

Bodenfaunistische Untersuchungen in Aare und Rhein

Von J. Bloesch

Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG), CH-8600
Dübendorf

Manuskript eingegangen am 26. April 1977

ABSTRACT

In 1969-1972 quantitative benthos samples were collected in the rivers Aare (near Beznau) and Rhine (near Kaiseraugst). The biocoenoses are dominated by oligochaetes and chironomids in both rivers; in the Aare, *Hydropsyche* sp. also is one of the dominant forms. The spatial distribution of most organisms is inhomogeneous (contagious). In the Aare a significantly higher number of species, individuals, and a greater biomass have been found. As the bed of the Aare is muddy and the bed of the Rhine is gravelly and sandy, the differences in population density can be related to the differences in the substratum.

Teil I: Biologische Bestandaufnahme

1. Einleitung

Über die Bodenfauna in den grösseren Flüssen der Schweiz ist wenig bekannt. Neueste biologische Daten aus tieferen Fliessgewässern liegen nur im Projekt «Mapos» [17] vor. Es sind vor allem die Unzugänglichkeit der Flußsohle und die damit verbundenen methodischen Schwierigkeiten, welche Untersuchungen des Flussbenthos erschweren. Dies mag mit ein Grund dafür sein, dass ökologische Arbeiten über Fliesswasserorganismen fast ausschliesslich an Bächen durchgeführt werden. Ergebnisse von Untersuchungen an Bächen können jedoch nicht ohne weiteres auf Flüsse übertragen werden. Schon die generelle Zonierung der Fliessgewässer [24] zeigt, dass einer der für die Verbreitung der Arten wichtigsten Faktoren die Beschaffenheit des Bodens ist, welcher im wesentlichen von der geographischen und klimatischen Lage einerseits, von der zivilisatorischen Beeinflussung des Gewässers anderseits gestaltet wird. Ein Fluss ist, im Gegensatz zu Bächen, naturgemäss auf Tieflandregionen beschränkt. Damit sind für ihn bezüglich der erwähnten Kriterien gewisse Randbedingungen gegeben. Innerhalb dieser Grenzen hat aber jeder einzelne Fluss individuellen Charakter. Deshalb treffen die für Flüsse allgemein typischen Eigenschaften je nach Verhältnissen nur einzeln und selten gesamthaft zu. Im Vergleich mit der Oberlauf-Region sind als spezifische Flusseigenschaften zu nennen:

- die konstantere Wasserführung (geringere Amplituden),
- die ausgeglichene Fließgeschwindigkeit (kleinerer Sauerstoffeintrag),
- die im Sommer erhöhten Temperaturen,
- die abnehmende Rauigkeit der Flußsohle,
- die erhöhte und dauernde Geschiebeführung,
- die erhöhte Trübung,
- die verstärkte Sedimentation organischen Schlammes (vor allem in Staustufen!),
- die grössere Tiefe, mit Auswirkungen auf das Lichtklima (zusammen mit der Trübung) und die Druckverhältnisse (0,8 atm bzw. 8 m Tiefe bedeuten die kritische Grenze für das Wachstum höherer Wasserpflanzen [24]),
- die hohe Abwasserbelastung.

Welche ökologischen Faktoren im einzelnen und massgeblich auf die pflanzliche und tierische Besiedlung eines Fließgewässers einwirken, ist nur schwer abzuklären. Ein Fluss wird jedoch infolge seiner Grösse weit weniger von lokalen Ereignissen betroffen als ein Bach. Das Benthos der Flussregion ist daher besonderen und ausgeglicheneren Lebensbedingungen ausgesetzt.

Es entsprach schon lange einem Bedürfnis, Genaueres über das Benthos grösserer Flüsse in Erfahrung zu bringen. Unsere umfangreichen bodenfaunistischen Untersuchungen in den Jahren 1969–1972 an der Aare bei Beznau und am Rhein bei Kaiseraugst wurden durch den Bau bzw. die Planung von Kernkraftwerken mit Flusswasserkühlung ermöglicht [9–11]. Die primäre Fragestellung war die nach dem Einfluss der Flusswassererwärmung (thermal pollution) auf die Benthosbiozöten. Sie erforderte eine quantitative Probenahmetechnik, die speziell für Flüsse erarbeitet wurde [27]. Die erhobenen Daten ermöglichten zunächst eine deskriptive biologische Bestandesaufnahme in den beiden Flussgebieten, wofür ausschliesslich im vorliegenden ersten Teil der Arbeit Raum gewährt wird. Über die Beurteilung der Ergebnisse bezüglich der Wärmebelastung wird an anderer Stelle berichtet [6]. Die Auswertung des gesammelten Benthosmaterials stellte verschiedene Probleme bezüglich der Möglichkeiten der Interpretation ökologischer Bestandesaufnahmen. Sie werden im zweiten (methodenkritischen) Teil [7] diskutiert.

Die Arbeiten wurden im Rahmen der Bewilligungsverfahren für die Kernkraftwerke Beznau und Kaiseraugst durch die EAWAG im Auftrag des Baudepartementes des Kantons Aargau in enger Zusammenarbeit mit den Nordostschweizerischen Kraftwerken AG (NOK) und der Ingenieurunternehmung Motor Columbus AG durchgeführt.

2. Die untersuchten Flüsse

Aus Abb. 1 ist die geographische Lage der untersuchten Flüsse ersichtlich. Hinsichtlich der biozönotischen Zonierung nach Illies [15] befinden wir uns im Bereich von Epipotamon und Metapotamon, denen die Cyprinidenregion (Barben, Brassen) entspricht. Die Aare, der bedeutendste Fluss des schweizerischen Mittellandes, wird kurz oberhalb der Probestellen von Reuss und Limmat gespiesen und ist unmittelbar vor der Mündung in den Rhein bei Klingnau künstlich gestaut. Der Hochrhein,

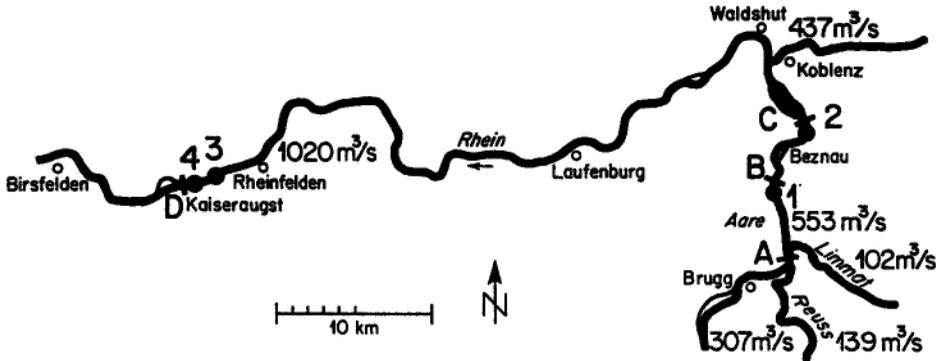


Abb. 1. Geographische Lage der Probenahmestellen. 1-4: Probenahmestellen der biologischen Untersuchungen [9-11]. A-D: Probenahmestellen der chemischen Untersuchungen [4].
 Figure 1. Geographical position of the sampling stations. 1-4: biological investigations [9-11]. A-D: chemical investigations [4].

der im Mündungsgebiet im Jahresdurchschnitt weniger Wasser führt als die Aare [14], wird durch diesen Zusammenfluss hydrographisch und biologisch stark beeinflusst. Die Probenahmestellen wurden bezüglich der Fragestellung (thermal pollution) oberhalb und unterhalb der beiden Kernkraftwerke Beznau (in Betrieb seit 1969 bzw. 1971) und Kaiseraugst (projektiert) ausgewählt [9, 10]. Die Aare ist dort 130-148 m breit und maximal 4-5 m tief, der Rhein erreicht eine Breite von 170 bis 217 m und eine Tiefe von etwa 8 m.

3. Methodik

Die quantitative Probenahme erfolgte durch einen Taucher, der ein Stechsegment in den Boden rammte und das abgegrenzte Sediment quantitativ absaugte (Methode nach Zimmermann und Ambühl [27]). Auf diese Weise wurde pro Probe ein Bodenareal von 855 cm² erfasst. Pro Querprofil wurden je 8 Proben erhoben, die sich etwa gleichmässig auf die ganze Flussbreite verteilten (Abb. 2).

Das so gewonnene Probenmaterial wurde noch an Ort und Stelle mit einem Formol-Salpetersäure-Gemisch (5 Teile Formol 40%, 2 Teile konz. HNO₃, 93 Teile Wasser) fixiert, im Labor mittels verschiedener Siebe (kleinste Maschenweite 315 µm) vom Schlamm getrennt, sortiert, bestimmt und quantitativ ausgezählt. Die Determination erfolgte, soweit möglich, bis zur Art, sonst bis zur nächst höheren sicher bestimmbar systematischen Einheit. Bei manchen Formen (insbesondere Nematoden und Chironomiden) war die Artbestimmung wegen der geringen Grösse der Tiere bzw. wegen ihres schlechten Zustandes unmöglich. Nicht berücksichtigt wurden leere Molluskenschalen und Trichopterengehäuse, Stillwasser-Phyllopoden und -Copepoden (mit Ausnahme der schlammbewohnenden Harpacticoida) sowie die Ciliaten.

Zur Bestimmung der Biomasse (Frischgewicht) einzelner Organismengruppen wurden die Tiere auf einem Löschblatt gepresst und getrocknet und dann gewogen [23].

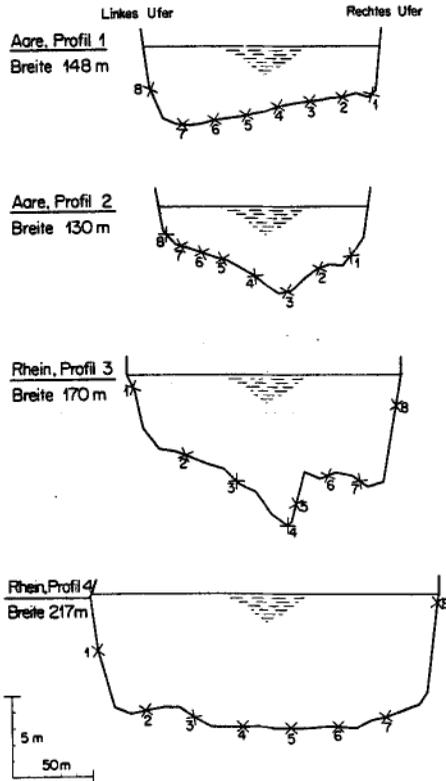


Abb. 2. Verteilung der Probenahmestellen über den Flussquerschnitt. Nach Plänen der Nordostschweizerischen Kraftwerke (NOK) und der Kraftübertragungswerke Rheinfelden.

Figure 2. Distribution of the sampling places over the river width. Adapted from plans of the power plant associations.

Bei den Probenahmen 1972 wurde zusätzlich eine Korngrössenanalyse des Flussgrundes durchgeführt, wobei eine Auftrennung in verschiedene Fraktionen bis zu einer Grösse von 0,2 mm vorgenommen wurde.

Bei jeder entnommenen Probe wurde mit einem hydrometrischen Messflügel 50 cm über dem Flussboden die Fliessgeschwindigkeit gemessen. Obgleich damit die ökologisch relevante Strömung, der die Tiere am Boden effektiv ausgesetzt sind (Grenzschicht [2]), nicht genau erfasst werden konnte, gibt diese Messung, unter Ausschaltung strömungstoter Räume hinter grossen Steinen, doch einen Anhaltspunkt über die Fliessgeschwindigkeit über der Flußsohle (vgl. [22]).

4. Physikalische und chemische Parameter

Parallel zum biologischen Untersuchungsprogramm wurden durch die Abteilung Gewässerschutz des Kantons Aargau [4] an Aare und Rhein an verschiedenen Stellen sechstägliche chemische Untersuchungen durchgeführt, die hier teilweise publiziert werden¹⁾. Während die Erhebungen am Rhein nur anderthalb Jahre

1) An dieser Stelle sei Herrn Dr. Erwin Märki für die Überlassung der umfangreichen Untersuchungsergebnisse herzlich gedankt.

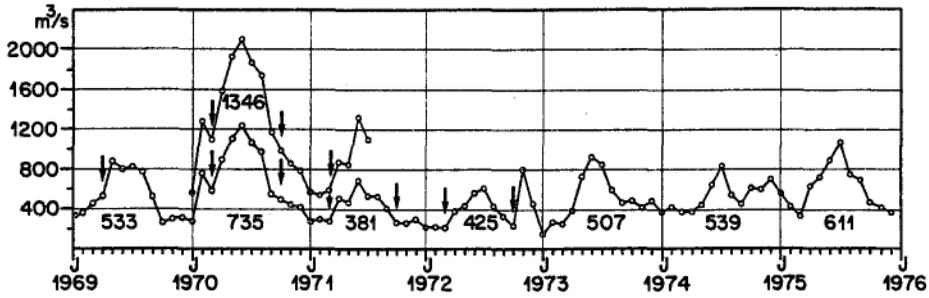


Abb. 3. Wasserführung der Aare bei Beznau (Abb. 1, Stelle B) und des Rheins bei Kaiseraugst (Abb. 1, Stelle D). Monatsmittel (Zahlen unter der Kurve = Jahresmittel) nach den Messungen der Abteilung Gewässerschutz des Baudepartements des Kantons Aargau [4]. Die Pfeile markieren die biologischen Probenahmen.

Figure 3. Flow rate in the Aare near Beznau (fig. 1, station B) and in the Rhine near Kaiseraugst (fig. 1, station D). Monthly mean values (values below the curve = annual mean), adapted from [4]. Arrows indicate the dates of biological investigations.

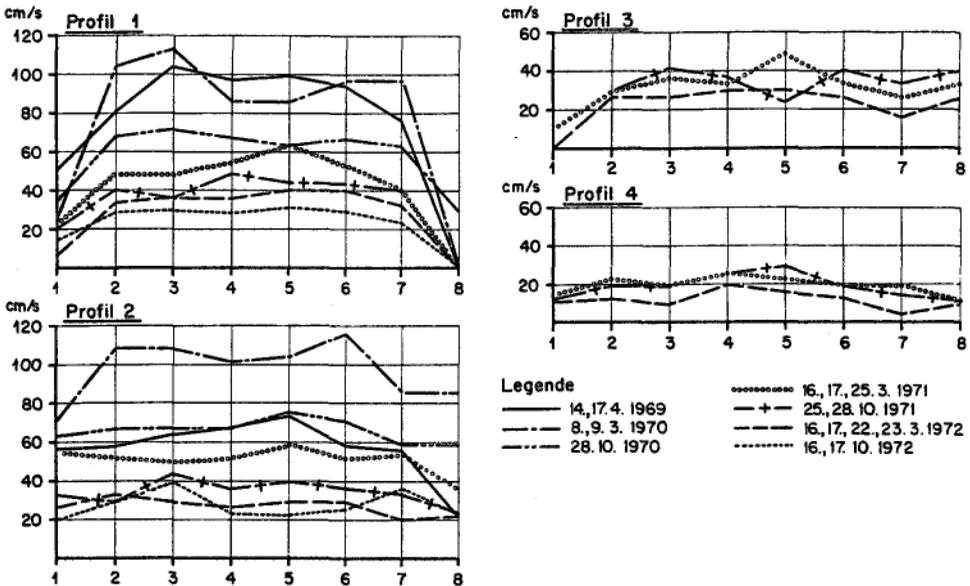


Abb. 4. Fließgeschwindigkeit 50 cm über Grund in Aare und Rhein.
Figure 4. Flow velocity 50 cm above bottom in the Aare and the Rhine.

dauerten (1970/71), werden die im Jahre 1969 begonnenen Probenahmen an der Aare immer noch weitergeführt, was bis jetzt eine lückenlose Serie von 7 Jahren ergibt.

In Abb. 3 ist zunächst die Wasserführung graphisch dargestellt. Der Kurvenverlauf gibt in erster Linie die witterungsbedingten Einflüsse auf den Wasserhaushalt

wieder. Eine starke Verminderung der Abflussmengen trat von 1970 auf 1971 ein: ein extrem trockenes folgte auf ein extrem niederschlagreiches Jahr [3]. Seit 1971 ist ein langsamer Wiederanstieg zu beobachten, ohne dass jedoch die Spitzenwerte von 1970 auch nur annähernd erreicht worden wären. Es darf aufgrund der Vergleichszahlen 1970/71 angenommen werden, dass sich die Verhältnisse im Rhein analog wie in der Aare verändert haben, eine Feststellung, die für alle besprochenen Parameter gültig sein dürfte.

Für die Jahre 1969–1972 liegen zum Vergleich eigene Fliessgeschwindigkeitsmessungen, die 50 cm über Grund durchgeführt wurden, vor (Abb. 4).

Diese decken sich in etwa mit der Wasserführung und zeigten in der Aare einen gegenüber den wasserreichen Jahren 1969/70 frappanten Rückgang der Fliessgeschwindigkeit in den Jahren 1971/72, der parallel mit der witterungsbedingten Verminderung der Abflussmenge auftrat. Die Verhältnisse im Rhein waren wesentlich ausgeglichener als in der Aare, jedoch ist im Profil 4 eine geringere Strömung als im Profil 3 gemessen worden.

Die Wassertemperatur (Abb. 5) zeigt die normalen Jahresschwankungen mit Minima um 4 °C im Januar und Maxima knapp über 20 °C im August (Aare). Im Rhein wurden Temperaturen gemessen, die nur um einige Zehntelsgrade höher lagen als in der Aare. Die absoluten Extremwerte in beiden Flüssen wurden im Jahre 1971 registriert: 1,2–1,7 °C Anfang Januar und 22,2–22,8 °C Ende Juli bis Anfang August. Seit 1971 ist ein stetiger Temperaturanstieg der Aare zu beobachten, der auf die niedrige Wasserführung, eine im Jahresdurchschnitt eher wärmere Lufttemperatur [3] und zum Teil auf direkte menschliche Einflüsse (Kläranlagen) zurückzuführen sein dürfte.

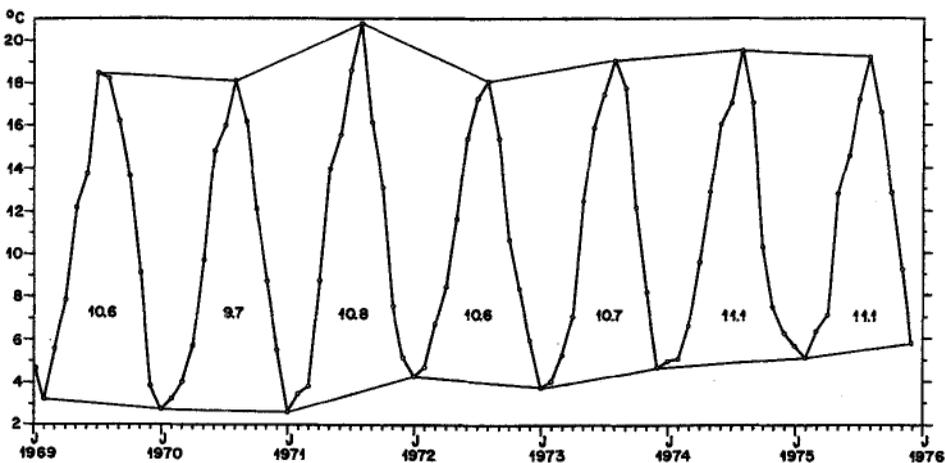


Abb. 5. Temperatur des Aarewassers bei Vogelsang (1969) und Lauffohr (1970–1975) (Abb. 1, Stelle A). Monatsmittel (Zahlen unter der Kurve = Jahresmittel) nach den Messungen der Abteilung Gewässerschutz des Baudepartements des Kantons Aargau [4].

Figure 5. Temperature in the Aare near Vogelsang (1969) and Lauffohr (1970–1975) (fig. 1, station A). Monthly mean values (values below the curve = annual mean), adapted from [4].

Die Sauerstoffverhältnisse (Abb. 6) können in beiden Flüssen als gut bezeichnet werden. Innerhalb der jahreszeitlichen Schwankungen wurden in der Aare Monatsmittelwerte von 7 bis 12,3 mg O₂/l und im Rhein solche von 9 bis 13 mg O₂/l ermittelt; die Monatsdurchschnitte der O₂-Sättigung variierten in der Aare zwischen 69 und 114%, im Rhein zwischen 88 und 114%. Die tiefste Konzentration überhaupt wurde in der Aare am 13. Oktober 1972 mit nur 5,5 mg O₂/l (entsprechend 55% Sättigung) gemessen, jedoch sanken sonst die Werte nur vereinzelt unter 7,0 mg O₂/l (Oktober 1969, September 1971) und unter 70% der Sättigung (Oktober 1969, November 1971). Sauerstoffübersättigungen traten vor allem im Frühsommer und Sommer auf; die höchsten Werte wurden im Juni/Juli 1975 mit 116–119%, im Juli 1969 mit 115% und im Mai 1973 mit 113% erreicht, während die höchsten Konzentrationen im Februar/März 1970 bei 12,4–12,6 mg O₂/l lagen. Die Sauerstoffwerte bei Döttingen lagen durchschnittlich um 0,5–1,0 mg/l höher als bei Beznau, was auf die intensive Belüftung in der Wasserwalze nach dem Stauwehr am oberen Ende der Beznau-Insel zurückzuführen ist [20]; trotzdem lagen die O₂-Konzentrationen im Rhein einige Zehntelmilligramm über denjenigen in der Aare bei Döttingen. Aufgrund der O₂-Vergleichszahlen 1970/71 scheint die Aare bei Beznau stärker belastet zu sein als der Rhein bei Kaiseraugst. Dieser Eindruck wird durch die Verschmutzungsparameter BSB₅ und KMnO₄-Verbrauch sowie durch die N- und P-Belastung (Abb. 7) verstärkt. Alle 4 Parameter waren in der Aare in etwas höheren Konzentrationen anzutreffen als im Rhein. Die Jahresfrachten (Tab. 1)

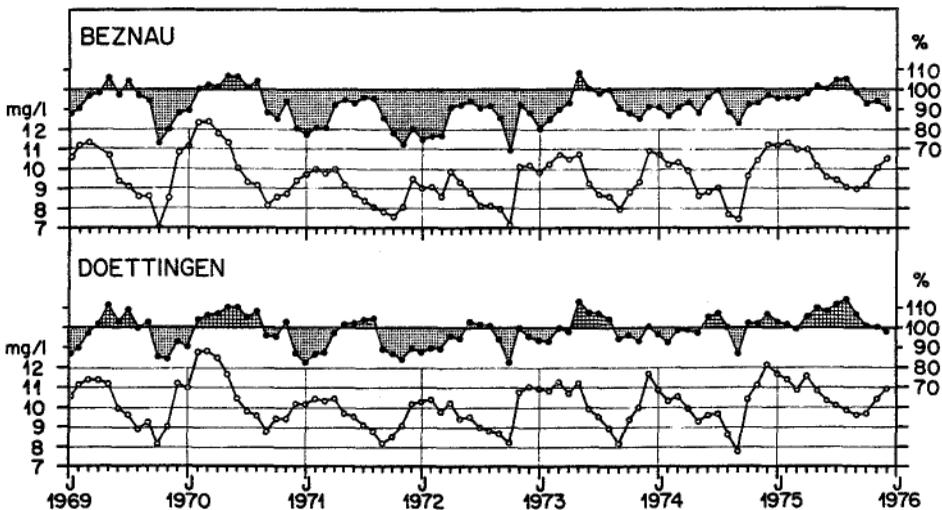


Abb. 6. Die O₂-Verhältnisse in der Aare bei Beznau (Abb. 1, Stelle B) und Döttingen (Abb. 1, Stelle C). Obere Kurve: O₂-Sättigung in %; untere Kurve: O₂-Konzentration in mg/l. Monatsmittel nach den Messungen der Abteilung Gewässerschutz des Baudepartements des Kantons Aargau [4].

Figure 6. Oxygen in the Aare near Beznau (fig. 1, station B) and Döttingen (fig. 1, station C). Upper curve: O₂ saturation in %; lower curve: O₂ concentration in mg/l. Monthly mean values, adapted from [4].

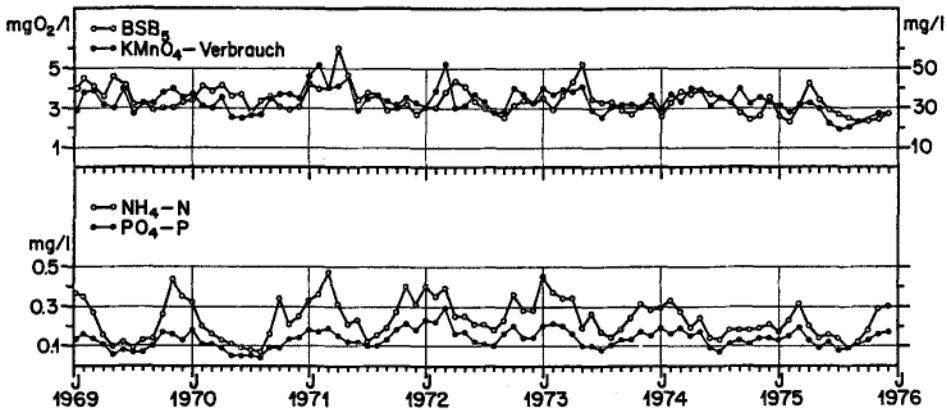


Abb. 7. Die Belastung der Aare bei Döttingen (Abb. 1, Stelle C). Konzentrationen von BSB₅, KMnO₄-Verbrauch, NH₄-N und PO₄-P (Monatsmittel) nach den Messungen der Abteilung Gewässerschutz des Baudepartements des Kantons Aargau [4].

Figure 7. Concentrations of BOD₅, KMnO₄ consumption, NH₄-N and PO₄-P in the Aare near Döttingen (fig. 1, station C). Monthly mean values, adapted from [4].

jedoch waren im Vergleichsjahr 1970 im Rhein höher. Während aufgrund der Konzentrationskurven keine signifikanten Veränderungen festzustellen sind, zeigen die Jahresfrachten dagegen deutlich, dass die organische Belastung, gemessen am BSB₅ und KMnO₄-Verbrauch, in den Jahren 1971/72 geringer war als 1969/70, dass aber 1973 ein erneuter Anstieg erfolgte.

Tabelle 1. Die Belastung der Aare bei Döttingen (Abb. 1, Stelle C) und des Rheins bei Kaiseraugst (Abb. 1, Stelle D). Jahresfrachten in 10³ t. Berechnet nach den Messungen der Abteilung Gewässerschutz des Baudepartments des Kantons Aargau [4].

Table 1. Annual loading (10³ t) of the Aare near Döttingen (fig. 1, station C) and of the Rhine near Kaiseraugst (fig. 1, station D). Calculated on data of [4].

	BSB ₅ O ₂	KMnO ₄	NH ₄ -N	PO ₄ -P
Aare 1969	61,7	562	3,14	1,64
1970	80,1	683	3,21	1,75
1971	43,7	439	2,97	1,67
1972	41,9	437	3,22	1,86
1973	55,2	495	3,89	1,88
1974	54,1	570	3,26	2,08
1975	53,1	477	3,21	2,19
Rhein 1970	130,9	1002	6,04	3,22

5. Biologische Bestandaufnahme

5.1 Artenliste

In Tabelle 2 sind sämtliche gefundenen Arten bzw. höheren systematischen Einheiten in Aare und Rhein aufgeführt. Ich beschränke mich hier auf eine repräsentative

Zusammenfassung der detaillierten Artenlisten, die an anderer Stelle dokumentiert sind [9-11]. Für die Angabe der Häufigkeit der Organismen ist die gebräuchliche Abundanzskala, basierend auf geschätzten Individuenzahlen, nicht sinnvoll, da quantitative Zahlen vorliegen. Für eine «summarische Abundanz» (= Durchschnittsangabe aus 48-80 Proben), wie sie hier verwendet werden muss, stellt sich zudem das Problem, den richtigen Stellenwert für die Häufigkeit einer Art zu finden. (In einer Serie von 10 Proben ist die Art A, die 10mal mit 20 Individuen vertreten ist, «häufiger» als die Art B, von der in nur einer Probe 200 Individuen gefunden wurden.) Es wurde deshalb eine 8stufige Abundanzskala geschaffen, in welcher nicht nur die quantitativen Individuenzahlen, sondern auch die Anzahl der «Nullproben» (= Proben ohne Individuen der betreffenden Art) berücksichtigt sind. Der Abundanzindex I, auf welchem die Häufigkeitsskala basiert, wurde empirisch ermittelt: Die zunächst errechnete durchschnittliche Individuenzahl pro Probe wird mit einem Korrekturfaktor f multipliziert, der sich aus folgender Proportion ergibt:

Totalzahlen der Proben : 100% = Anzahl Proben, in denen Art x : f% vertreten ist
(Art x immer vertreten)

Die Formel des Indexes lautet demnach:

$$I = \frac{\sum_{n=1}^n x}{n} \cdot f = \frac{\sum_{n=1}^n x}{n} \cdot \frac{n(x) \cdot 100}{n}$$

wobei

$$\sum_{n=1}^n x = \text{Gesamtzahl Individuen der Art } x$$

n = Gesamtzahl Proben

n(x) = Anzahl Proben, in denen die Art x vertreten ist.

I nimmt Werte von < 1 bis > 10⁶ an. Um die Skala übersichtlich zu gestalten, wurde auf der Basis der Zehnerpotenzen von I eine 8stufige Häufigkeitsskala mit der entsprechenden gebräuchlichen Nomenklatur aufgestellt:

Stufe	Bezeichnung	Grösse des Indexes I
+	Einzelfund	< 1
1	vereinzelt	10 ⁰ -10 ¹ ; 1stellig
2	spärlich	10 ¹ -10 ² ; 2stellig
3	mässig	10 ² -10 ³ ; 3stellig
4	reichlich	10 ³ -10 ⁴ ; 4stellig
5	viel	10 ⁴ -10 ⁵ ; 5stellig
6	sehr viel	10 ⁵ -10 ⁶ ; 6stellig
7	Massenvorkommen	> 10 ⁶

Tabelle 2. Artenliste, enthält alle von 1969 bis 1972 in der Aare und im Rhein gefundenen Makrobenthosarten bzw. höheren systematischen Einheiten.

Table 2. List of species, containing all species and higher systematic units, respectively, of the macrobenthos collected in the rivers Aare and Rhine in 1969-1972.

Name (Art, Gattung, Familie)	Abundanz (I)	
	Aare 80 Proben	Rhein 48 Proben
Gemmulae von <i>Ephydatia fluviatilis</i>	5/6	—
Bryozoa	3	—
Hydrozoa:		
<i>Hydra</i> sp.	2/3	—
<i>Hydra viridis</i>	+	—
Turbellaria:		
<i>Planaria torva</i> M. Sch.	2	4
<i>Polycelis nigra</i> Ehrbg.	2	—
<i>Dendrocoelum lacteum</i> Müll.	+	—
Nematoda	5/6	5
Nematomorpha	+	—
Oligochaeta:		
<i>Chaetogaster</i> sp. (Naididae)	5	4
<i>Stylaria lacustris</i> L. (Naididae)	3	5
<i>Nais</i> sp. (Naididae)	7	6
<i>Limnodrilus</i> sp. (Tubificidae)	4/5	5
<i>Tubifex</i> sp. (Tubificidae)	5	4/5
<i>Pelosclex</i> sp. (Tubificidae)	—	2/3
<i>Enchytraeus</i> sp. (Enchytraeidae)	3	—
<i>Stylodrilus heringianus</i> Clap. (Lumbriculidae)	3	2/3
<i>Lumbriculus variegatus</i> Müll. (Lumbriculidae)	5	5
<i>Criodrilus lacuum</i> Hfm. (Criodrilidae)	3	2
Unbestimmbare	6	5
Hirudinea:		
<i>Herpobdella octoculata</i> L.	4	3/4
<i>Glossiphonia complanata</i> L.	2	+
<i>Helobdella stagnalis</i> L.	+	—
<i>Glossiphonia heteroclita</i> L.	+	—
Mollusca/Gastropoda:		
<i>Ancylus fluviatilis</i> Müll.	4	3/4
<i>Bithynia tentaculata</i> L.	3	3
<i>Bithyniella</i> sp.	+	—
<i>Valvata (Borysthenia) naticina</i> Mke.	+	2
<i>Radix peregra ovata</i> Drap.	+	2/3
<i>Planorbis</i> sp.	2	—
<i>Armiger crista</i> L.	1	—
<i>Bathyomphalus contortus</i> L.	+	—
<i>Lymnaea glabra</i> Müll.	+	—
<i>Gyraulus albus</i> Müll.	+	—
<i>Lartetia</i> sp.	+	—
Unbestimmbare	1	—
Mollusca/Bivalvia:		
<i>Pisidium</i> sp.	4	3/4
<i>Sphaerium corneum</i> L.	3	1/2
<i>Dreissena polymorpha</i> Pall.	+	1

Tabelle/Table 2: Fortsetzung/continued

Name (Art, Gattung, Familie)	Abundanz (I) Aare 80 Proben	Rhein 48 Proben
Crustacea:		
Copepoda (Harpacticoidea)	3	4
<i>Asellus aquaticus</i> L.	3	5
<i>Gammarus fossarum</i> Koch	5	3
Acari:		
Hydracarina	3	3/4
Diptera:		
Chironomidae, total	6	6
Tanypodinae	6	5/6
Orthoclaadiinae	6	6
Chironominae, Tendipes-Gruppe	6	5
<i>Simulium</i> sp.	4	3
Psychodidae	—	2
Empididae	2	4/5
Tipulidae	1	—
<i>Dicranota</i> sp.	2	—
Ceratopogonidae	1	—
<i>Culicoides</i> sp.	—	+
Unbestimmbare	2	—
Trichoptera:		
<i>Hydropsyche</i> sp.	6	3/4
<i>Psychomyia pusilla</i> Fbr.	3/4	+
<i>Polycentropus flavomaculatus</i> Pict.	2/3	1
<i>Holocentropus</i> sp.	+	—
<i>Rhyacophila dorsalis</i> Curt.	1	—
<i>Rhyacophila vulgaris</i> Pict.	1	—
<i>Rhyacophila tristis</i> Pict.	+	—
<i>Rhyacophila</i> sp.	2	—
<i>Plectrocnemia</i> sp.	2	+
<i>Hydroptila Maclachlani</i>	+	—
<i>Hydroptila femoralis</i> Eat.	+	—
<i>Hydroptila</i> sp.	+	—
<i>Neureclipsis bimaculata</i> L.	+	—
Leptoceridae	3	1
Unbestimmbare	2	—
Ephemeroptera:		
<i>Ecdyonurus</i> sp.	2	+
<i>Baëtis</i> sp.	2	—
<i>Caënis</i> sp.	1	+
<i>Heptagenia fuscogrisea</i> Retz	2	—
<i>Heptagenia sulfurea</i> Müll.	3	—
<i>Rhithrogena semicolorata</i> Curt.	+	—
<i>Ephemerella ignita</i> Poda	1	—
<i>Habrophlebia fusca</i> Curt.	+	—
<i>Epeorus assimilis</i> Etn.	+	—
<i>Potamanthus</i> sp.	+	—
Unbestimmbare	1	—
Plecoptera:		
<i>Amphinemura</i> sp.	+	—
<i>Brachyptera risi</i> Klap.	+	—
Unbestimmbare	1	—

Tabelle/Table 2 (Fortsetzung/continued)

Name (Art, Gattung, Familie)	Abundanz (I) Aare 80 Proben	Rhein 48 Proben
Coleoptera:		
<i>Helmis maugéi</i> Bed.	–	+
Gyrinidae	1	–
Dryopidae	+	–
Unbestimmbare	1	–
Neuroptera:		
<i>Sisyra fuscata</i> F.	2	2
Collembola:		
<i>Podura aquatica</i> L.	+	+
Rhynchota	+	–

Die Aare-Proben von 1969 wurden in Tabelle 2 zwar berücksichtigt, aber aus methodischen Gründen nicht in die Berechnungen mit einbezogen [9]. Aus dieser Zusammenstellung ist zu ersehen, dass die Aare wesentlich reicher an Bodenorganismen ist als der Rhein. Dieser Unterschied ist statistisch sehr gut gesichert (Signifikanzniveau > 99,9%). In der Aare wurden 42 Arten (bzw. Gattungen) gefunden, die im Rhein nicht vertreten waren, andererseits im Rhein 4 Arten, die in der Aare nicht vorkamen. Allerdings handelt es sich dabei, mit Ausnahme von *Ephydatia fluviatilis*, um Arten mit sehr geringer Abundanz (≤ 3 , meist + oder 1). Auch die Organismendichte ist in der Aare durchschnittlich höher als im Rhein (48 100 Individuen/m² gegenüber 11 400 Individuen/m²). Die Werte schwanken jedoch in beiden Flüssen ausserordentlich: In der Aare war der niedrigste Wert 466 Individuen/m² am 9. März 1970 (Profil 2, Nr. 5), der höchste 608 561 Individuen/m² am 26. März 1971 (Profil 2, Nr. 5); im Rhein variierten die Ergebnisse von 475 Individuen/m² am 26. Oktober 1971 (Profil 4, Nr. 6) bis 158 004 Individuen/m² am 16. März 1971 (Profil 3, Nr. 8); Individuenzahlen gemäss Zählprotokollen in [9–11]. In beiden Flüssen sind die Oligochaeten und die Chironomiden die dominierenden Gruppen (vgl. auch Abb. 8). Im Rhein erreichen die Turbellarien, *Asellus aquaticus* und die Empididen höhere Abundanzen als in der Aare. Demgegenüber treten in der Aare *Ephydatia fluviatilis*, die Bryozoen, Nematoden und Mollusken, *Gammarus fossarum*, die Ephemeropteren und insbesondere *Hydropsyche* sp. häufiger auf als im Rhein.

5.2 Räumliche und zeitliche Verteilung der Arten

Die Erhebungen in den Profilen zeigten, dass die Organismen sehr inhomogen verteilt sind (Abb. 8). In der Aare wurde 1969 und 1970 in der Flussmitte eine ausgeprägte Organismenarmut festgestellt, die im Rhein nicht auftrat. Eine eindeutige Beziehung zwischen Strömung, Bodenbeschaffenheit und Organismenverteilung konnte jedoch nicht gefunden werden.

Die beiden Profile der Aare waren in ihrer Besiedlung sehr ähnlich, während im Rhein Profil 3 einen wesentlich höheren Organismenbestand (vor allem Chironomiden) aufwies als Profil 4. Diese Differenz steht möglicherweise mit der unterschiedli-

Abb. 8/ Figure 8 (Fortsetzung/continued)

AARE

Profil 1
16.10.1972



Profil 2
17.10.1972



RHEIN

Profil 3
16. 3.1971



Profil 4
17. 3.1971



Profil 3
25.10.1971



Profil 4
26.10.1971



Profil 3
16. 3.1972



Profil 4
17. 3.1972



Nr. 1 Nr. 2 Nr. 3 Nr. 4 Nr. 5 Nr. 6 Nr. 7 Nr. 8 Profil -
mittelwert

Legende



chen Fließgeschwindigkeit bzw. Bodenbeschaffenheit in Zusammenhang (vgl. Abb. 4 und Abschnitt 6).

Die jahreszeitlichen Unterschiede betrafen im wesentlichen in beiden Flüssen die zwei Hauptgruppen. Die Insektenlarven (Rhein: Chironomiden, Aare: *Hydropsyche* sp.) waren im Herbst stärker vertreten, die Oligochaeten (Naididen) im Frühling.

Die jährliche Fluktuation konnte nur in der Aare verfolgt werden, da der Rhein zu wenig lang untersucht wurde. Die meisten Veränderungen waren geringfügig; als bedeutungsvoll erwiesen sich nur

- die Naididen: starke Zunahme im Verlauf der Jahre, Massenaufreten im Frühling,
- die Chironomiden: unerklärlicher Rückgang im Frühling 1970 und im Herbst 1972,

— die *Hydropsyche*-Larven: Zunahme im Verlauf der Jahre, die sich stark in der Biomasse auswirkte (vgl. 5.3).

Die Ursachen dieser Populationsschwankungen sind weitgehend unbekannt. (Sie konnten insbesondere nicht auf den Betrieb des Kernkraftwerkes zurückgeführt werden [6].)

Da für die Beurteilung der Benthosproben die Kenntnis ihrer Streuung unerlässlich ist, interessierte zusätzlich die Frage, ob auch auf engstem Raum grosse Besiedlungsunterschiede vorhanden sind. Deshalb wurde am 22. März 1972 beim Profil 1 zusätzlich eine 9er-Serie in der Flussmitte entnommen, welche ungefähr 1 m² bedeckte und wie folgt angeordnet war:



Um ein störendes Aufwirbeln des Bodens zu verhindern, erfolgte die Probenahme in der Reihenfolge 9, 8, 7, 4, 5, 6, 3, 2, 1. Die Ergebnisse (Tab. 3) zeigen, dass die Verteilung der Benthosorganismen innerhalb eines Quadratmeters tatsächlich sehr unausgeglichen ist. Die räumliche Verteilung ist in den meisten Fällen kontagiös, d.h. die Tiere treten am Flussboden in Gruppen auf (vgl. [12]). Nur bei spärlich vorkommenden Organismen ergab sich manchmal die Möglichkeit einer zufälligen Verteilung. Für eine weitergehende Beurteilung dieser Werte verweise ich auf den zweiten Teil dieser Arbeit [7].

Tabelle 3. Verteilung der Benthosorganismen auf 1 m² Bodenfläche. 9 Teilproben, Anordnung siehe Text. Aare, Profil 1 (Flussmitte), 22.3.72. Anzahl Individuen pro Stechsegmentfläche (855 cm²). Zusammengefasst aus [11].

Table 3. Distribution of the benthos within 1 m². 9 partial samples, arrangement see text. Aare, profile 1 (middle of the river), 22.3.72. Number of individuals per a sampling area of 855 cm². Summarized from [11].

Organismengruppe	Teilproben-Nrn.								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Turbellaria	1	1	1	1	1	3	1	1	2
Nematoda	30	86	328	229	428	613	114	196	477
Oligochaeta, Naididae	3122	6000	16006	8045	8432	19140	7375	6408	10637
Oligochaeta, übrige	112	115	405	167	353	889	55	111	538
Hirudinea	4	1	5	4	3	2	2	3	3
Mollusca	3	11	11	9	10	8	1	11	5
Crustacea	35	42	164	157	154	227	48	30	51
Acari: Hydracarina	-	-	2	-	-	-	-	1	1
Diptera, Chironomidae	549	870	1742	1472	1456	1975	1102	1584	1616
Diptera, übrige	3	3	9	-	7	4	8	3	4
Trichoptera, <i>Hydropsyche</i> sp.	195	160	367	292	300	272	275	434	370
Trichoptera, übrige	2	4	1	4	2	5	3	7	6
Ephemeroptera	-	2	1	1	-	2	-	-	-
Coleoptera	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Total Individuen	4056	7295	19042	10381	11146	23140	8984	8789	13711

5.3 Biomasse

Während die Individuenzahlen Einblicke in die Besiedlungsdichte bzw. die Organismenverteilung gewähren, gibt die Biomasse zusätzlich ein Bild von der Produktivität eines Gewässers, weil sie die unterschiedliche Grösse der einzelnen Tiere mit berücksichtigt. Die Unterschiede im Benthosbestand zeigen sich erneut und sehr gut gesichert auch in der Biomasse (Signifikanzniveau $> 99,9\%$, vgl. auch Abb. 9). In der Aare bei Beznau betrug sie durchschnittlich $22,5 \text{ g/m}^2$ (geometrisches Mittel $14,4 \text{ g/m}^2$ mit 95%-Vertrauensgrenzen von 11 bzw. 19 g/m^2), im Rhein bei Kaiseraugst dagegen nur $1,7 \text{ g/m}^2$ (geometrisches Mittel $1,0 \text{ g/m}^2$ mit 95%-Vertrauensgrenzen von 0,7 bzw. $1,4 \text{ g/m}^2$).

Zieht man zur Beurteilung dieser Biomassewerte die in der Fischereibiologie gebräuchliche Einstufung der Gewässer nach ihrem fischereilichen Ertragsvermögen bei [13], wonach ein Nährtierbestand (Frischgewicht je m^2 Bodenfläche) von

$< 10 \text{ g}$ einem armen Gewässer,

$10\text{--}40 \text{ g}$ einem mittleren Gewässer,

$> 40 \text{ g}$ einem reichen Gewässer

entspricht, so stellen wir fest, dass die Aare im mittleren Teil dieser Skala, der Rhein aber am untersten Ende liegt.

Bezüglich der prozentualen Zusammensetzung der Gesamtbiomasse (Abb. 9) bestehen ebenfalls Unterschiede zwischen den beiden Flüssen. Bei Beznau wird der weitaus grösste Anteil von der Trichopterenlarve *Hydropsyche* sp. geliefert, während bei Kaiseraugst die Dipteren (Chironomiden) und die Oligochaeten die Hauptbiomasse ausmachen. Alle anderen Organismengruppen traten deutlich zurück, und nur noch die Hirudineen, Mollusken, Crustaceen und Turbellarien erreichten in einzelnen Proben höhere Werte, im Rhein zum Teil über 30% der Gesamtbiomasse.

Die Biomasse war, wie die Individuenzahlen, grossen natürlichen Schwankungen unterworfen. Im wesentlichen zeichnen sich hier die gleichen Tendenzen ab, nämlich: Im Rhein geringere Biomasse im Profil 4 als im Profil 3; in der Aare eine auffällige Verminderung in der Flussmitte (1970) und eine Biomassezunahme im Verlauf der Jahre, die vor allem auf ein vermehrtes Auftreten von *Hydropsyche* sp. zurückzuführen ist.

6. Substrat

Die Beschaffenheit des Flussgrundes spielt für dessen Besiedlung eine bedeutende Rolle. Im Flachland herrscht der Typus der Weichböden vor, die vorwiegend aus abgelagertem Kies, Sand und Schlamm bestehen [26]. Je nach Anteil der Komponenten treten qualitative Unterschiede im Benthos auf (psammorheophile Biozöosen im Sandboden und pelorheophile Biozöosen im Schlammboden [18]). Durch verschiedene Faktoren, die das Substrat wesentlich beeinflussen, kann jedoch auch die Besiedlungsdichte bedeutsam verändert werden. So sind siltig-sandige Böden oft nur schwach besiedelt, weil sie zuwenig Nahrung bieten und weil die interstitiellen

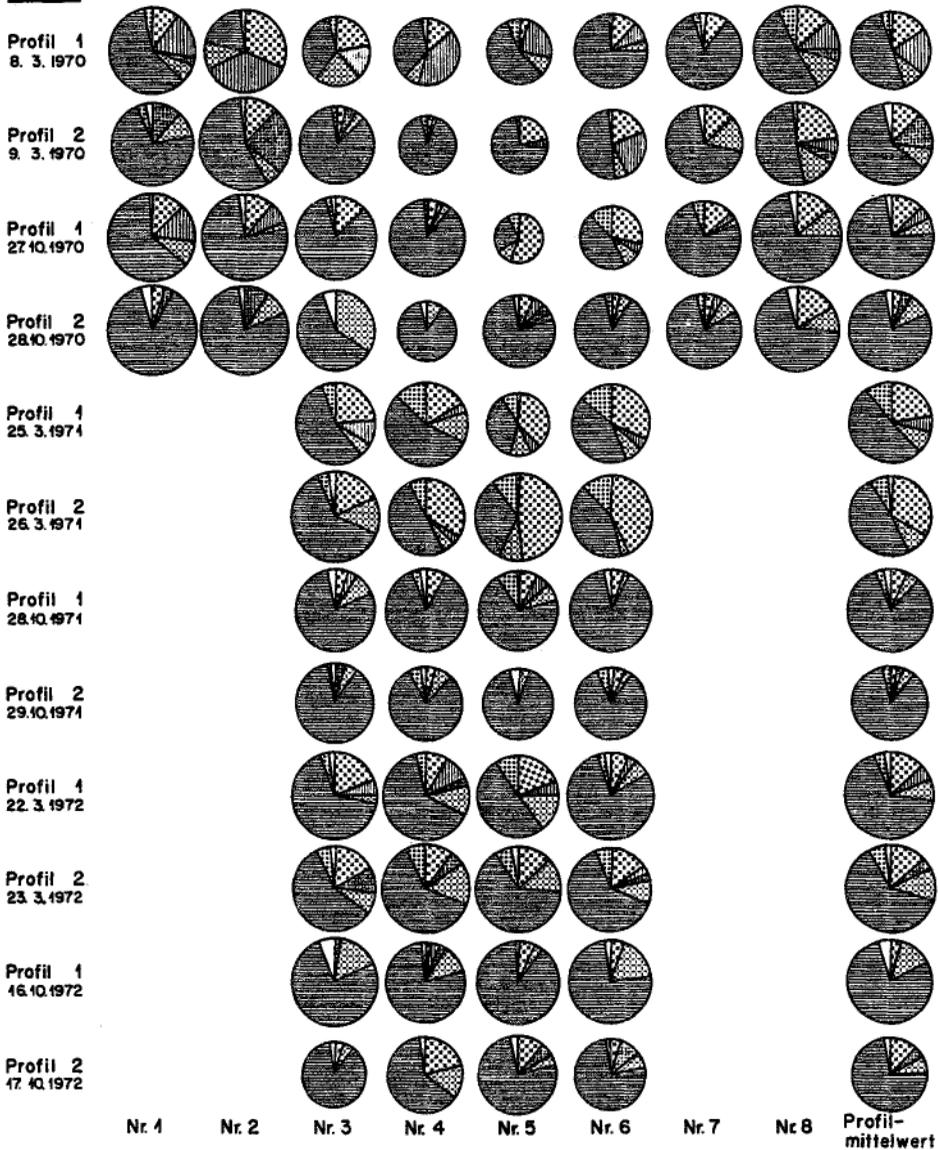
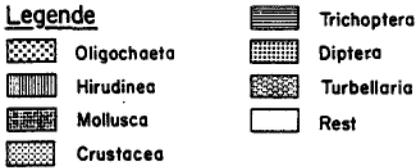
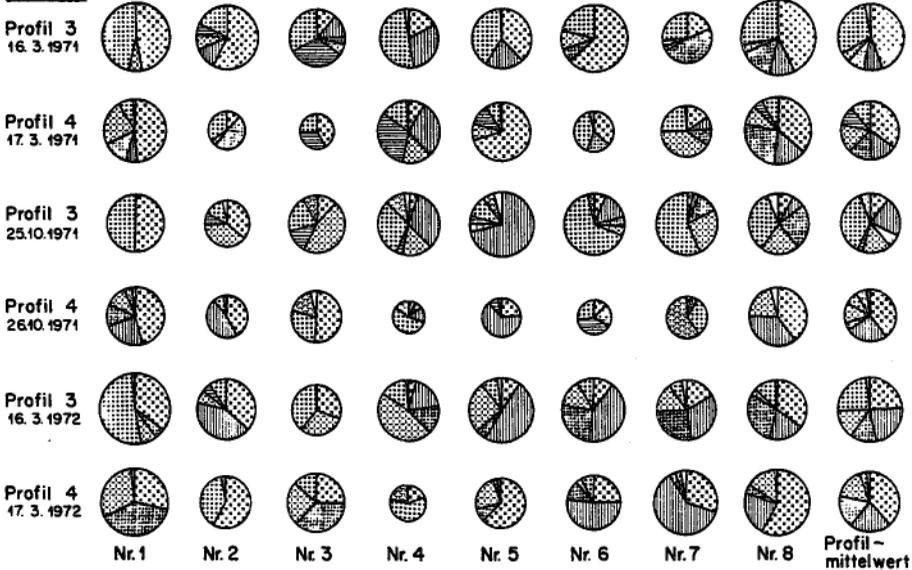
AARE

Abb. 9. Prozentuale Zusammensetzung der Benthosbiomasse. Die Kreisgröße gibt die Gesamtbiomasse im logarithmischen Maßstab an (ein Durchmesser von 5 mm entspricht $\sim 0,1 \text{ g/m}^2$, 7,5 mm $\sim 1 \text{ g/m}^2$, 10 mm $\sim 10 \text{ g/m}^2$ und 12,5 mm $\sim 100 \text{ g/m}^2$).

Figure 9. Percent composition of the benthic biomass. Circle dimension indicates the total biomass on a logarithmic scale (a diameter of 5 mm is equal to $\sim 0.1 \text{ g/m}^2$, 7.5 mm $\sim 1 \text{ g/m}^2$, 10 mm $\sim 10 \text{ g/m}^2$ and 12.5 mm $\sim 100 \text{ g/m}^2$).

Abb. 9/ Figure 9 (Fortsetzung/continued)

RHEIN



Räume, die den Tieren als Refugien dienen, durch feinste Partikeln verstopft werden [16]. Ferner werden die Lebensbedingungen der Tiere stark verschlechtert, wenn sich die Flußsohle infolge erhöhter Geschiebeführung dauernd in Bewegung befindet. Aus verschiedenen Untersuchungen (zit. bei Albrecht [1]) geht hervor, dass auch die Produktivität verschiedener Substrate in der Reihenfolge Schlamm - lose Steine - Fels - Kies - Sand abnimmt.

Um die festgestellten signifikanten Besiedlungsunterschiede zwischen Aare und Rhein besser interpretieren zu können, wurden, aus diesen Überlegungen heraus, im Untersuchungs-jahr 1972 nebst dem Organismenbestand auch die Gesteins- bzw. Sandfraktionen quantitativ erfasst. Eine Auftrennung in die relativ engen Grössenklassen

Feinkies: 0,2-2 mm

Grobkies: 2-5 und 5-20 mm und

Steine: 20-30, 30-50, 50-100 und > 100 mm

ergab in den Einzelproben keinen quantitativen Zusammenhang zwischen der Korngrösse bzw. Kiesmenge und dem Organismenbestand. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Bodenbeschaffenheit in beiden Flüssen, entsprechend den grossen Streuungen in der Organismenverteilung, sehr unausgeglichener war. Wir verzichten hier deshalb auf die Darstellung der Originaldaten (dokumentiert in [10,

Tabelle 4. Substrat und Organismenbestand in der Aare bei Beznau und im Rhein bei Kaiseraugst.
 Table 4. Substratum and benthos in the Aare near Beznau and in the Rhine near Kaiseraugst.

Fluss Profil Datum	Anzahl Proben	Substrat				Organismen				Anzahl systematische Einheiten mit $> 10^3$ 1/m ² pro m ²	Anzahl systematische Einheiten mit $> 10^3$ 1/m ² pro Profil	Biomasse g/m ²
		Steine > 5 cm Anzahl pro m ²	Steine 2-5 cm Anzahl pro m ²	Grob- und Feinkies < 2 cm Gewicht g/m ²	Totale Anzahl Individuen $\times 10^3$ /m ²	Totale Anzahl systematische Einheiten pro m ²	pro Profil					
<i>Aare</i>												
1	8 bzw. 4*	77	338	3170	129,5	24	35	7	7	41,5		
2	8 bzw. 4*	48	15	152	98,7	23	37	6-7	7	36,6		
1	8 bzw. 4*	76	79	742	22,7	21	33	3-4	3	27,2		
2	8 bzw. 4*	41	19	610	27,6	18	31	4	4	8,7		
Total		61	113	1169	69,6	22	49	5	8	28,5		
<i>Rhein</i>												
3	8	42	227	2023	7,3	18	31	1-2	3	2,2		
4	8	41	88	5460	3,3	16	27	0	0	1,5		
Total		42	157	3742	5,3	17	34	1	3	1,9		

* Bei den Randproben 1, 2 und 7, 8 wurden die Organismen nicht untersucht.

11) und fassen die Profile zusammen (Tab. 4), was eine qualitative Interpretation möglich macht. Selbst so aber können nur die Flüsse, nicht jedoch einzelne Profile miteinander verglichen werden.

Die beiden Flüsse unterscheiden sich auch in der Beschaffenheit der Flußsohle beträchtlich. Im Aarebett tritt der Grob- und Feinkies weniger in Erscheinung als im Rhein; eine grössere Rolle spielt hier ein feiner, zum Teil organischer Schlamm, der jedoch nicht quantitativ erfassbar war, da er die Maschen des Netzes (Maschenweite 150 μm) passierte. Unter Berücksichtigung der natürlichen Streuung sowohl des Substrates als auch der Organismen sind zwei Tendenzen zu ersehen: Die Besiedlung ist dort geringer, wo die Kiesmenge gross und die Anzahl der Schottersteine (> 5 cm) klein sind. Da die physikalischen und chemischen Parameter in beiden Flüssen verhältnismässig ähnlich sind (siehe Abschnitt 4), liegt es nahe, die unterschiedliche Besiedlung und Produktivität mit diesen zwei ungleichen Substrat-typen in Verbindung zu bringen.

Grössere Steine bieten eine glatte Unterlage, lassen Totwasserräume entstehen und sind deshalb für spezifisch lithophile Tierarten bevorzugte Aufenthaltsorte. In der Aare, wo teilweise auch Grobschotter und Felsplatten auftraten (besonders im Profil 2), kann durch diese Fraktion das vermehrte Vorkommen von *Ephydatia* und der Bryozoen, der Gastropoden, Ephemeropteren und Trichopteren (insbesondere von *Hydropsyche* sp.) begünstigt worden sein.

Kiese und Sande werden eher von der Strömung bewegt als Schotter. Nach Wittmann setzt die Geschiebebewegung bei Sand- und Kiessohlen schon bei einer mittleren Querschnittsgeschwindigkeit von 0,2 bis 0,6 m/s ein [22], aus [25]. Im kiesig-sandigen Boden des Rheins dürften sich deshalb die Einzelteilchen infolge der Strömung über längere Zeit in dauernder Rollbewegung befinden und so zur permanenten Kugelmühle für die Organismen werden. Dieses Substrat ist daher entweder nur dünn besiedelt, oder die Tiere dringen tiefer in den Boden ein und wurden durch unsere Probenahmetechnik nicht vollständig erfasst. (Die Anwendung neuer Sammelmethode ergab, dass in den obersten 10 cm nur etwa 20–40% des Benthos leben [5, 8].) So könnten zumindest die spärlichen Funde von Insektenlarven, mit Ausnahme der Röhren bauenden Chironomiden, erklärt werden.

Feinstkörniger Schlamm ist oft konsistenter als lockerer Sand und enthält besonders viele Nährstoffe. Er ist deshalb für Detritusfresser das geeignete Substrat und bietet vor allem den Oligochaeten und Chironomidenlarven ideale Lebensbedingungen. Es erstaunt also nicht, dass der schlammige Boden der Aare wesentlich dichter von Naididen (*Nais* sp.) besiedelt ist (im Mittel 28 400 I/m² und max. 484 000 I/m² gegenüber 4400 I/m² und max. 124 000 I/m² im Rhein).

7. Zusammenfassung

In den Jahren 1969–1972 wurden an Aare (Beznau) und Rhein (Kaiseraugst) bodenfaunistische Untersuchungen durchgeführt. An je 2 Stellen wurde ein Querprofil mit je 8 gleichmässig über die Flussbreite verteilten Proben erhoben. Probenahme wie Auswertung erfolgten quantitativ. Zum Vergleich liegen physikalisch-chemische Resultate und Substratanalysen vor.

Die Resultate der umfangreichen Auszählungen sind in einer quantitativen Abundanzliste zusammengefasst. Die Benthosbiozönosen werden in beiden Flüssen von den Oligochaeten und Chironomiden dominiert; in der Aare tritt zudem die Trichopterenlarve *Hydropsyche* sp. häufig auf. Die Aare weist mit 79 Arten bzw. Gattungen und durchschnittlich 48 000 Individuen/m² eine reichere und dichtere Bodenfauna auf als der Rhein (41 Arten bzw. Gattungen und durchschnittlich 11 400 Individuen/m²). Die Verteilung der Organismen ist sehr inhomogen (kontagiös), und auf 1 m² variierte die Gesamtindividuenzahl/855 cm² zwischen 4056 und 23 140. In der Aare wurden auch die höheren Biomassewerte (durchschnittlich 8,6 bis 41,5 g/m²) gefunden als im Rhein (0,5–3,1 g/m²).

Der Rhein ist durch einen kiesig-sandigen Boden gekennzeichnet, während die Aare einen mehr schlammigen Boden aufweist. Da die physikalisch-chemischen Verhältnisse in beiden Flüssen ziemlich ähnlich sind, wird die unterschiedliche Besiedlung auf die unterschiedliche Substratbeschaffenheit zurückgeführt.

SUMMARY

In 1969–1972 the benthos of the rivers Aare (near Beznau) and Rhine (near Kaiseraugst) was investigated. At every two stations of both rivers, we collected 8 samples regularly distributed over the river width. Both collecting and counting were performed quantitatively. Physical and chemical data, and grain size analyses of the substratum are given for both rivers.

The results of the extensive counts were summarized in a list of quantitative abundance. The benthic biocoenoses are dominated in both rivers by oligochaetes and chironomids; in the Aare the trichopteran larvae of *Hydropsyche* sp. are also highly abundant. In the Aare 79 species or genera and an average of 48,100 individuals per square meter were collected. This benthic fauna is richer and denser than in the Rhine, where 41 species or genera and an average of 11,400 individuals per square meter were recorded. The distribution of the organisms is inhomogeneous (contagious), and within a square meter the total number of individuals per 855 cm² ranged between 4,056 and 23,140. In the Aare the average biomass is 8.6–41.5 g/m², again higher than in the Rhine (0.5–3.1 g/m²).

The Rhine river bed is covered with gravel and sand, whereas in the Aare the bed is muddy. As the physical and chemical conditions are quite the same in both rivers, we relate the different population densities to the differences in the substratum.

RÉSUMÉ

En 1969–1972, les invertébrés de l'Aar (près de Beznau) et du Rhin (près de Kaiseraugst) ont été examinés. Deux stations de prélèvement ont été choisies pour chaque cours d'eau et à chacune d'elles, 8 échantillons ont été pris, répartis régulièrement sur toute la largeur. Les organismes ont été collectionnés et dénombrés d'une manière quantitative. Pour comparer la biologie des deux cours d'eau, on a étudié les résultats physico-chimiques et les analyses de granulométrie du fond.

Les résultats des nombreux comptages ont été résumés dans une liste quantitative d'abondance. Dans les deux cours d'eau, les oligochètes et les chironomides dominent les biocénoses benthiques; en outre, dans l'Aar, la larve du trichoptère *Hydropsyche* sp. joue un rôle assez important. L'Aar, contenant 79 espèces ou genres et en moyenne 48 100 individus par m², est plus riche et plus dense en organismes benthiques que le Rhin, qui ne contient que 41 espèces ou genres et en moyenne 11 400 individus par m². La répartition des organismes est très hétérogène (contagieuse) et sur 1 m², le nombre total des individus par 855 cm² varie entre 4056 et 23 140. Enfin, dans l'Aar, on trouve aussi une biomasse plus grande (en moyenne 8,6–41,5 g/m²) que dans le Rhin (en moyenne 0,5–3,1 g/m²).

La nature du fond du Rhin est graveleuse-sablonneuse, tandis que dans l'Aar le limon prédomine. Puisque les conditions physico-chimiques sont assez semblables dans les deux cours d'eau, la différence de densité des populations est expliquée par la nature même des deux types de substratum.

LITERATURVERZEICHNIS

- 1 Albrecht, M.-L.: Die quantitative Untersuchung der Bodenfauna fließender Gewässer (Untersuchungsmethoden und Arbeitsergebnisse). *Z. Fisch. (N.F.)* 8, 481-550 (1959).
- 2 Ambühl, H.: Die Bedeutung der Strömung als ökologischer Faktor. *Schweiz. Z. Hydrol.* 21/2, 133 bis 264 (1959).
- 3 *Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt*, 106.-112. Jg., 1969-1975.
- 4 Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung Gewässerschutz: Flussuntersuchungen im Zusammenhang mit dem Atomkraftwerk Beznau 1969-1975. Tabellen, werden laufend weitergeführt.
- 5 Bishop, J.E.: Observations on the Vertical Distribution of the Benthos in a Malaysian Stream. *Freshwat. Biol.* 3/2, 147-156 (1973).
- 6 Bloesch, J.: Der Einfluss der Abwärme des Kernkraftwerkes Beznau auf die Bodenfauna der Aare. *WEL* 69, in Vorbereitung (1977).
- 7 Bloesch, J.: Bodenfaunistische Untersuchungen in Aare und Rhein. II. Eine kritische Überprüfung der Probenahmetechnik und verschiedener Auswertungsmethoden. *Schweiz. Z. Hydrol.*, in Vorbereitung.
- 8 Coleman, M.J., und Hynes, H.B.N.: The Vertical Distribution of the Invertebrate Fauna in the Bed of a Stream. *Limnol. Oceanogr.* 15/1, 31-40 (1970).
- 9 EAWAG, 1. Zwischenbericht über die biologischen Untersuchungen (Bodenfauna) der Aare beim Kernkraftwerk Beznau im Hinblick auf die Flusserwärmung infolge der Kühlwassernutzung (12. Januar 1972).
- 10 EAWAG, Bericht über die biologischen Untersuchungen (Bodenfauna) des Rheins beim projektierten Kernkraftwerk Kaiseraugst 1971/72 (25. Juni 1973).
- 11 EAWAG, Bericht über die biologischen Untersuchungen (Bodenfauna) der Aare beim Kernkraftwerk Beznau im Hinblick auf die Flusserwärmung infolge der Kühlwassernutzung (12. August 1975).
- 12 Elliott, J.M.: Some Methods for the Statistical Analysis of Samples of Benthic Invertebrates. *Freshwater Biological Association, Scientific Publication No. 25* (1973).
- 13 Huet, M.: Appréciation de la valeur piscicole des eaux douces. *Trav. Stat. Rech. Eaux et Forêts, Groenendaal, sér. D*, 10 (1949).
- 14 Hydrographisches Jahrbuch der Schweiz, Hrsg. Eidg. Amt für Wasserwirtschaft (1974).
- 15 Illies, J.: Versuch einer allgemeinen biozönotischen Gliederung der Fließgewässer. *Int. Rev. ges. Hydrobiol.* 46/2, 205-213 (1961).
- 16 Odum, E.P.: *Fundamentals of Ecology*, 3. Aufl. W.B. Saunders Comp., Philadelphia, London, Toronto 1971.
- 17 Perret, P.: Zustand der schweizerischen Fließgewässer in den Jahren 1974/75 (Projekt Mapos). Eidg. Amt für Umweltschutz und EAWAG (1977).
- 18 Ruttner, F.: *Grundriss der Limnologie*, 3. neubearbeitete und erweiterte Auflage. De-Gruyter-Verlag, Berlin 1962.
- 19 Schmassmann, H.J. (Auftrag Dr. Walter Schmassmann, Beznaubericht 2): Bericht über ergänzende Untersuchungen der ökologischen Verhältnisse in der Aare beim Kernkraftwerk Beznau vor der Inbetriebnahme des Atomkraftwerkes Beznau. Bearbeitung: B. Streit und H.J. Müller (Botanik) (15. Juni 1972).
- 20 Schmassmann, H.J. (Auftrag Dr. Walter Schmassmann, Beznaubericht 3): Die ökologischen Verhältnisse in der Aare bei Beznau seit Beginn der Flusserwärmung im Jahre 1969 bis Ende 1971. Bearbeitung: B. Streit, H.J. Müller (Botanik) und H.J. Schmassmann (15. August 1972).
- 21 Schmassmann, W.: Die ökologischen und fischereilichen Verhältnisse in der Aare bei der Beznau vor Inbetriebnahme des Atomkraftwerkes Beznau. Beznaubericht 1 an die NOK (24. November 1967).
- 22 Schmitz, W.: Fließgewässerforschung - Hydrographie und Botanik. *Verh. int. Ver. Limnol.* 14/1, 541-586 (1961).
- 23 Schwoerbel, J.: *Methoden der Hydrobiologie*. Kosmos, Franck'sche Verlagshandlung, Stuttgart 1966.
- 24 Schwoerbel, J.: *Einführung in die Limnologie*. Uni-Taschenbücher (UTB), Nr. 31. Gustav-Fischer-Verlag, Stuttgart 1971.

- 25 Streck, O.: Wasserwirtschaft und Gewässerkunde. Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1953.
- 26 Uhlmann, D.: Hydrobiologie. Ein Grundriss für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Gustav-Fischer-Verlag, Stuttgart 1975.
- 27 Zimmermann, U., und Ambühl, H.: Zur Methodik der quantitativen biologischen Probenahmen in stark strömenden Flüssen. Schweiz. Z. Hydrol. 32/1, 340-344 (1970).

Adresse des Autors: Dr. J. Bloesch, EAWAG, CH-8600 Dübendorf, Switzerland.