	1.50	20
07.06.04	Au	13:00	338	155	15.0	15.0	1.15	120	0.65	60
07.06.04	Donau	14:00	333	153	14.0	13.6	0.48	30	0.50	30
09.06.04	Au	12:00	376	130	11.3	15.1	1.23	60	0.37	60
09.06.04	Donau	13:00	363	122	10.8	15.1	0.42	30	0.44	30
21.06.04	Au	12:30	338			16.3	0.90	60	0.45	60
21.06.04	Donau	14:00	335			16.2	1.22	30	0.70	30
07.07.04	Donau	11:00	318			18.2	0.44	120	0.37	120
07.07.04	Au	12:00								
09.07.04	Donau	10:15	318			18.9	0.41	120	0.36	120
09.07.04	Au	12:20	375			22.2				
16.07.04	Donau	09:30	325			15.3	0.50	90	0.43	90
16.07.04	Au	11:15	343			16.4				
23.07.04	Donau	10:00	340			19.3	0.38	90	0.35	90
23.07.04	Au	11:00	355			22.2				
26.07.04	Au	09:30	333			20.0	0.56	90	0.92	60
26.07.04	Donau	10:30	331			20.0	0.57	90	0.59	90
16.08.04	Donau	12:00	347			21.1	0.33	90	0.22	90
16.08.04	Au	13:30	380			25.8				
26.08.04	Donau	11:00	357			18.1	0.33	90	0.32	90
26.08.04	Au	12:00	368			19.0				
27.08.04	Donau	10:00	348			18.1	0.46	90	0.36	90
27.08.04	Au	11:30	414			18.6	0.59	90	0.59	90
01.09.04	Donau	10:30	325			16.8	0.36	90	0.26	90
01.09.04	Au	11:15	367			19.0				

**Tab. A-2.** Chemisch-physikalische Parameter der Donau und ihres Seitenarms (Au).

Probe	PN [mg/l]	PP [µg/l]	Chla [µg/l]	Chlb [µg/l]	Tara [g]	TS 60° [g/Filter]	SS [g/L]	POC [mg/l]
Au 17.4.04	0.40	52.69	14.95	0.16	0.13	0.14	0.28	2.85
Donau 17.4.04	0.23	36.48	4.25	0.12	0.13	0.14	0.14	1.72
Au 19.04.04	0.48	68.22	16.16	0.12	0.13	0.14	0.46	3.84
Donau 19.4.04	0.31	42.50	11.33	0.23	0.13	0.14	0.27	2.22
Au 26.4.04	0.27	39.55	5.24	0.01	0.13	0.14	0.14	1.68
Donau 26.4.04	0.24	39.13	4.51	0.11	0.13	0.15	0.15	1.66
Au 3.5.04	0.40	51.46	8.39	0.34	0.13	0.14	0.27	2.74
Donau 3.5.04	0.28	37.91	5.95	0.11	0.13	0.14	0.14	1.77
Au 8.5.04	0.29	36.97	12.37	0.14	0.13	0.14	0.28	2.25
Donau 8.5.04	0.24	36.52	4.54	0.16	0.13	0.14	0.14	1.35
Au 12.5.04	0.32	38.54	5.51	0.13	0.13	0.14	0.14	1.41
Donau 12.5.04	0.27	48.96	3.35	0.22	0.13	0.16	0.16	2.13
Au 14.5.04	0.35	53.94	6.71	0.17	0.13	0.13	0.27	2.30
Donau 14.5.04	0.69	181.52	4.94	0.24	0.13	0.17	0.35	4.60
Au 17.5.04	0.35	49.11	4.81	0.14	0.13	0.14	0.28	2.87
Donau 17.5.04	0.37	64.45	4.37	0.19	0.13	0.14	0.28	2.75
Au 3.6.04	0.39	53.56	7.85	0.30	0.13	0.14	0.28	2.75
Donau 3.6.04	0.35	47.85	14.66	0.30	0.13	0.14	0.28	2.54
Au 4.6.04	0.36	64.35	11.58	0.31	0.13	0.14	0.29	2.95
Donau 4.6.05	0.52	97.90	12.96	0.42	0.13	0.17	0.33	4.50
Au 7.6.04	0.19	56.88	4.46	0.13	0.13	0.16	0.31	3.58
Donau 7.6.04	0.23	75.37	4.82	0.19	0.13	0.16	0.33	3.70
Au 9.6.04	0.16	40.89	3.99	0.10	0.13	0.15	0.22	2.41
Donau 9.6.04	0.22	64.69	3.95	0.20	0.13	0.16	0.32	3.55
Au 21.6.04	0.16	43.64	3.46	0.20	0.13	0.15	0.29	2.52
Donau 21.6.04	0.19	63.11	3.14	0.19	0.13	0.16	0.33	3.27
Au 28.6.04	0.20	40.50	8.30	0.32	0.13	0.14	0.19	1.45
Donau 28.6.04	0.21	50.33	7.58	0.32	0.13	0.15	0.31	2.89
Au 7.7.04	0.18	27.64	0.00	0.00	0.13	0.14	0.01	1.79
Donau 7.7.04	0.10	28.25	0.00	0.00	0.13	0.16	0.03	2.03
Au 9.7.04	0.24	44.49	0.00	0.00	0.13	0.15	0.03	2.25
Donau 9.7.04	0.11	22.90	0.00	0.00	0.13	0.14	0.01	1.09
Au 16.7.04	0.13	30.89	0.00	0.00	0.13	0.15	0.03	1.78
Donau 16.07.04	0.14	52.97	0.00	0.00	0.13	0.18	0.06	2.37
Au 23.7.04	0.21	42.61	0.00	0.00	0.13	0.15	0.02	2.04
Donau 23.07.04	0.10	24.91	0.00	0.00	0.13	0.15	0.02	1.66
Au 26.7.04	0.15	36.33	0.00	0.00	0.13	0.14	0.02	1.75
Donau 26.7.04	0.12	39.35	0.00	0.00	0.13	0.16	0.04	2.07
Au 16.08.04	0.07	13.64	0.30	0.00	0.13	0.14	0.00	0.78
Donau 16.8.04	0.13	28.50	0.26	0.00	0.13	0.14	0.02	1.51
Au 26.8.04	0.08	12.17	3.25	0.00	0.13	0.13	0.00	0.74
Donau 26.8.04	0.10	20.29	1.00	0.00	0.12	0.13	0.01	1.19
Au 27.8.04	0.17	30.29	2.45	0.10	0.12	0.13	0.01	1.53
Donau 27.08.04	0.12	32.44	0.72	0.00	0.13	0.14	0.01	1.25
Au 1.9.04	0.10	18.42	4.93	0.04	0.13	0.13	0.01	0.90
Donau 1.9.04	0.07	24.74	0.82	0.00	0.12	0.14	0.02	1.46

## Anhang B

**Tab. B-1.** Übersicht Probenahme Aare: Eklektorproben.

Probe	Datum	Uhrzeit	Gewicht [gTG]	Volumen [L]	Expositionszeit [Tage]
E 1a	23.04.2004	18.30 Uhr	297.7	5.9	28
E 1b	23.04.2004	18.30 Uhr	326.8	6.5	28
E 2a	24.04.2004	08.00 Uhr	598.4	9.9	28
E 2b	25.04.2004	08.00 Uhr	565.1	10.3	28
E 11a	02.06.2004	13.00 Uhr	704.8	6.8	28
E 11b	02.06.2004	13.00 Uhr	691.3	7.6	28
E 11c	02.06.2004	13.00 Uhr	718.9	6.8	28
E 12a	02.06.2004	15.00 Uhr	820.2	8.4	32
E 12b	02.06.2004	15.00 Uhr	818.2	8.4	32
E 12e	02.06.2004	15.00 Uhr	832.7	8.7	32
E 13a	06.07.2004	09.30 Uhr	799.0	9.3	32
E 13b	06.07.2004	09.30 Uhr	705.9	9.5	32
E 13c	06.07.2004	09.30 Uhr	720.4	9.3	32
E 14a	08.07.2004	19.30 Uhr	844.6	9.7	25
E 14b	08.07.2004	19.30 Uhr	848.6	9.3	25
E 14c	08.07.2004	19.30 Uhr	825.6	9.5	25
E 15a	09.07.2004	08.30 Uhr	867.9	8.6	25
E 15b	09.07.2004	08.30 Uhr	842.5	8.4	25
E 15c	09.07.2004	08.30 Uhr	808.8	8.9	25

**Tab. B-2.** Übersicht Probenahme Aare: Fixationsproben.

Probe	Datum	Uhrzeit	Gewicht [gTG]	Volumen [L]
F 1a	23.04.2004	18.30 Uhr	385.84	5.5
F 1b	23.04.2004	18.30 Uhr	623.13	7
F 2a	24.04.2004	08.00 Uhr	209.7688	3
F 2b	25.04.2004	08.00 Uhr	112.96	2
F 11a	02.06.2004	13.00 Uhr	236.52	2
F 11b	02.06.2004	13.00 Uhr	283.42	2.5
F 11c	02.06.2004	13.00 Uhr	245.473	1.5
F 12a	02.06.2004	15.00 Uhr	167.11	2.5
F 12b	02.06.2004	15.00 Uhr	354.72	4
F 12e	02.06.2004	15.00 Uhr	234.2	3
F 13a	06.07.2004	09.30 Uhr	186.3	2.5
F 14a	08.07.2004	19.30 Uhr	239.4	2.5
F 15a	09.07.2004	08.30 Uhr	168.2	1.5

**Tab. B-3.** Individuenzahlen (absolute Werte) der Eklektor-Leerungen; AD adult, JU juvenil; **Probe E 1a.**

Datum der Leerung:	29.04.2004		12.05.2004		18.05.2004		22.05.2004		Total Individuen
	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	
<b><i>Insecta</i></b>									
Coleoptera	41		3	1				39	84
Collembola			4				1		5
Diptera					3		6		9
Hymenoptera	9		1			1			11
Lepidoptera		2				1			3
Thysanoptera	38	38		21					97
<b><i>Arachnida</i></b>									
Araneae						1			1
<b>Total</b>	<b>88</b>	<b>40</b>	<b>8</b>	<b>22</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>39</b>	<b>210</b>

**Tab. B-4.** Individuenzahlen (absolute Werte) der Eklektor-Leerungen; AD adult, JU juvenil; **Probe E 1b.**

Datum der Leerung:	02.05.2004		12.05.2004		18.05.2004		22.05.2004		Total Individuen
	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	
<b><i>Insecta</i></b>									
Coleoptera	64		3		3	50	1	131	252
Collembola	6		6				1		13
Diptera	5				11		3		19
Heteroptera	1								1
Hymenoptera	13						1		14
Lepidoptera						2			2
Sternorrhyncha	1								1
Thysanoptera	33	96	2	42	1	1		1	176
<b><i>Arachnida</i></b>									
Acari	4								4
<b>Total</b>	<b>127</b>	<b>96</b>	<b>11</b>	<b>42</b>	<b>15</b>	<b>53</b>	<b>6</b>	<b>132</b>	<b>482</b>

**Tab. B-5.** Individuenzahlen (absolute Werte) der Eklektor-Leerungen; AD adult, JU juvenil; **Probe E 2a.**

Datum der Leerung:	02.05.2004		11.05.2004		18.05.2004		22.05.2004		Total Individuen
	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	
<b><i>Insecta</i></b>									
Auchenorrhyncha		2		1		1			4
Coleoptera	40		3		1	7	16	24	91
Collembola	50		54		54		89		247
Diptera	32		14	4	17		3		70
Heteroptera	4			2					6
Hymenoptera	2				1	1	2		6
Neuroptera	1								1
Orthoptera			1						1
Psocoptera							1		1
Thysanoptera	4	24		8	1				37
<b><i>Arachnida</i></b>									
Acari	7								7
Araneae			13						13
<b><i>Myriapoda</i></b>									
Chilopoda	1								1
<b>Total</b>	<b>141</b>	<b>26</b>	<b>85</b>	<b>15</b>	<b>74</b>	<b>9</b>	<b>111</b>	<b>24</b>	<b>485</b>

**Tab. B-6.** Individuenzahlen (absolute Werte) der Eklektor-Leerungen; AD adult, JU juvenil; **Probe E 2b.**

Datum der Leerung:	29.04.2004		11.05.2004		18.05.2004		22.05.2004		Total Individuen
	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	
<b><i>Insecta</i></b>									
Auchenorrhyncha		2		6		1			9
Coleoptera	23		4	2	2	3		4	38
Diptera	18		29		8		1		56
Heteroptera		1		6	1	1	1		10
Hymenoptera	4		2		1				7
Lepidoptera		2				1			3
Collembola	50		61		26		23		160
Psocoptera			1						1
Thysanoptera	5	17							22
unbestimmt			1						1
<b><i>Arachnida</i></b>									
Acari	6		3		7		6		22
Araneae	5			1					6
Opiliones	2				1		4		7
<b><i>Myriapoda</i></b>									
Diplopoda			1						1
<b><i>Mollusca</i></b>									
Gastropoda	1		1						2
<b>Total</b>	<b>114</b>	<b>22</b>	<b>103</b>	<b>15</b>	<b>46</b>	<b>6</b>	<b>35</b>	<b>4</b>	<b>345</b>

**Tab. B-7.** Individuenzahlen (absolute Werte) der Eklektoren-Leerungen; AD adult, JU juvenil; **Probe E 11a.**

Datum der Leerung:	04.06.2004		06.06.2004		08.06.2004		10.06.2004		12.06.2004		14.06.2004		18.06.2004		20.06.2004		22.06.2004		05.07.2004		Total Individuen
	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	
<b>Insecta</b>																					
Coleoptera	9		5		5												4		11	2	37
Collembola					1														12		13
Diptera	2		4		9		4		3				6	4	1		1		3		37
Hymenoptera	2		4				1		1		1		5		1		1		9		25
Neuroptera	1																				1
Orthoptera										1											1
Thysanoptera							1														1
<b>Arachnida</b>																					
Acarini	1																				1
Araneae							1		2		1										4
Pseudoscorpiones												1							1		2
<b>Crustacea</b>																					
Isopoda																					1
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	<b>13</b>		<b>15</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>14</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>36</b>	<b>2</b>	<b>123</b>			

**Tab. B-8.** Individuenzahlen (absolute Werte) der Eklektoren-Leerungen; AD adult, JU juvenil; **Probe E 11b.**

Datum der Leerung:	04.06.2004		06.06.2004		08.06.2004		10.06.2004		12.06.2004		14.06.2004		18.06.2004		20.06.2004		22.06.2004		05.07.2004		Total Individuen
	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	
<b>Insecta</b>																					
Coleoptera	4		6		5						1		2				3				21
Collembola							1								1				7		9
Diptera	5		7		2		2		1		2		2		2		2		1		26
Heteroptera																					1
Hymenoptera					2		2				1		3		3		1		9		21
Sternorrhyncha																					1
Larven																					3
<b>Arachnida</b>																					
Araneae							2		1												3
<b>Total</b>	<b>9</b>		<b>14</b>		<b>9</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>17</b>	<b>1</b>	<b>85</b>						

**Tab. B-9.** Individuenzahlen (absolute Werte) der Eklektoren-Leerungen; AD adult, JU juvenil; **Probe E 11c.**

Datum der Leerung:	04.06.2004		06.06.2004		08.06.2004		10.06.2004		12.06.2004		14.06.2004		18.06.2004		20.06.2004		22.06.2004		05.07.2004		Total Individuen
	AD	JU																			
<b>Insecta</b>																					
Auchenorrhyncha												1									1
Coleoptera	9		4		5		1										1				20
Collembola	3		16		8		3		2		3										4
Diptera	3		16		8		3		2		3										38
Hymenoptera	1		2		2		1								1		1				8
Formicidae	1				1																1
Neuroptera																					1
<b>Total</b>	<b>17</b>		<b>22</b>		<b>16</b>		<b>6</b>		<b>2</b>		<b>3</b>		<b>1</b>		<b>3</b>		<b>2</b>				<b>73</b>

**Tab. B-10.** Individuenzahlen (absolute Werte) der Eklektoren-Leerungen; AD adult, JU juvenil; **Probe E 12a.**

Datum der Leerung:	04.06.2004		06.06.2004		08.06.2004		10.06.2004		12.06.2004		14.06.2004		18.06.2004		20.06.2004		22.06.2004		05.07.2004		Total Individuen
	AD	JU																			
<b>Insecta</b>																					
Auchenorrhyncha	1	1																			2
Coleoptera	7		3		1		1										1		6	1	23
Collembola	1		1		2		1				1								3	1	9
Diptera	1		13		10		1				1										26
Heteroptera															1						1
Hymenoptera	3		2		1		1						1				2		1		11
Sternorrhyncha	3		1																		4
Trichoptera			1						1												2
<b>Arachnida</b>																					
Acari																					
Araneae									1										1		1
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>1</b>	<b>21</b>	<b>1</b>	<b>14</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>11</b>	<b>2</b>	<b>82</b>

**Tab. B-11.** Individuenzahlen (absolute Werte) der Eklektoren-Leerungen; AD adult, JU juvenil; **Probe E 12b.**

Datum der Leerung:	04.06.2004		06.06.2004		08.06.2004		10.06.2004		12.06.2004		14.06.2004		18.06.2004		20.06.2004		22.06.2004		05.07.2004		Total Individuen	
	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU		
<b>Insecta</b>																						
Coleoptera				10		4				3				1						5		23
Collembola																		1		1		2
Diptera	1		7		12								2		1		2			3		28
Heteroptera											1											1
Hymenoptera			1				2			1										1		5
Lepidoptera			1																			1
<b>Arachnida</b>																						
Pseudoscorpiones					1																	1
<b>Total</b>	<b>1</b>			<b>19</b>		<b>17</b>		<b>2</b>		<b>4</b>			<b>1</b>	<b>3</b>		<b>1</b>		<b>3</b>		<b>10</b>	<b>61</b>	

**Tab. B-12.** Individuenzahlen (absolute Werte) der Eklektoren-Leerungen; AD adult, JU juvenil; **Probe E 12e.**

Datum der Leerung:	04.06.2004		06.06.2004		08.06.2004		10.06.2004		12.06.2004		14.06.2004		18.06.2004		20.06.2004		22.06.2004		05.07.2004		Total Individuen	
	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU		
<b>Insecta</b>																						
Auchenorrhyncha	1																					1
Coleoptera	5		7		4															18		34
Collembola							1						1				1			11		14
Diptera	8		27		19		4		2		12		9		4		2		8			95
Heteroptera																						1
Hymenoptera	1				1		1		1		1		1		1		2		5			13
Neuroptera			1		1																	3
Sternorrhyncha	2																					2
Thysanoptera			1																			3
Laarven					1															1		3
<b>Arachnida</b>																						
Acar			1																	1		2
Opliones							1													1		2
Pseudoscorpiones					1																	1
<b>Total</b>	<b>17</b>			<b>37</b>		<b>27</b>		<b>8</b>		<b>3</b>		<b>12</b>		<b>11</b>		<b>5</b>		<b>5</b>		<b>47</b>	<b>174</b>	

**Tab. B-13.** Individuenzahlen (absolute Werte) der Eklektoren-Leerungen; AD adult, JU juvenil; **Probe E 13a.**

Datum der Leerung:	08.07.2004		11.07.2004		13.07.2004		15.07.2004		19.07.2004		21.07.2004		25.07.2004		27.07.2004		29.07.2004		03.08.2004		Total Individuen
	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	
<b>Insecta</b>																					
Coleoptera	9		12		8		10	4	5	8	2	1	9		2				13	1	84
Collembola					2		9		10				1						3		25
Diptera	61		76		14		20	6	20	2			2		1						202
Heteroptera											1						1				2
Hymenoptera	3		2		1		1				3		2						1		13
Lepidoptera			2																		2
Sternorrhyncha	2																				2
Thysanoptera							1		1												2
Trichoptera										1											1
<b>Arachnida</b>																					
Acari							10		7		1								3		21
Araneae								1													1
<b>Mollusca</b>																					
Gastropoda							1														1
<b>Total</b>	<b>75</b>		<b>92</b>		<b>25</b>		<b>52</b>	<b>12</b>	<b>43</b>	<b>11</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>14</b>		<b>3</b>				<b>20</b>	<b>1</b>	<b>356</b>

**Tab. B-14.** Individuenzahlen (absolute Werte) der Eklektoren-Leerungen; AD adult, JU juvenil; **Probe E 13b.**

Datum der Leerung:	08.07.2004		11.07.2004		13.07.2004		15.07.2004		19.07.2004		21.07.2004		25.07.2004		27.07.2004		29.07.2004		03.08.2004		Total Individuen
	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	
<b>Insecta</b>																					
Coleoptera	14		10	3	10		6	5	9	101	1	10	12	8	3		7	2	14	1	217
Collembola				1	1		6		8		1	1									18
Diptera	18		49		7		21	4	17	2	1	1	4	1							126
Heteroptera																					2
Hymenoptera	3		2		1		2		4		3		1		1						17
Sternorrhyncha							1												1		1
Thysanoptera							1		2	1											4
Trichoptera																					1
Larven										1											1
<b>Arachnida</b>																					
Acari					1		7		4		1				3				2		18
<b>Total</b>	<b>35</b>		<b>61</b>	<b>4</b>	<b>20</b>	<b>1</b>	<b>44</b>	<b>13</b>	<b>42</b>	<b>104</b>	<b>7</b>	<b>11</b>	<b>18</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>17</b>	<b>1</b>	<b>405</b>

**Tab. B-15.** Individuenzahlen (absolute Werte) der Eklektoren-Leerungen; AD adult, JU juvenil; **Probe E 13c.**

Datum der Leerung:	08.07.2004		11.07.2004		13.07.2004		15.07.2004		19.07.2004		21.07.2004		25.07.2004		27.07.2004		29.07.2004		03.08.2004		Total Individuen
	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	
<b>Insecta</b>																					
Coleoptera	13		8		2		8	1	4	48	2	9	2	1	4				9		111
Collembola					3		6		19		2										30
Diptera	24		76		8		15	2	55	4	2	2									188
Heteroptera	1							1													2
Hymenoptera	1		1				1		2		1	3							1		10
Lepidoptera										1											1
Steinorhyncha			1		1		1		5		2										9
Thysanoptera	2		2																		6
<b>Arachnida</b>																					
Acari			1				6		5		1									1	16
<b>Total</b>	<b>41</b>		<b>89</b>		<b>14</b>	<b>0</b>	<b>37</b>	<b>4</b>	<b>90</b>	<b>55</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>5</b>				<b>11</b>		<b>373</b>

**Tab. B-16.** Individuenzahlen (absolute Werte) der Eklektoren-Leerungen; AD adult, JU juvenil; **Probe E 14a.**

Datum der Leerung:	11.07.2004		13.07.2004		15.07.2004		19.07.2004		21.07.2004		25.07.2004		27.07.2004		29.07.2004		03.08.2004		Total Individuen		
	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU			
<b>Insecta</b>																					
Auchenorrhyncha																					1
Coleoptera	48		36		41		1	28	34	2	23	5	6	1	10	1	40			276	
Collembola	1		1		1		43		7		10		4		5		13			85	
Dermoptera	1																				1
Diptera	25		31		27		4	24		3	8									122	
Heteroptera	1						1		3		1									7	
Hymenoptera	6		4		7		13		3		11			1		2	1			48	
Neuroptera																					1
Steinorhyncha	1		1				1		1											3	
Thysanoptera										1					1					5	
Trichoptera					1															1	1
Larven																					3
<b>Arachnida</b>																					
Acari			2		6		4		2						2					17	
Araneae									49		10		5				1			65	
<b>Mollusca</b>																					
Gastropoda	1																				1
<b>Total</b>	<b>84</b>		<b>76</b>		<b>83</b>	<b>8</b>	<b>113</b>	<b>88</b>	<b>17</b>	<b>36</b>	<b>34</b>	<b>13</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>18</b>	<b>3</b>	<b>56</b>			<b>636</b>	

**Tab. B-17.** Individuenzahlen (absolute Werte) der Eklektoren-Leerungen; AD adult, JU juvenil; **Probe E 14b.**

Datum der Leerung:	11.07.2004		13.07.2004		15.07.2004		19.07.2004		21.07.2004		25.07.2004		27.07.2004		29.07.2004		03.08.2004		Total Individuen
	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	
<b>Insecta</b>																			
Coleoptera	44		32		30		16	33	3	16	4	5	3		1		18		205
Collembola			1		9		31		23		6	4	4		9		17		100
Diptera	27		31		27		28	4	2	1	5		4		2				131
Heteroptera	1									1									2
Hymenoptera	3				7		9	2	4		6				1		1		33
Neuroptera							1										1		2
Sternorrhyncha	1		1				1												3
Thysanoptera	1		1		2										1				5
Trichoptera							1			1								1	2
Larven									1										2
<b>Arachnida</b>																			
Acari					3		5		2		1		2				3		16
Araneae	1				1				6								2		10
<b>Total</b>	<b>78</b>		<b>66</b>		<b>79</b>		<b>92</b>	<b>46</b>	<b>34</b>	<b>19</b>	<b>22</b>	<b>5</b>	<b>13</b>		<b>14</b>		<b>42</b>	<b>1</b>	<b>511</b>

**Tab. B-18.** Individuenzahlen (absolute Werte) der Eklektoren-Leerungen; AD adult, JU juvenil; **Probe E 14c.**

Datum der Leerung:	11.07.2004		13.07.2004		15.07.2004		19.07.2004		21.07.2004		25.07.2004		27.07.2004		29.07.2004		03.08.2004		Total Individuen
	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	
<b>Insecta</b>																			
Auchenorrhyncha									1										1
Coleoptera	40		14		26		22	61	1	20	6	7	3		4		27	2	233
Collembola			2		4		33	1	1		8						5	1	55
Diptera	32		31		19		2	23	3	4	4		1		1				120
Heteroptera	1				2			11			2								16
Hymenoptera	4		7		4		11		2		10				1		2		41
Lepidoptera					1				1										2
Neuroptera	2		2		1														5
Psocoptera															1				1
Sternorrhyncha	2		1																3
Thysanoptera					4		1								1				6
Trichoptera											1								1
Larven							1				1								2
<b>Arachnida</b>																			
Acari					5		4										4		14
Araneae					10				31	1		2			1		1		46
<b>Total</b>	<b>81</b>		<b>57</b>		<b>74</b>		<b>94</b>	<b>107</b>	<b>10</b>	<b>21</b>	<b>25</b>	<b>16</b>	<b>4</b>		<b>9</b>		<b>39</b>	<b>3</b>	<b>546</b>

**Tab. B-19.** Individuenzahlen (absolute Werte) der Eklektoren-Leerungen; AD adult, JU juveni; **Probe E 15a.**

Datum der Leerung:	11.07.2004		13.07.2004		15.07.2004		19.07.2004		21.07.2004		25.07.2004		27.07.2004		03.08.2004		Total Individuen
	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	
<b>Insecta</b>																	
Auchenorrhyncha						1											1
Coleoptera	1		4	1	1	1	5	2	1	2	9	10	5		37		128
Collembola						16	18		15	8	13	24	12		38		94
Diptera	26		19	20	10	18		8			24		6		5		136
Heteroptera						1								1			3
Hymenoptera	3			2	2						1		1				7
Thysanoptera				2	2	3	1	1								1	8
Trichoptera												1					1
Larven										1							1
<b>Arachnida</b>																	
Acari			2	4	4		7		1	1			1		12		27
Pseudoscorpiones											1						1
<b>Mollusca</b>																	
Gastropoda				1													1
<b>Total</b>	<b>30</b>		<b>25</b>	<b>30</b>	<b>16</b>	<b>47</b>	<b>3</b>	<b>25</b>	<b>3</b>	<b>48</b>	<b>12</b>	<b>25</b>	<b>1</b>	<b>142</b>	<b>1</b>	<b>408</b>	

**Tab. B-20.** Individuenzahlen (absolute Werte) der Eklektoren-Leerungen; AD adult, JU juveni; **Probe E 15b.**

Datum der Leerung:	11.07.2004		13.07.2004		15.07.2004		19.07.2004		21.07.2004		25.07.2004		27.07.2004		29.07.2004		03.08.2004		Total Individuen
	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	
<b>Insecta</b>																			
Auchenorrhyncha																			
Coleoptera	8		2		3		9	6	1	2	3	7	1		5		63		110
Collembola					11	1	27		7	18		20		6			8		98
Diptera	17		19	3	19	3	21	3	5	16		4		1	4		3		116
Heteroptera						1		2		2									5
Hymenoptera			1		3	1	2		2	1									10
Thysanoptera							1	3			1								5
Larven						2		1							1				5
<b>Arachnida</b>																			
Acari			2		9		4		3								11		37
Araneae		1		3							2								6
<b>Total</b>	<b>25</b>	<b>1</b>	<b>24</b>	<b>45</b>	<b>11</b>	<b>64</b>	<b>15</b>	<b>18</b>	<b>4</b>	<b>38</b>	<b>11</b>	<b>29</b>	<b>3</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>85</b>	<b>2</b>	<b>393</b>	

**Tab. B-21.** Individuenzahlen (absolute Werte) der Eklektoren-Leerungen; AD adult, JU juvenil; **Probe E 15c.**

Datum der Leerung:	11.07.2004		13.07.2004		15.07.2004		19.07.2004		21.07.2004		25.07.2004		27.07.2004		29.07.2004		03.08.2004		Total Individuen	
	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU	AD	JU		
<b>Insecta</b>																				
Auchenorrhyncha					1															1
Coleoptera	10		1		3		4	4	6	4	3	6	1	1			43	4	86	
Collembola	1				9		41	41		11	19	4	4				19	2	106	
Diptera	33		23		28		21	21	5	11	14	5	5	2	2		3	4	147	
Hymenoptera	4								4	1	2						4		17	
Neuroptera					1															1
Thysanoptera			1																	1
Larven						5			4	1								1		11
<b>Arachnida</b>																				
Acari					14		10	10		1			3				27			55
Araneae	1		1		1	2	2	3	3	2	2	3								12
<b>Total</b>	<b>48</b>		<b>26</b>		<b>56</b>	<b>10</b>	<b>76</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>10</b>	<b>38</b>	<b>9</b>	<b>13</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>96</b>	<b>7</b>	<b>437</b>	

**Tab. B-22.** Individuenzahlen (absolute Werte) der Eklektorproben; AD adult, JU juvenil.

Probe	E	1a	1b	2a	2b	11a	11b	11c	12a	12b	12e	13a	13b	13c	14a	14b	14c	15a	15b	15c
INSECTA																				
Auchenorrhyncha ADU	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0
Auchenorrhyncha JU			4	9				1	1						1				1	1
Coleoptera ADU	44	71	60	29	35	21	20	19	23	34	70	76	52	210	151	143	113	109	65	
Coleoptera JU	40	181	31	9	2			4			14	141	59	66	54	90	15	1	21	
Collembola ADU	5	13	247	160	13	9	4	8	2	14	25	17	30	85	100	53	94	97	104	
Collembola JU								1				1				2		1	2	
Dermoptera													9	1	0	0				
Diptera ADU	9	19	66	56	37	26	38	26	28	95	194	126	182	118	126	111	126	108	140	
Diptera JU			4								8		6	4	5	9	10	8	7	
Heteroptera ADU	0	1	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	
Heteroptera JU			2	8		1		1	1	1	2	2	1	6	1	15	3	5		
Hymenoptera ADU	9	14	5	7	25	21	9	11	5	13	13	17	10	46	31	41	7	9	10	
Hymenoptera JU	1		1											2	2			1	7	
Lepidoptera ADU	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	
Lepidoptera JU	3	2		3									1			1				
Neuroptera			1	0	1	0	1	0	0	3				1	2	5	0	0	1	
Orthoptera ADU	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Orthoptera JU					1															
Psocoptera			1	1											0	0	1			
Sternorrhyncha	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2	2	1	9	3	3	3				
Thysanoptera ADU	38	36	5	5	0	0	0	0	0	3	1	1	4	3	5	6	3	1	1	
Thysanoptera JU	59	140	32	17	1						1	3	2	2			5	4		
Trichoptera ADU	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	
Trichoptera JU								1							1		1			
unbestimmt ADU	0	0	0	1	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
unbestimmt JU										1		1		3	2	2	1	5	11	
ARACHNIDA																				
Acari	0	4	7	22	1	0	0	1	0	2	21	18	16	17	16	14	27	37	55	
Araneae ADU	0	0	13	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	4	12	0	0	2	
Araneae JU	1		6	4	3			2			1			64	6	34		6	10	
Opiliones			0	7				0	0	2										
Pseudoscorpiones					2	0	0	0	1	1								1	0	
CRUSTACEA																				
Isopoda					1	0	0													
MYRIAPODA																				
Diplopoda			0	1																
Chilopoda			1	0																
MOLLUSCA																				
Gastropoda				2								1	0	0	1	0	0	1	0	
<b>Total</b>	<b>209</b>	<b>482</b>	<b>485</b>	<b>345</b>	<b>123</b>	<b>85</b>	<b>73</b>	<b>78</b>	<b>61</b>	<b>174</b>	<b>356</b>	<b>414</b>	<b>373</b>	<b>636</b>	<b>511</b>	<b>546</b>	<b>408</b>	<b>393</b>	<b>437</b>	

**Tab. B-23.** Individuenzahlen (absolute Werte) der Fixationsproben; AD adult, JU juvenil.

Probe	1a	1b	2a	2b	11a	11b	11c	12a	12b	12c	12e	13a	14a	15a
INSECTA														
Auchenorrhyncha AD	1	1				1								
Blattodea												1		
Coleoptera AD	40	48	8	1		6	1	4	12			9	46	4
Coleoptera JU								1		2	3			
Collembola AD			1		1									
Collembola JU		1												
Diptera AD	157	268	324	118					19	1		43	17	101
Diptera JU					1	1								1
Ephemeroptera	30	22							8		10	10	16	1
Heteroptera AD		1							2				1	1
Heteroptera JU									1					
Hymenoptera AD	2	9	3	1					4	3		34	35	12
Hymenoptera JU								7						
Lepidoptera AD	2								1					
Lepidoptera JU		5						1	1					
Neuroptera	1	1		1										
Orthoptera JU												1		1
Plecoptera											1	10		
Sternorrhyncha	1	2	1				2	1	10	2		8	15	29
Thysanoptera AD	12	20												
Trichoptera AD						3	2	1	8		14	41	8	13
Trichoptera JU														
unbestimmt AD							2	2				2	5	1
unbestimmt JU		1	4	1	2		3	3	8	1	2	2	2	2
ARACHNIDA														
Acari		1												
Araneae AD	2												1	
MOLLUSCA														
Gastropoda			7				2		3	3			2	4
<b>Total</b>	<b>248</b>	<b>380</b>	<b>348</b>	<b>122</b>	<b>4</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>20</b>	<b>77</b>	<b>12</b>	<b>30</b>	<b>161</b>	<b>148</b>	<b>170</b>

## Anhang C

Tab. C-1. Schwemmgut-Entnahmen im Unterlauf der Aare (Jahrestotale).

	Brugg	Flumenthal	Bannwil	Wynau	Ruppoldingen	Gösgen	Aarau-Stadt	Aarau-Rüchlig	Rapperswil- Auenstein	Wildeg- Brugg	Beznav	Klingnau	Jahrestotal Aare (Rohdaten)	Jahrestotal Aare (Korrektur)
1981		880	512	840	250	4870	882	399	5085	2030	3192	3636	22576	7525
1982		639	574	915	182	5808	560	251	3760	1429	2255	2675	19048	6349
1983		1642	777	730	151	4584	478	256	4150	1340	2580	1126	17814	5938
1984													0	0
1985		1031	752	490	204	3384	379	218	5100	854	1328	1427	15167	5056
1986		1338	677	585	143	5208	501	281	5230	1052	2899	2875	20789	6930
1987		1004	1140	850	144	4968	340	373	4320	1330	2473	2537	19479	6493
1988		1928	1102	617	185	3936	512	250	3550	1140	3295	2661	19176	6392
1989		2468	803	362	205	2484	140	20	2720	750	2287	725	12964	4321
1990		2508	1302	540	159	4056	586	230	2730	1775	4119	1964	19969	6656
1991		1638	1540	468	168	2448	364	0	4700	960	2306	1006	15598	5199
1992		2209	1994	556	146	5208	422	0	585	1385	4442	2857	19804	6601
1993		1458	1374	348	278	3652	390	0	550	1062	2577	2016	13705	4568
1994		1900	1522	399	398	4368	381	0	850	748	2783	3472	16821	5607
1995		1530	1520	402	376	4392	411	0	4416	720	2950	1677	18394	6131
1996	66	2300	1310	116	304	2256	292	0	4033	1258	5580	2175	19624	6541
1997	78	2780	2017	882	310	4382	308	0	3455	758	5461	2850	23203	7734
1998	14	600	193	54	61	517	164	0	460	758	1182	566	4555	4555
1999	20	363	460	201	101	563	426	0	946	843	1307	1186	6396	6396
2000	31	480	296	209	34	442	809	0	2567	187	854	423	6301	6301
2001	43	380	710	160	133	841	542	0	1619	402	1190	842	6819	6819
2002	60	693	843	312	463	1376	489	30	1895	485	1708	823	9117	9117
2003	30	428	342	72	118	272	235	30	682	163	615	95	3052	3052
Mittel	45	1373	989	459	205	3183	437	106	2882	974	2608	1801	6104	6104
SE	9	165	113	57	23	388	38	30	359	100	291	222		384

**Tab. C-2.** Schwemmgut-Entnahmen an fünf Kraftwerken während des Junihochwassers 2004;  
\* berechnete Werte.

Kraftwerk	KW Flumenthal	KW Wynau	KW Ruppoldingen	KW Beznau	KW Klingnau
Distanz ab Bielersee (km)	37.1	53	65.2	119	124.5
Zeitraum $\Delta t$ [h]	81	58	56	85	54
Turbinierte Wassermenge $Q_M$ [m <sup>3</sup> ]	93029112	75573000	53820871	48279036	117604800
Vorbei geleitete Wassermenge $Q_W$ [m <sup>3</sup> ]					
Gesamtwassermenge [m <sup>3</sup> ]	168811164	121152857	130796136	383686265	278416800
Entnommene Schwemmgutmenge $S_R$ [t]	22.46	63	110	85	460.5263158
Entnommene Schwemmgutmenge $S_R$ [m <sup>3</sup> ]	80	239	450	323	1750
Vorbeigeleitete Schwemmgutmenge $S_W$ [t]	18*	38*	157*	591*	630*
Gesamtschwemmgutmenge [t]	41*	101*	267*	676*	1090*