Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 70 (1978)

Heft: 3-4

Artikel: Der Einfluss der Abwärme des Kernkraftwerkes Beznau auf die Bodenfauna der Aare

Autor: Bloesch, Jürg

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941067

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 24.10.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Der Einfluss der Abwärme des Kernkraftwerkes Beznau auf die Bodenfauna der Aare

Jürg Bloesch

1. Einleitung

Als im Jahre 1965 in Beznau mit dem Bau des ersten Schweizerischen Kernkraftwerkes begonnen wurde, stand auch die Emission von Abwärme zur Diskussion, da ja bekanntlich der Wirkungsgrad von Kernkraftwerken aus thermodynamischen Gründen nur 30 bis 35 % beträgt. Als einfachste Lösung zur Abführung der überschüssigen Wärme bot sich die Durchlaufkühlung an. Man sah damals aus Gründen der Wirtschaftlichkeit davon ab, Kühltürme zu verwenden. Im Sinne des Gewässerschutzes kamen Seen, die besonders empfindlich auf externe Störungen reagieren, für die Kühlwassernutzung von allem Anfang an kaum in Frage. So wurden die ersten Kernkraftwerke Beznau, Mühleberg, Kaiseraugst und Leibstadt entsprechend der bewährten ausländischen Praxis für thermische Kraftwerke mit Flusswasserkühlung projektiert; dabei stützte man sich bezüglich der strömungstechnischen und flussbaulichen Fragen der Einleitung des Kühlwassers auf die Versuche von *Vischer* [27] und bezüglich der Wärmebelastung auf die Berechnungen von *Kuhn* [16] und den eidgenössischen «Kühlwasserbericht» vom 19. März 1968 [12]. In diesem sind auf empirischer Basis Richtlinien für die maximale Wärmebelastung des Vorfluters aufgestellt worden. Diese Grenzwerte wurden in der Folge weitgehend eingehalten, obwohl es sich nur um Empfehlungen ohne gesetzliche Grundlage handelte. Sie besagen, dass ein Fluss im gesamten und nach totaler Durchmischung nur um maximal 3 °C erwärmt werden und das Flusswasser an keiner Stelle und zu keiner Zeit die Höchsttemperatur von 25 °C übersteigen darf; das einzuleitende Kühlwasser sollte in der Regel 30 °C nicht überschreiten. Günstige örtliche Verhältnisse und spezielle Abklärungen vorausgesetzt, wurde die Möglichkeit einer Aufwärmung des Flusswassers um maximal 5 °C und einer Kühlwassertemperatur von maximal 35 °C offengelassen. Diese Bestimmungen sind nur bei Fliessgewässern anwendbar, deren biologischer Zustand mindestens der β-mesosaproben Stufe bzw. der II. Güteklasse entspricht; sie sind zu verschärfen, wenn dieser Gewässerzustand nicht eingehalten ist. Eine direkte Folge dieser Vorschrift war das bundesrätliche Verbot vom 5. März 1971 zur weiteren Nutzung von Flusswasser zur direkten Kühlung der Kondensatoren. Die Kernkraftwerke Kaiseraugst und Leibstadt wurden deshalb auf Kühlturmbetrieb umprojektiert, und die neueren Kernkraftwerke von Anfang an mit Umlaufkühlung ausgerüstet. Heute ist neben den in Betrieb stehenden Werken in Beznau und Mühleberg nur noch das Kernkraftwerk Verbois (Rhone) mit Flusswasserkühlung vorgesehen (Tabelle 1).

Angesichts fehlender wissenschaftlicher Grundlagen und praktischer Erfahrungen wurde die EAWAG 1969 beauftragt, bezüglich der Auswirkungen der Abwärme auf das Flussbenthos bei Beznau Untersuchungen durchzuführen. Die diesbezüglichen Probenahmen, über deren Ergebnisse im folgenden berichtet werden soll, erstreckten sich von 1969 bis 1972 [6, 8]. Weitere Untersuchungen dieser Art wurden bei Kaiseraugst (1971—1972: Auswertung durch die EAWAG; sistiert, da Umstellung auf Kühlturmbetrieb [7]), bei Mühleberg (1970—1975: Auswertung durch das Gewässerschutzlaboratorium des Kantons Bern, im Gang [28]) und bei Rüthi (1973—1974: Auswertung durch die EAWAG und das Gewässerschutzamt des Kantons St. Gallen [10]) durchgeführt.

2. Methodik und Probenahme

Die Benthosproben wurden mit einer speziell für stark strömende Flüsse entwickelten Probenahmetechnik erhoben (*Zimmermann* und *Ambühl* [31]). Ein Taucher rammt ein zylinderförmiges Stechsegment ($F = 855\ cm^2$) in den Boden, sammelt die grossen Steine in einem Sack und saugt das Sediment mit einem Schlauch in ein unter Vakuum stehendes Fass, wo das Fördergut in einem Nylonnetzsack aufgefangen und filtriert wird (Bild 1). Die darauffolgende labormässige Verarbeitung der fixierten Proben umfasste das Aussortieren, Bestimmen und Auszählen der Organismen.

Die Fragestellung erfordert ein umfangreiches, statistisch auswertbares Zahlenmaterial (quantitative Methodik) und

Stand des Kernkraftwerkbaus in der Schweiz (Sommer 1977). Nach Angaben der NOK, BKW, EOS, Elektrowatt, Motor-Columbus und des Eidg. Amtes für Energiewirtschaft. Tabelle 1

Kernkraftwerk	Standort (Fluss)	Leistung MW_{el}	Stand	Kühlsystem
In Betrieb:				
Beznau I	Aare	350	In Betrieb seit Oktober 1969	Durchlaufkühlung 20 m³/s
Beznau II	Aare	350	In Betrieb seit Oktober 1971	Durchlaufkühlung 20 m³/s
Mühleberg	Aare	306	In Betrieb seit November 1972	Durchlaufkühlung 11 m³/s
Im Bau:				
Gösgen-Däniken	Aare	920	Im Bau seit Herbst 1973; voraussichtliche Inbetriebnahme 1977/78	Umlaufkühlung, Naturzug-Nasskühlturm
Leibstadt	Rhein	942	Im Bau seit Sommer 1974; voraussichtliche Inbetriebnahme Ende 1980	Umprojektiert von Durchlaufkühlung auf Umlaufkühlung, Naturzug-Nasskühlturm
Projekte:				
Kaiseraugst	Rhein	925	Standort bewilligt seit Dezember 1969 (Durchlaufkühlung) bzw. August 1972 (Umlaufkühlung); Baubeginn verzögert; voraussichtliche Inbetriebnahme 1982	Umprojektiert von Durchlaufkühlung auf Umlaufkühlung, 2 Naturzug-Nasskühltürme
Rüthi	Rhein	900	Projektiert seit März 1972	Umlaufkühlung, Naturzug-Nasskühlturm
Graben	Aare	1140	Standort bewilligt seit Oktober 1972; projektiert seit 1974	Umlaufkühlung, Naturzug-Nasskühlturm
Verbois	Rhone	800—1100	Projektiert seit 1970; Standort bewilligt seit Mai 1974	Durchlaufkühlung 53 m³/s
Inwil	Reuss	ca. 1000	Vorstudien und Standortabklärungen	Umlaufkühlung, Naturzug-Nasskühlturm

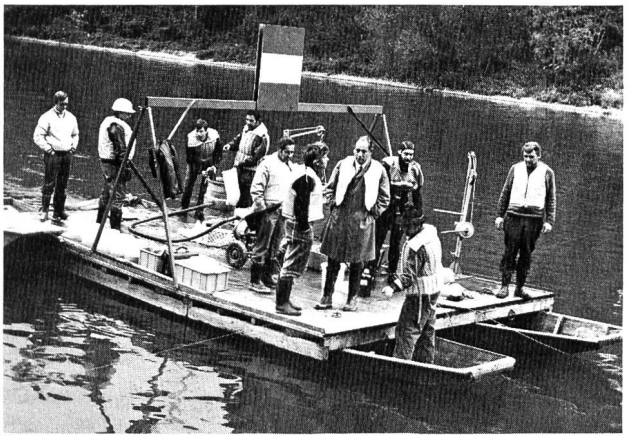

Bild 1. Probenahme 1970 (hier beim Kernkraftwerk Mühleberg). Auf der Arbeitsbühne, die an einem Drahtseil verankert wird, sind das Saugfass mit Vakuumpumpe, die Nylon-Probenetze und am Ausleger, teils verdeckt, das Stechsegment erkennbar. (Foto «Der Bund», Bern)

eine möglichst breite Vergleichsbasis, d. h. Probenahmen *vor* und *nach* Inbetriebnahme des Kernkraftwerkes sowie *oberhalb* und *unterhalb* der künstlichen Wärmequelle. Da sich die labormässige Auswertung als ausserordentlich aufwendig herausstellte, musste ein Kompromiss zwischen Wünschbarem und Machbarem gefunden werden. Es wurden 2 Probenahmestellen ausgewählt, nämlich je 1 Querprofil mit 8 gleichmässig verteilten Proben beim Eidg. Institut für Reaktorforschung Würenlingen und bei der Fischzuchtanstalt der Gemeinde Döttingen (Bild 2). Die beiden Stellen erfüllten in etwa die Bedingung nach gleichen physikalisch-chemischen Verhältnissen [2]. Die Probenahmen erfolgten aus ökologischen Gründen im Frühling und im Herbst (Erfassung der Larvenstadien der Insekten mit vorwiegend univoltinen Arten, d. h. Arten mit einem Entwicklungszyklus pro Jahr und Flugzeiten im Sommer).

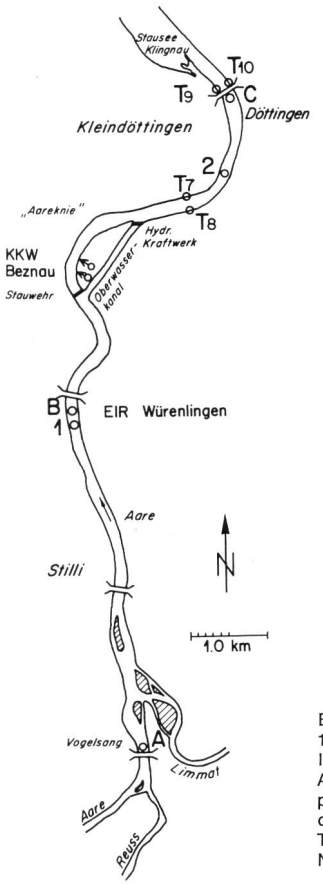

Bild 2. Situationsplan.
1, 2: Probenahmestellen der biologischen Untersuchungen [6, 8].
A, B, C: Probenahmestellen der physikalisch-chemischen Untersuchungen [2].
T_7—T_{10}: Temperaturmessstellen der NOK [20].

3. Biologische Charakterisierung der Aare bei Beznau

Bevor wir auf die Auswirkungen der Erwärmung der Aare eingehen können, müssen zuerst die biologischen Verhältnisse beschrieben werden. Der Flussgrund besteht vorwiegend aus einem feinen, z. T. organischen Schlamm, der mit grösseren Steinen durchsetzt ist. Ein solches Substrat begünstigt ganz allgemein die Detritusfresser. Es erstaunt deshalb nicht, dass die Benthosbiozönose in der Aare von den Oligochaeten (Würmern), den Chironomiden (Zuckmückenlarven) und von der netzspinnenden Trichopteren-(Köcherfliegen-)Larve Hydropsyche sp. dominiert wird, die zusammen immer über 80 % der Gesamtindividuenzahl ausmachen (Bilder 3 bis 6). Von den insgesamt gefundenen 79 Arten bzw. Gattungen (detaillierte Artenliste in *Bloesch* [3]) traten daneben nur noch Ephydatia fluviatilis (Süsswasserschwamm), Nematoden (Fadenwürmer) und Gammarus fossarum (Flussflohkrebs) sporadisch in grösseren Dichten auf. Die übrigen Benthostiere, insbesondere Turbellarien (Strudelwürmer), Hirudineen (Egel), Mollusken (Schnecken und Muscheln), Ephemeropteren (Eintagsfliegen) und Plecopteren (Steinfliegen) waren zahlenmässig unbedeutend.

Im Durchschnitt wurden 48 100 Individuen/m² gezählt, jedoch ist die Verteilung der Organismen sehr heterogen, d. h. die Tiere sind in Gruppen auf dem Flussboden (kontagiös) verteilt, was sich in einer grossen Streuung der Organismendichte ausdrückt (Minimalwert 466 Individuen/m², Maximalwert 608 561 Individuen/m², gemäss Auszählprotokollen in [6, 8]). Die Benthosbiomasse, zu welcher Hydropsyche sp. den Hauptteil beisteuert, betrug im Durchschnitt 14,4 g/m² (Minimum 0,5 g/m², Maximum 88 g/m²) und entspricht somit einem mittelproduktiven Fischereigewässer *(Huet* [13]). Eine biologische Beurteilung nach dem modifizierten Saprobien-System von *Kolkwitz* und *Marsson* [15], d. h. die weitgehend auf den ökologischen Angaben von *Zelinka* und *Marvan* [30] basierende Berechnung des Saprobien-Indexes nach der erweiterten Formel von *Pantle* und *Buck* [21] ergab, dass sich die Aare bei Beznau im α—β-mesosaproben Bereich befand und eine kritische Stufe bezüglich der organischen Belastung erreicht hatte [6, 8].

Zusätzliche biologische Daten liegen aus dem engeren Bereich des Kernkraftwerkes, dem sog. «Aareknie» vor [22, 23, 24, 25]. Während die Bodenfauna im «Aareknie» eine ärmere Artenzusammensetzung als bei unseren Probenahmestellen aufwies, erreichte die Makrophytenflora dichtere Bestände. Neben Phragmites communis (Schilfrohr) waren vor allem Fontinalis antipyretica (Fieber-Quellmoos) bei Grundwasseraustritten sowie Myriophyllum spp. (Tausendblatt), verschiedene Potamogetonen (Laichkräuter) und Butomus umbellatus (Schwanenblume) vertreten. Der andernorts [19] gefürchtete Ranunculus fluitans (flutender Hahnenfuss) trat nur sehr spärlich auf.

4. Die Temperaturverhältnisse der Aare bei Beznau

Aus den umfangreichen Untersuchungen der Abteilung Gewässerschutz des Kantons Aargau [2] geht hervor, dass seit 1971 ein stetiger natürlicher, d. h. kraftwerksunabhängiger Temperaturanstieg der Aare zu beobachten ist (Bild 7). Die künstliche Erwärmung durch das Kernkraftwerk Beznau erfolgt im Hinblick auf die örtlichen Verhältnisse sozusagen in zwei Stufen. Wegen der bedeutenden Grundwasservorkommen am linken Ufer im «Aareknie» musste die Kühlwasserrückgabe vom Ufer aus so konzipiert werden, dass zunächst keine nennenswerte Durchmischung

Bild 3. Kolonie von Tubifex sp. Der Schlammröhrenwurm, ein Anzeiger organisch stark belasteter Gewässer, lebt im Schlamm in senkrechten Röhren. Das ins Wasser herausragende Hinterende führt ständige Atembewegungen aus.

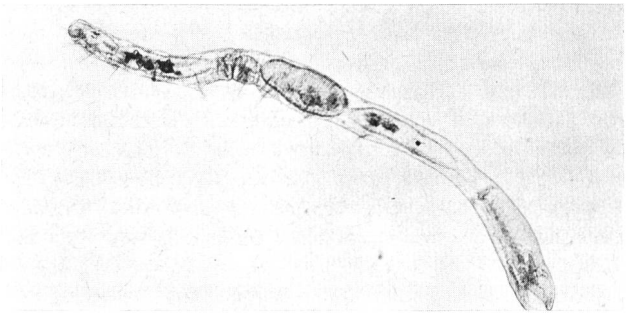

Bild 4. Chaetogaster sp. Dieser kleine und durchsichtige Wurm aus der Familie der Naididen lebt räuberisch an Wasserpflanzen und im Schlamm.

mit dem über das Stauwehr dotierten Restwasser erfolgt (*Märki* [17], *Vischer* [27]). Bis zur Vereinigung mit dem Oberwasserkanal bildet sich am rechten Ufer eine Warmwasserfahne und im Querprofil ein Temperaturgradient von durchschnittlich 6 bis 8 °C [20]. Erst unterhalb des hydraulischen Kraftwerkes, nach einer ungefähr 1 km langen Fliessstrecke, wird durch Wirbelbildungen eine mehr oder weniger vollständige Durchmischung erzwungen. Zum Schutz der Trinkwasserversorgung wurde somit bewusst eine kurze Strecke «geopfert», für welche die Eidg. Richtlinien [12] keine Gültigkeit haben sollten.

In unserem Zusammenhang sind die Verhältnisse im unmittelbaren Bereich des Kernkraftwerkes zunächst nicht von Bedeutung. Die Auswirkungen der Erwärmung bei Döttingen (Unterwasser) sind aus Bild 8 ersichtlich. Zwar zeigen die als Differenzen zur Basisganglinie bei Vogelsang/Lauffohr aufgetragenen Temperaturen, dass schon die Stelle Beznau (Oberwasser) in den meisten Fällen höhere Temperaturen aufweist als bei Vogelsang/Lauffohr (Durchmischung mit der wärmeren Limmat). Die Differenz von Oberwasser zu Unterwasser jedoch ist bedeutend höher und betrug auf der rechten Seite im Jahresmittel 0,15 bis 0,35°C und auf der linken Seite 0,25 bis 1,3 °C. Der Temperaturverlauf in Döttingen lässt erkennen, dass das vom Kraftwerk erwärmte Aarewasser nach dem Einlauf des Oberwasserkanals nicht vollständig durchmischt wird. Man stellt erhebliche Unterschiede zwischen den beiden Ufern fest, die sich bis zum Klingnauer Stausee hinziehen, wie Luftaufnahmen mit Infrarotfilmen gezeigt hatten [11].

Auch nach den Messungen der Nordostschweizerischen Kraftwerke, NOK [20], war das linke Ufer erst nach Inbetriebnahme von Beznau I (Oktober 1969) immer wärmer als das rechte. 1974 erreichten diese Differenzen Höchstwerte von $\Delta T = 5{,}85$ °C bei Stelle T 7/8 und $\Delta T = 3{,}2$ °C bei Stelle T 9/10. Die Veränderungen von T 7/8 bis T 9/10 sind relativ gering, und der Abbau des Temperaturgradienten beträgt weniger als 50 %.

Im Verlauf der Jahre hat sich die Erwärmung des Aarewassers parallel mit einer verstärkten Auslastung des Kraftwerkes (zusätzlich Inbetriebnahme von Beznau II im Oktober 1971) vom Bereich einiger Zehntelgrade auf durchschnittlich 1 bis 2 °C erhöht (Bild 8). Die höchsten von der Abteilung Gewässerschutz des Kantons Aargau gemessenen Differenzen betrugen 3,1 °C am 3. 2. 1976 und 3,0 °C am 9. 3. 1974 und am 16. 1. 1977. Damit wurden die in den Eidg. Richtlinien [12] für β-mesosaprobe Verhältnisse fest-

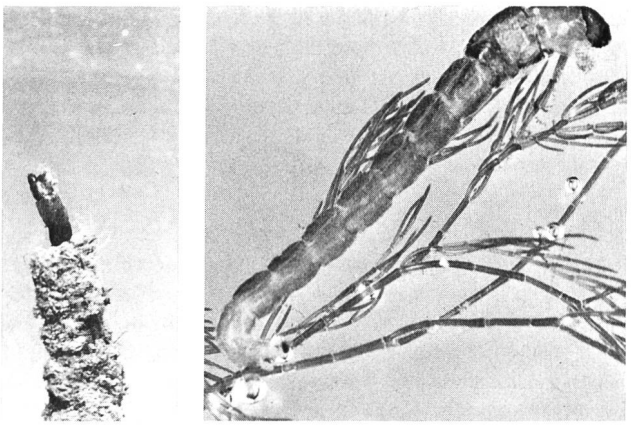

Bild 5. Die meisten Zuckmückenlarven (Chironomidae) bauen Gespinströhren im Bodenschlamm und ernähren sich von pflanzlichem Detritus (links); manche leben räuberisch ohne Gehäuse (rechts). Die Chironomidenlarven gehören zu den wichtigsten Nährtieren der Fische.

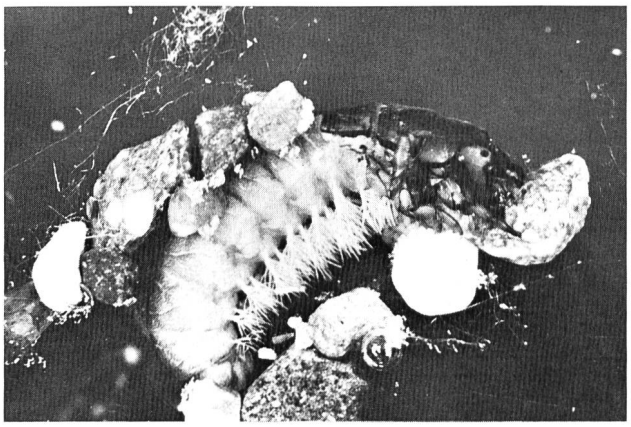

Bild 6. Hydropsyche sp. Die Larve dieser weit verbreiteten Köcherfliege baut kein Gehäuse, sondern spinnt sehr regelmässige Netze zum Auffangen der Nahrung. (Fotos Heinz Bachmann, EAWAG)

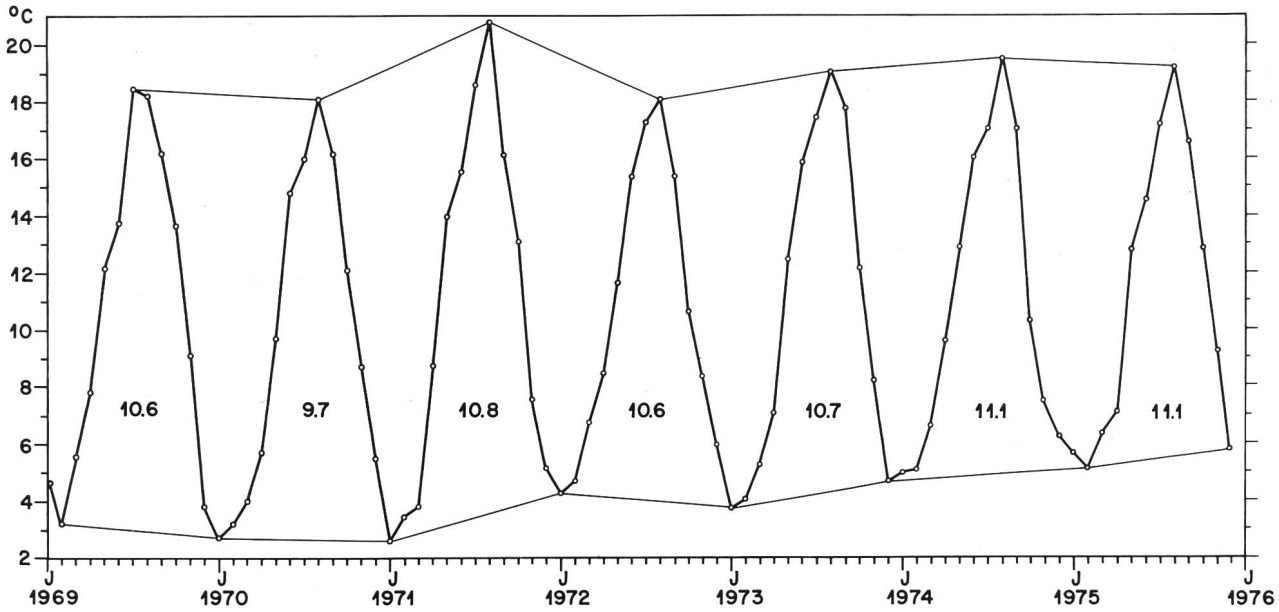

Bild 7. Temperaturganglinie der Aare bei Vogelsang (1969) / Lauffohr (1970—75) zwischen Reuss- und Limmatzufluss. Monatsmittel (Zahlen unter der Kurve = Jahresmittel) nach den Messungen der Abteilung Gewässerschutz des Baudepartements des Kantons Aargau [2]. Seit 1971 erfolgte ein stetiger natürlicher Temperaturanstieg.

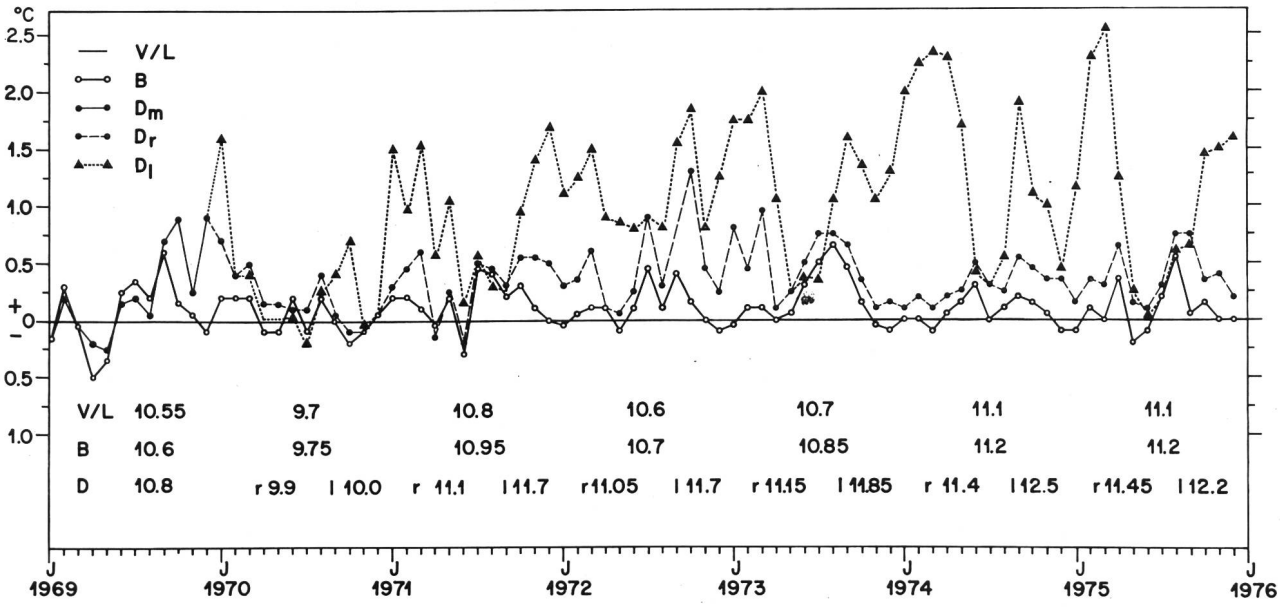

Bild 8. Temperatur des Aarewassers bei Beznau (B) und Döttingen (Dm = Mitte, Dr = rechtes Ufer, Dl = linkes Ufer), aufgetragen als Differenz zur Basistemperatur bei Vogelsang/Lauffohr (V/L). Monatsmittel (Zahlen = absolute Jahresmittel) nach den Messungen der Abteilung Gewässerschutz des Baudepartements des Kantons Aargau [2]. Die künstliche Erwärmung der Aare, die sich parallel mit der zunehmenden Auslastung des Kernkraftwerkes erhöhte, ist besonders am linken Ufer bei Döttingen augenfällig, da nach dem Einlauf des Oberwasserkanals keine vollständige Durchmischung erfolgt.

Vergleich der beiden Profile im Oberwasser und Unterwasser vor (1969) und nach (1970—1972) Inbetriebnahme des Kernkraftwerkes Beznau. Da keine Normalverteilung vorliegt, wurde eine logarithmische Transformation (für kleine Proben von einer kontagiösen bzw. angesteckten Verteilung) vorgenommen und das geometrische Mittel Mg errechnet. Die 95 %-Vertrauensgrenzen werden durch Multiplikation bzw. Division mit den angegebenen Faktoren ermittelt. Infolge der grossen natürlichen Streuung sind die Unterschiede statistisch nicht gesichert.

Tabelle 2

	Oberwasser 1969 n = 7[1]) Mg	Faktor	1970—1972 n = 32 Mg	Faktor	Unterwasser 1969 n = 6[1]) Mg	Faktor	1970—1972 n = 32 Mg	Faktor
Total Individuen/m²	15 360	2,06	20 210	1,76	15 600	4,64	17 830	1,86
Oligochaeta/m²	10 850	2,50	9 655	1,95	8 687	8,52	7 727	2,18
Chironomidae/m²	2 017	2,24	3 828	1,67	2 291	2,05	3 201	1,68
Hydropsyche sp./m²	371	2,59	1 882	1,85	871	1,90	2 006	1,55
Anzahl systematische Einheiten	25		59		26		60	

[1]) halbquantitativ

gelegten Grenzen einige Male kurzfristig erreicht. Die höchsten Monatsmittel für ΔT betrugen 2,8 °C im Februar 1976 (3 Messungen), 2,6 °C im März 1976 (2 Messungen) und 2,55 °C im März 1975 (5 Messungen). Obwohl die Erwärmung stetig zugenommen hat, ist die Aaretemperatur bis jetzt in keinem Fall über den zulässigen Höchstwert von 25 °C angestiegen.

Diese punktuellen, momentan gemessenen Temperaturdifferenzen geben jedoch nur ein unvollständiges Bild der Situation wieder, denn schon die Messung der natürlichen Flusswassertemperatur im Raume Beznau und der Vergleich weit auseinanderliegender Messstellen ist nicht unproblematisch. Da es gemäss den Untersuchungen der NOK in den verschiedenen Flussquerschnitten im Bereich der Beznau keine homotherme Temperaturverteilung gibt, und da diese wechselhafte Heterothermie Grössenordnungen erreicht, wie sie auch durch die Kühlwassereinleitung verursacht werden kann, ist es äusserst schwierig, die natürlichen Fluktuationen und die sie überlagernden, je nach Kraftwerksbetrieb ebenfalls schwankenden Temperatureinflüsse auseinanderzuhalten. Deshalb sollten zusätzlich auch die eingeleiteten Wärmemengen in Betracht gezogen und die Temperaturdifferenzen in einer Mischrechnung berechnet werden. Die Jahresmittel der Aufwärmespanne ergeben Temperaturdifferenzen, die auch bei verminderter Wasserführung unter 1 °C, meist zwischen 0,6 und 0,7 °C liegen [20].

5. Die Auswirkungen der Temperaturveränderungen auf die Bodenfauna

Auf die mannigfachen Auswirkungen der thermischen Belastung von Fliessgewässern sei hier nicht näher eingegangen; wie komplex diese sind, zeigt die Tatsache, dass neben der uns speziell interessierenden Bodenfauna und anderen Organismen (Flora, Fische) auch der Sauerstoffhaushalt, die biochemischen Prozesse, die Wirkung toxischer Substanzen und die Grundwassereigenschaften beeinflusst werden können *(Ambühl* [1]).

Die wichtigsten Veränderungen der Biozönose, die im Verlauf der Untersuchungen sichtbar wurden, sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Es zeigt sich, dass sowohl im Oberwasser wie auch im Unterwasser der Organismenbestand insgesamt zugenommen hat. Dies ist zum Teil methodisch bedingt, da als Vergleichswerte vor Inbetriebnahme des Kernkraftwerkes nur die Ergebnisse einer (halbquantitativen) Probenahme vorliegen. (Diese Vergleichsbasis ist ungenügend, was sich auch darin zeigt, dass die 95 %-Vertrauensgrenzen bei kleinerem *n* wesentlich grösser sind.) Infolge der grossen Streuung kann weder diese Zunahme noch der relativ geringe Unterschied zwischen Ober- und Unterwasser statistisch abgesichert werden (Signifikanzniveau 95 %).

Würden wir postulieren, dass eine konstante Erwärmung von 1 bis 2 °C, wie sie nur am linken Aareufer bei Döttingen besteht, einen Effekt auf die Benthosorganismen hätte, so müssten Veränderungen nur an dieser Stelle wahrnehmbar sein. Leider wurden die Uferproben der Jahre 1971 und 1972 nicht mehr ausgewertet, so dass ein direkter Vergleich nicht möglich ist. Dennoch kann festgehalten werden, dass die wenigen deutlichen Verschiebungen (Verdrängung der Tubifiziden durch die Naididen, Rückgang der Chironomiden im Frühling 1970 und Herbst 1972, Zunahme der Hydropsychen [8]) offensichtlich nicht auf diese Probenahmestelle beschränkt sind und deshalb auf andere Faktoren zurückzuführen sein dürften. Zwar reagieren Benthosorganismen im allgemeinen empfindlich auf Umweltveränderungen, sie können aber relativ grosse Temperaturveränderungen aushalten *(Wurtz* [29]). Da zudem im Flussunterlauf (Potamon) vor allem eurytherme Tiere, d. h. Tiere mit weitem Temperaturbereich, leben *(Illies* [14]), erscheint eine geringe Temperaturerhöhung eher verträglich. Offenbar ist durch die Verschiebung dieses Temperaturbereiches um 1 bis 2 °C nach oben keine Art so betroffen worden, dass sie die oberen Grenzen nicht mehr ertragen könnte. Es sei nebenbei erwähnt, dass auch die Edelfische durch den Betrieb des Kernkraftwerkes nicht negativ beeinflusst worden sind [9].

Zwar existieren Angaben über die Temperaturtoleranz einzelner Arten, doch sind rein experimentelle, unter Standardbedingungen erzielte Resultate nie ohne weiteres auf die komplexen in situ Verhältnisse übertragbar. Die Frage, wo bei gewissen Arten in der Aare die obere tolerierbare Grenze liegt, könnte wohl am ehesten mit Untersuchungen in der Warmwasserfahne im «Aareknie» abgeklärt werden.

Zusammenfassend können wir feststellen, dass die gemessene Temperaturerhöhung von bis zu 2 °C nicht ausreicht, um sichtbare bzw. mit den angewandten Methoden messbare qualitative und quantitative Veränderungen der Bodenfauna hervorzurufen. Mögliche Einflüsse mit geringsten Auswirkungen können dabei nicht berücksichtigt sein; jedoch scheint die minime Reaktion der Bodenorganismen auf kleine Temperaturerhöhungen in situ quantitativ kaum erfassbar. Die Untersuchungen haben aber auch gezeigt, dass die empirisch festgesetzten Richtlinien [12] insofern gut und richtig waren, dass sie keine nennenswerten Schäden an der Flussfauna zuliessen. Ist es ein Zufall, dass z. B. die auch in der Aare lebende Mützenschnecke Ancylus fluviatilis eine Temperatur von 25 °C (=zulässige Höchsttemperatur) gerade noch langfristig aushalten kann *(Streit* [26])?

Neben dem Kernkraftwerk spielen auch noch andere zivilisatorische Einflüsse eine Rolle. Aufgrund der grossen organischen Belastung *(Märki* [18]) mit Jahresfrachten von 40 000 bis 80 000 t O_2-Verbrauch gemessen am BSB_5 [2] muss angenommen werden, dass in der Aare bei Beznau die Abwasserlast im Verhältnis zur Wärmebelastung bezüglich ihrer ökologischen Wirkung überwiegt, und dass sie die Beschaffenheit des Flussbenthos weit tiefgreifender prägt als die zusätzliche Erwärmung.

6. Schlussfolgerungen

Dieses für viele so eindeutige Ergebnis darf trotzdem nicht dazu verleiten, die Auswirkungen der «thermal pollution» zu unterschätzen. Oekologische Vorgänge gehen naturgemäss langsam vor sich, und unsere Untersuchungsserie war diesbezüglich zweifellos zu kurz, um endgültige Schlüsse ziehen zu können. (Die Untersuchungen wurden im Frühjahr 1973 eingestellt, da die aus statistischen Gründen beschränkte Aussagekraft der mit der angewandten Methode erzielten Resultate *(Bloesch* [4]) den unverhältnismässig grossen Arbeitsaufwand nicht mehr rechtfertigte.) Wir müssen eher mit schleichenden Veränderungen (verminderte Fertilität, höhere Sterblichkeit, allmähliche Artenverschiebung) als mit plötzlichen letalen Effekten und Massensterben rechnen. Kleinste künstliche Veränderungen stehen grössten natürlichen Streuungen in der Verteilung der Populationen gegenüber: Es liegt also in der Natur der Sache, dass Folgen solcher Eingriffe oft erst dann bemerkt werden, wenn die für die Oekologie nachteiligen Veränderungen nur mehr schwer zu korrigieren oder gar irreversibel sind. Es gibt aber genügend Beispiele (siehe z. B. die alljährlichen Literaturzusammenfassungen

von *Coutant* [5]), die beweisen, dass die Bodenfauna durch künstliche Erwärmung in höheren Temperaturbereichen beeinträchtigt bzw. verändert werden kann.

Eine solche Situation könnte aber bei einer vermehrten Wärmebelastung leicht eintreten, da wir nämlich die Kumulierung des Erwärmungseffektes berücksichtigen müssten (Wärmelastpläne), denn der Abbau der künstlich eingebrachten Wärme erfolgt nur über sehr lange Fliessstrecken (*Kuhn* [16]). Es wäre deshalb falsch, aus den Ergebnissen unserer Untersuchungen auf die ökologische Bedeutungslosigkeit künstlicher Flusserwärmung schliessen zu wollen.

Résumé

En 1969—1972, les invertébrés de l'Aar près de la centrale nucléaire de Beznau ont été examinés à l'égard de la pollution thérmique. Parmi 79 espèces ou genres, les oligochètes (vers), les chironomides et les larves de Hydropsyche sp. (trichoptères, phryganes) dominent les biocénoses benthiques. La répartition des organismes est très hétérogène (de 466 à 608 561, en moyenne 48 100 individus par m²). L'exploitation de la centrale nucléaire (2 x 350 (MW_{el}) qui réchauffe l'Aar en moyenne de 1—2 °C après un mélange imparfait des eaux de refroidissement ne causait pas un changement significatif du nombre des organismes.

Literaturhinweise

[1] Ambühl H.: Die thermische Belastung der Flüsse, Podiumsgespräch vom 9. 2. 1972 in Zürich, «Neue Zürcher Zeitung», 203 (2. 5. 1972).

[2] Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung Gewässerschutz: Flussuntersuchungen im Zusammenhang mit dem Atomkraftwerk Beznau 1969—1975. Tabellen, die laufend weitergeführt werden.

[3] Bloesch J.: Bodenfaunistische Untersuchungen in Aare und Rhein. I. Biologische Bestandesaufnahme, «Schweiz. Z. Hydrol.», 39/1 (1977).

[4] Bloesch J.: Bodenfaunistische Untersuchungen in Aare und Rhein. II. Eine kritische Ueberprüfung der Probenahmetechnik und verschiedener Auswertungsmethoden. «Schweiz. Z. Hydrol.», in Vorbereitung.

[5] Coutant C. C., et al.: Literature Review: Water Pollution, Thermal Effects (Thermal Pollution, Biological Effects). «Journ. Wat. Poll. Contr. Fed.», 40—48, 6 (1968—1976).

[6] EAWAG: 1. Zwischenbericht über die biologischen Untersuchungen (Bodenfauna) der Aare beim Kernkraftwerk Beznau im Hinblick auf die Flusserwärmung infolge der Kühlwassernutzung (12. Januar 1972).

[7] EAWAG: Bericht über die biologischen Untersuchungen (Bodenfauna) des Rheins beim projektierten Kernkraftwerk Kaiseraugst 1971/72 (25. Juni 1973).

[8] EAWAG: Bericht über die biologischen Untersuchungen (Bodenfauna) der Aare beim Kernkraftwerk Beznau im Hinblick auf die Flusserwärmung infolge der Kühlwassernutzung (12. August 1975).

[9] EAWAG: Gutachtliche Stellungnahme zur Forderung des Fischereivereins Döttingen nach zusätzlichen Hechteinsätzen in der Aare bei Beznau (April 1975).

[10] EAWAG: Bericht und Gutachten über die zu erwartende Beeinflussung des Rheins und des Werdenberger und Rheintaler Binnenkanals durch den Betrieb des geplanten Kernkraftwerkes Rüthi (4. August 1977).

[11] Eidg. Amt für Umweltschutz: Im Auftrag des Eidg. Amtes für Umweltschutz ausgeführte Flugaufnahmen mit einem Infrarot-Scanner (IRLS-Aufnahmen), 1971.

[12] Eidg. Departement des Innern: Gewässerschutztechnische Gesichtspunkte im Zusammenhang mit der Kühlwasserentnahme und -rückgabe bei konventionell- und nuklearthermischen Kraftwerken (Bern, 19. 3. 1968).

[13] Huet M.: Appréciation de la valeur piscicole des eaux douces. «Trav. Stat. Rech. Eaux et Forêts», Groenendaal, Sér. D., 10 (1949).

[14] Illies J.: Versuch einer allgemeinen biozönotischen Gliederung der Fliessgewässer. «Int. Revue ges. Hydrobiol.», 46/2, 205—213 (1961).

[15] Kolkwitz R. und Marsson M.: Oekologie der tierischen Saprobien. «Internat. Revue d. ges. Hydrobiologie und Hydrographie», 2 (1909).

[16] Kuhn W.: Physikalisch-meteorologische Ueberlegungen zur Nutzung von Gewässern für Kühlzwecke. «Arch. Met. Geoph. Biokl.», Ser. A, 21, 95—122 (1972).

[17] Märki E.: Wasserwirtschaftliche Probleme bei Atomkraftwerken, erläutert an der Anlage bei Beznau. «Wasser- und Energiewirtschaft» 60, 125—130 (1968).

[18] Märki E.: Die aargauischen Gewässer wurden untersucht: Von gut bis katastrophal. «Aargauer Tagblatt» (28. 12. 1971).

[19] Neukomm E., et al.: Fachtagung Krautwucherungen im Rhein — Flutender Hahnenfuss, vom 3. Juni 1976. «Wasser, Energie, Luft» 68/10, 223—245, 1976.

[20] Nordostschweiz. Kraftwerke AG, NOK: Verschiedene Pläne und Messdaten über den Temperatur-Jahresverlauf der Aare im Bereich des Kernkraftwerkes Beznau, 1966—1974.

[21] Pantle R. und Buck H.: Die biologische Ueberwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. «GWF» 96/18, 604, 1955.

[22] Schmassmann H.J. (Auftrag Dr. Walter Schmassmann, Beznau Bericht 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).

[23] Schmassmann H.J. (Auftrag Dr. Walter Schmassmann, Beznau Bericht 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).

[24] 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).

[25] Streit B.: Limnologie der Aare beim Atomkraftwerk Beznau mit besonderer Berücksichtigung der Makro-Bodenfauna. Diplomarbeit Universität Basel (3. 8. 1971).

[26] Streit B.: Experimentelle Untersuchungen zum Stoffhaushalt von Ancylus fluviatilis (Gastropoda — Basommatophora). 1. Ingestion, Assimilation, Wachstum und Eiablage. «Arch. Hydrobiol.» Suppl. 47/4, 458—514 (1975).

[27] Vischer D.: Die Kühlung von Kernkraftwerken mit Flusswasser. Untersuchungen der VAW über die Strömungsverhältnisse bei der Fassung und der Rückgabe. «Wasser- und Energiewirtschaft» 63/4, 139—146 (1971).

[28] Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern: Biologische Untersuchungen (Bodenfauna) der Aare beim Kernkraftwerk Mühleberg im Hinblick auf die Flusserwärmung infolge der Kühlwassernutzung. Zwischenbericht über die Untersuchungsperiode 1970—1972 (10. Mai 1977).

[29] Wurtz C. B. The Effects of Heated Discharges on Freshwater Benthos. In: Krenkel P. A. und Parker F. L.: Biological Aspects of Thermal Pollution. Vanderbilt University Press (1969).

[30] Zelinka M. und Marvan P.: Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fliessender Gewässer. «Arch. Hydrobiol.» 57/3, 389—407, 1961.

[31] 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 Verfassers: Dr. Jürg Bloesch, Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, EAWAG, 8600 Dübendorf.