

BIOLOGISCHE ASPEKTE DER WÄRMEEINLEITUNG AM BEISPIEL AUSGEWÄHLTER BAYERISCHER FLIESSGEWÄSSER

Johannes Bauer

1. Einleitung

Bei der Gewinnung von elektrischer Energie aus fossilen Brenn- oder Nuklearenstoffen werden aufgrund bekannter physikalischer Gesetzmäßigkeiten große Mengen Wärme als Abwärme frei, die je nach installiertem Kühlsystem entweder in ein Gewässer oder über Kühltürme in die Atmosphäre abgegeben werden. Wegen des in den letzten Jahrzehnten nahezu ständig gestiegenen Energiebedarfs und wegen der besonders guten Eignung von Wasser als Kühlmittel wurden unsere Gewässer in zunehmendem Maße mit Abwärme belastet. Da jedoch die Wärmekraftwerke meistens an Gewässerstrecken liegen, die schon eine mehr oder weniger starke Vorbelastung durch Abwässer aufweisen, wurde vielfach befürchtet, daß es durch Abwärmeeinleitung zu einer weiteren nachhaltigen Beeinträchtigung der Gewässergüte und der Biologie im Vorfluter kommt. Einige der wichtigsten und am häufigsten geäußerten Befürchtungen seien im einzelnen genannt (vgl. dazu z.B. Zusammenfassung bei FEY 1977, BECKER und STEINLEIN 1977, ABWÄRMEKOMMISSION 1978, ELSTER 1968).

- a) Verschlechterung der Sauerstoffverhältnisse durch Herabsetzen des Sauerstoffsättigungswertes und Intensivierung des Abbaus organischer Stoffe, dadurch Gefahr von Fischsterben
- b) Gewässergüte: Verschlechterung des Saprobienindex um 1/2 - 1 Stufe, z.B. durch Verschiebungen in der Artenzusammensetzung von Gewässerorganismen mit Indikatorwert für stärkere Belastung
- c) Biologie
 1. Erhöhung von Keimzahlen, insbesondere verstärkte Erhaltung und Vermehrung pathogener Keime, die bei der Kühlwasserpassage durch das Kraftwerk ihr Temperaturoptimum durchlaufen
 2. temperaturbedingte Selektion und Förderung von Blaualgen, von denen einige im Süßwasser verbreitete Planktonformen (z.B. *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena flos-aquae* u.a.) Toxine ab-

schneiden, die für Fische und Warmblüter giftig wirken

3. Schädigung und Abtötung von Organismen durch Erreichen der Letaltemperaturen und damit Verarmungen von Biozöosen
4. ungehemmte Massentwicklung von wärmeliebenden tierischen Organismen, Entwicklung einseitiger Biozöosen
5. Veränderungen im Jahreszeitlichen Entwicklungsablauf, z.B. Veränderungen beim Laichverhalten der Fische, vorzeitiges Schlüpfen von Insektenimagines
6. Erhöhung des Parasitenbefalls und Auslösung von Fischkrankheiten
7. Wachstumsbeschleunigung.

Einige der angeführten Befürchtungen sind sowohl durch experimentelle Arbeiten als auch durch Freilanduntersuchungen gut belegt, so z.B. Temperaturpräferenzen und Letaltemperaturen für Fische u.a. Danach orientieren sich auch die festgelegten Grenzen der Temperaturmaxima von 28° C für sommerwarme und 25° C für sommerkalte Gewässer bzw. von 18° C für ausgesprochene Salmonidengewässer. Für einige der angesprochenen Wärmebeeinflussungen gab es bis Anfang 1978 zwar auch eine große Zahl mehr oder weniger isolierter Untersuchungen, aber nur wenige ökologische und gütemäßige Bestandsaufnahmen an bestehenden Wärmeeinleitungen in der BRD (z.B. an der Lenne von KOPPE (1976) und FEY (1977)). Zur Schließung dieser Wissenslücke bemühte sich das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft um einen Forschungsauftrag beim Umweltbundesamt in Berlin ("Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Wärmehaushalt und Wassergüte in Fließgewässern unter besonderer Berücksichtigung des Zusammenwirkens von Abwasserreinigung und Abwärmeminderung"), der 1978 auf drei Jahre erteilt wurde. Den biologischen Teil dieses nun abgeschlossenen, umfangreichen Forschungsvorhabens übernahm die Bayerische Landesanstalt für Wasserforschung, wobei von ihr die Aspekte Bakterio-

logie (zusammen mit der Süddeutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Milchwirtschaft Welhenstephan), Phytoplankton, Phyto- und Zoobenthos und Fischfauna bearbeitet wurden. Wegen der Kürze der Zeit liegt der Schwerpunkt meiner Ausführungen auf den von mir bearbeiteten Gebieten Phytoplankton und Benthos.

Die Auswahl der insgesamt vier Kraftwerksstandorte erfolgte nach den Gesichtspunkten unterschiedlicher Güteverhältnisse und Gewässereigenschaften.

Es handelte sich um folgende Kraftwerksstandorte:

Kraftwerk	bei	Vorfluter	Güteklasse gemäß Gewässergütekarte Bayern 1979
Schwandorf	Schwandorf	Naab	II-III
Franken I	Nürnberg	Rednitz	II-III
Franken II	Erlangen	Regnitz	III, II-III
KKI (Kernkw.)	Landshut	Isar	III, II-III, II

Während die Isar ein ausgesprochen sommerkaltes Fließgewässer darstellt, sind die drei anderen Vorfluter mehr oder weniger sommerwarm, wobei die Naab die Verhältnisse in einem Weichwassergebiet darstellt.

2. Erforderliche Untersuchungen bei Phytoplankton und Benthos und Auswertung

Beim Phytoplankton erfolgte die quantitative Erfassung in etwa 3 - 4wöchigem Turnus von ausgewählten Stellen aus der nicht abwärmebeeinflussten und abwärmebeeinflussten Gewässerstrecke. Zu den Benthosuntersuchungen an der Naab, Rednitz und Regnitz wurden in den Sommerhalbjahren 1978 und 1979 und im Winterhalbjahr 1978/79 jeweils 3 Bereisungen durchgeführt. Die Untersuchungen an der Isar erstreckten sich über den Jahreszyklus 1979/80 - beginnend im März 1979 mit je 1 Untersuchung pro Jahreszeit. Die Benthosuntersuchungen an den abwärmebeeinflussten und -unbeeinflussten Gewässerstrecken umfaßten den mikroskopischen Aufwuchs sowie das Makrozoobenthos, das durch Auszählen auf exponierten Steinen bzw. Ufersteinen quantitativ erfaßt wurde. Makrophyten wurden lediglich qualitativ erfaßt. Bei der Auswertung wurde das Datenmaterial der Benthosuntersuchungen zur Ermittlung des Saprobienindex (nach PANTLE und BUCK 1955) sowie zur Berechnung der biocönotischen Strukturparameter Artenzahl, Individuendichte, Artenvielfalt (hier Shannon-Index¹) und dominierende Organismen herangezogen.

3. Ergebnisse bei Phytoplankton und Benthos

Im folgenden sollen die Ergebnisse an den einzelnen Vorflutern besprochen werden.

3.1 Naab

Allgemeine Beschreibung

Die Naab beim Kraftwerk Schwandorf ist ein Fließgewässer mittlerer Größe (MQ Pegel Münchshofen So 1979 24,4 m³/s) und weitgehend unverbaut, lediglich im unmittelbaren Kraftwerksbereich ist sie zur Kühlwasserentnahme und -rückgabe aufgestaut. Bei dem Kohlekraftwerk Schwandorf erfolgt die Kühlung im Durchlaufbetrieb, z.T. im Rückkühlbetrieb. Die Kühlwasserentnahme und -rückgabe erfolgt über offene Kanäle, die eine natürliche Uferbefestigung aufweisen. Die Aufwärmespannen des Kühlwassers waren vor allem im Winter sehr hoch (Durchschnittswert um 16 K), im Sommer wurden Durchschnittswerte von 7,2 - 9,4 K gemessen. Die Maximaltemperatur im erwärmten

¹) Der Shannon-Index ist eine rechnerische Größe für die Artenvielfalt. Er integriert Arten- und Individuenzahl einer Biozönose. Allgemein gilt, daß die Indexzahl um so höher wird, je vielfältiger die Biozönose zusammengesetzt ist. Ein niedriger Index errechnet sich sowohl bei artenarmen und Individuenarmen Biozönosen als auch bei einseitigen Massentwicklungen. Die Berechnung des Index erfolgt gemäß der Formel aus DIAZ et al. (1972).

Kühlwasser betrug während des Untersuchungszeitraums 29,5° C. In der Naab selbst ergaben sich naturgemäß geringere Werte, die entsprechende Aufwärmespanne bewegte sich hier zwischen 2,4 und 3,6 K und die entsprechende Maximaltemperatur betrug 26,8° C.

Chemisch läßt sich das Naabwasser folgendermaßen charakterisieren:

Es ist entsprechend seinem Einzugsgebiet aus vorwiegend Grundgestein relativ weich (SBV Mittelwert 0,79 mval/l) und wie stichprobenartige BSB₅-Messungen gezeigt haben, auch deutlich organisch belastet (Mittelwert 6,8 mg/l).

Phytoplankton

Das Phytoplankton der Naab setzte sich während der warmen Jahreszeit überwiegend aus Kieselalgen und protococcalen Grünalgen zusammen, im Winter war es bedeutungslos. Blaualgen und sonstiges Phytoplankton spielten nur eine untergeordnete Rolle. In den meisten Fällen waren sowohl die Phytoplanktonzahlen als auch die Anteile der Phytoplanktongruppen bei den abwärmebeeinflussten Untersuchungsstellen (R, N) und der nicht abwärmebeeinflussten Untersuchungsstelle (E) im wesentlichen identisch. Auch die statistische Auswertung der Zählergebnisse nach dem Wilcoxon Test brachte auf dem 5 % Niveau keine diesbezüglichen signifikanten Unterschiede. In *Abb. 1* sind die Verhältnisse für das Naab-Phytoplankton wiedergegeben.

Benthos

Zur Abschätzung des Abwärmeeinflusses wurde in den Kühlwasserkanälen und in der Naab vor und nach Kühlwassereinleitung das Makrozoobenthos und der Aufwuchs untersucht. Zur Untersuchung eigneten sich besonders gut die Kühlwasserkanäle, da sie hinsichtlich der Physiographie und der Strömungsverhältnisse nahezu identisch waren und das Wasser im Rückleitungskanal besonders stark aufgewärmt war. Die dabei festgestellten Abwärmeeinflüsse lassen sich wie folgt beschreiben: So war der Saprobienindex in allen drei Untersuchungsperioden im Rückleitungskanal im Vergleich zum "kalten" Entnahmekanal wegen der starken Entwicklung einiger als a-mesosaprob einzustufenden wärmeliebenden benthischen Blaualgen (*Oscillatoria tenuis*, *Oscillatoria formosa*) immer schlechter, maximal um 0,4 Gütepunkte. Außerdem wurden unter dem Wärmeeinfluß Artenzahlminderungen festgestellt, z.B.

beim Makrozoobenthos im Sommer 1979 von 43 Arten im Entnahmekanal auf 34 Arten im Rückleitungskanal. In den übrigen Untersuchungsperioden wurden Artenzahlminderungen ähnlichen Ausmaßes festgestellt. Zu den fehlenden Arten zählten überwiegend einige als Fischnährtiere wichtige Eintags- und Köcherfliegenlarven (*Ecdyonurus*, *Heptagenia*, *Habroleptoides*, *Polycentropus*, *Cyrnus* u.a.) und im Aufwuchs die Wimpertiere. Dagegen entwickelten sich einige Schneckenarten im erwärmten Kanal überaus gut. Hervorzuheben ist dabei besonders die rasante Vermehrung der subtropischen Schnecke *Melanoïdes tuberculata* im Jahr 1979. Da neben dieser Schnecke auch Guppies in diesem Kanal gesichtet wurden, ist anzunehmen, daß beide Arten von Aquarianern eingesetzt wurden. *Abbildung 2* zeigt die Populationsentwicklung dieser Schnecke. Als weiterer Abwärmeeffekt wurde das beschleunigte Larvenwachstum der als Fischnährtier wichtigen Köcherfliegenlarve *Hydropsyche* und deren vorzeitiges Imaginalschlüpfen im Winter 1978/79 beobachtet. Soweit die recht deutlich in Erscheinung getretenen Abwärmebeeinflussungen im Rückleitungskanal.

In der Naab dagegen können Vergleiche zwischen dem Flußabschnitt oberhalb und unterhalb des Kraftwerks nicht eindeutig als Abwärmeeinfluß interpretiert werden, da unterschiedliche Strömungsverhältnisse vorliegen. Unterschiede in der Artenzusammensetzung sind auf unterschiedliche Strömungsverhältnisse zurückzuführen. So wurden im unbeeinflussten Staubereich ausgesprochene Stillwasserorganismen (*Chironomidae*, *Sialis*, *Zygopteren*, *Cyrnus trimaculatus*) gefunden, während in der abwärmebeeinflussten Flußstrecke eine mehr oder weniger stark ausgeprägte und sehr artenreiche Fließwasserblöcönose vorlag. Immerhin ergab sich jedoch, daß der Saprobienindex, der in der Untersuchungsstrecke zwischen 2,1 und 2,5 lag, durch die Abwärmeeinleitung nicht signifikant verändert war.

3.2 Rednitz

Allgemeine Beschreibung

Die Rednitz beim Kraftwerk Franken I ist ein kleines Fließgewässer (z.B. MQ So 1979 7,8 m³/s) und in der nur 2 km langen Untersuchungsstrecke ändert sich der Flußcharakter hinsichtlich der Strömungsverhältnisse mehrfach recht drastisch. Auch hier ist die Rednitz beim Kohlekraftwerk Franken I zur Kühlwasserentnahme und -rückgabe aufge-

staut. Die offenen Kühlwasserkanäle sind kurz und haben gespundete Wände. Die Kühlung erfolgt im Ablaufbetrieb. Die durchschnittlichen Aufwärmespannen in der Rednitz lagen zwischen 3,6 und 4,5 K und waren damit etwas höher als in der Naab, die Maximaltemperatur betrug 26,2° C. Die stichprobenartigen chemischen Analysen des Rednitzwassers ergaben, daß dieses Wasser mittelhart (Mittelwert SBV 3,21 mval/l) und gelegentlich deutlich organisch (Mittelwert BSB₅ 6,1 mg/l) belastet ist.

Phytoplankton

Das Phytoplankton der Rednitz ist – was die Zusammensetzung und das jahreszeitliche Auftreten der einzelnen Gruppen anbelangt – dem der Naab recht ähnlich. Auch hier ergab die statistische Auswertung der Zählergebnisse keine signifikanten Unterschiede zwischen der nicht abwärmebeeinflussten Untersuchungsstelle (E) und den anderen abwärmebeeinflussten Untersuchungsstellen (R,S). Allerdings war hier die Phytoplanktondichte wesentlich geringer als in der Naab. *Abbildung 3* gibt einen Überblick über die Verhältnisse beim Phytoplankton in der Rednitz.

Benthos

Wie schon erwähnt, treten in der Rednitz-Untersuchungsstrecke starke Wechsel der Strömungsverhältnisse auf. Deshalb zeigten sich an den einzelnen Untersuchungsstellen sehr verschiedene, vom Strömungsfaktor geprägte Besiedlungsmuster. So fanden sich im Stau beim Kraftwerk überwiegend im Schlamm lebende Stillwasserorganismen (Chironomidae, *Cyrcus trimaculatus*), während im stark durchströmten Bereich unterhalb der Kühlwassereinleitung Organismen vom Typ der passiven Filtrierer (z.B. Hydropsyche) und andere strömungsbedürftige Organismen dominierten. Das häufigste Benthos tier der Rednitz, der Bachflohkrebs *Rivulogammarus roeseli*, dominierte an den Stellen, die deutliche Strömung aufwiesen. Bachflohkrebse benötigen nach neueren Untersuchungen von FRANKE (1977) zur O₂-Versorgung eine mäßige, nicht zu starke Wasserbewegung. Vergleiche zwischen dem Flußabschnitt oberhalb und unterhalb des Kraftwerks sind daher nicht eindeutig als Wärmeinfluß zu interpretieren. Gute Vergleichsmöglichkeiten boten jedoch die Kalt- und Warmwasserseite direkt unterhalb der Kühlwassereinleitung im stark strömenden Bereich. Auf der Warmwasserseite wurde wie-

derum – wie im Rückleitungskanal zur Naab – das beschleunigte Larvenwachstum der Köcherfliegenlarven *Hydropsyche* und *Rhyacophila* festgestellt und während der Sommeruntersuchungsperioden eine Artenzahlminderung beim Makrozoobenthos von 20 – 30 %. Der Saprobienindex in der Rednitz war unter dem Einfluß der Abwärme nicht signifikant verändert. Lediglich im warmen Kühlwasserkanal war der Wert wegen der starken Entwicklung von α -mesosaprobien Blaualgen (z.B. *Oscillatoria tenuis*) um bis zu 0,5 Gütepunkte schlechter. Die Verhältnisse beim Benthos in der Rednitz sind in *Abbildung 4* für den Sommer 1979 beispielhaft dargestellt.

3.3 Regnitz

Allgemeine Beschreibung

Die Regnitz beim Kraftwerk Franken II ist ein Fließgewässer mittlerer Größe (z.B. MQ Pegel Hüttendorf So 1979 21,4 m³/s). Die etwa 2 km lange Untersuchungsstrecke ist – vom Stau beim Kraftwerk abgesehen – hinsichtlich ihrer Morphologie überall ähnlich, so daß die Untersuchungsstellen gut miteinander vergleichbar waren. Die Kühlung im Kraftwerk erfolgt im Durchfluß, bzw. in kritischen Phasen durch Ablaufkühlung, wobei das erwärmte Kühlwasser durch verschiedene Belüftungseinrichtungen im Rückleitungskanal belüftet wird. Die Kühlwasserkanäle sind offen und haben gespundete Wände. Im Sommer 1977¹⁾ wurde die Regnitz um durchschnittlich 3,8 K aufgewärmt und die entsprechende Maximaltemperatur in diesem Gewässer betrug 26,9° C. Chemisch läßt sich das Regnitzwasser folgendermaßen charakterisieren: Es ist mittelhart (Mittelwert SBV 3,97 mval/l) und wie stichprobenartige BSB₅-Messungen (Mittelwert 9,1 mg/l) gezeigt haben, organisch stärker belastet als die bisher erwähnten Untersuchungsgewässer.

Phytoplankton

Auch hier haben die Ergebnisse eine gewisse Ähnlichkeit mit den entsprechenden Ergebnissen von der Naab und der Rednitz, sowohl was die Planktonzusammensetzung anbelangt als auch was das jahreszeitliche Auftreten der einzelnen Gruppen betrifft. Ein signifikanter Unterschied zwischen den ab-

1) Für 1978 und 1979 stehen keine Durchschnittswerte zur Verfügung.

wärmebeeinflussten Untersuchungsstellen (R,B) und der nicht abwärmebeeinflussten Untersuchungsstelle (A) konnte auch hier nicht festgestellt werden. *Abbildung 5* gibt einen Überblick über die Verhältnisse beim Phytoplankton in der Regnitz.

Benthos

Das Makrozoobenthos in der Regnitz - Aufwuchs und Makrophyten waren hier nur von geringer Bedeutung - wird geprägt von der verhältnismäßig hohen organischen Belastung und dem damit verbundenen hohen Nahrungsangebot. Die Individuendichten waren daher die höchsten von allen Untersuchungsgewässern, wobei die Wasserassel *Asellus aquaticus* und der Egel *Herpobdella octoculata* besonders hervortraten. Im Gegensatz dazu war die Artenzahl in der Regnitz am geringsten. Insgesamt waren es 30 Taxa.

Interessant waren Vergleiche zwischen dem Flußabschnitt oberhalb und unterhalb des Kraftwerks; So wurde in der abwärmebeeinflussten Gewässerstrecke bei der Napfschnecke *Ancylus fluviatilis* ein verstärktes und bei der Blasenschnecke *Physa fontinalis* ein stellenweise sogar häufiges Aufkommen beobachtet. Da es für derartige erhöhte Schneckenauftreten unter Abwärmeeinfluß weitere Belege gibt (z.B. GROSS et al. 1978, AGERSBORG 1932), kann angenommen werden, daß der Temperaturfaktor für die Schneckenbegünstigung verantwortlich war. Weiterhin wurde im Flußabschnitt unterhalb der Wärmeeinleitung eine Zunahme der Artenzahl - maximal um 35 % - festgestellt sowie das häufigere Auftreten einiger gegenüber O₂-Mangel empfindlicher Organismen (z.B. *Rivulogammarus*, *Beatis*, *Hydropsyche*). Damit ergab sich für diesen Flußabschnitt eine leichte Gütebesserung, die stets bei 0,2 - 0,3 Gütepunkte lag. In *Abbildung 6* sind diese Verhältnisse für den Sommer 1978 beispielhaft dargestellt.

Das Phänomen der ökologischen und gütemäßigen Verbesserung in der abwärmebelasteten Flußstrecke steht sicherlich im Zusammenhang mit der intensiven Belüftung des erwärmten Kühlwassers. Wie intensiv dabei der O₂-Eintrag gerade in den für die genannten Organismen kritischen Wärmeperioden im Vorfluterabschnitt unterhalb des Kraftwerks ist, soll am Beispiel des Wärmesommers 1976 veranschaulicht werden (*Abbildung 7*).

3.4 Isar

Allgemeine Beschreibung

Bei dem größten aller untersuchten Fließgewässer, der Isar beim KKI (z.B. MQ Pegel Landshut So 1926/75 185 m³/s), wurde entsprechend dem mehrfachen Wechsel von Stau- und Fließstrecke eine ca. 20 km lange Untersuchungsstrecke ausgewählt. Da die Fließstrecken bzw. die Staustrecken hinsichtlich der Strömung jeweils sehr ähnlich waren, waren die Untersuchungsstellen in den Fließ- bzw. in den Staustrecken jeweils gut miteinander vergleichbar. Die Kühlung im Kernkraftwerk erfolgt im Durchlauf bzw. in kritischen Phasen mittels Ventilator Kühlung im Ablauf, wobei das Kühlwasser in geschlossenen, für Untersuchungen nicht zugänglichen Kanälen zum bzw. vom Kraftwerk fließt.

Über die Aufwärmung der Isar liegen keine kontinuierlichen Untersuchungen vor, lediglich einige Stichprobenartige Messungen. Die entsprechenden Meßwerte lagen stets unter 3 K. Einen weiteren Anhaltspunkt gibt der wasserrechtliche Bescheid. Danach darf die Isar durch das KKI um maximal 3 K, bei Niedrigwasserführung um maximal 5 K aufgewärmt werden. Die einzuhaltende Maximaltemperatur liegt bei 25° C.

Chemisch läßt sich das Isarwasser als mittelhart (Mittelwert SBV 3,88 mval/l) und deutlich organisch (Mittelwert BSB₅ 5,3 mg/l) belastet charakterisieren. Zur organischen Belastung tragen erheblich die nur mechanisch gereinigten Abwässer der Stadt Landshut bei.

Phytoplankton

Das Phytoplankton der Isar unterschied sich deutlich von dem der drei anderen untersuchten Vorfluter. Es setzte sich überwiegend aus den kaltstenothermen Kieselalgen zusammen; Grünalgen und andere Algengruppen waren von untergeordneter Bedeutung.

Interessant ist ein Vergleich der Kieselalgen aus den beiden untersuchten Staubereichen. Während im abwärmebeeinflussten Staubereich Gummering die Kieselalgendepression schon im April einsetzte, erfuhr die Kieselalge *Stephanodiscus hantzschii* im unbeeinflussten Staubereich Niederaichbach noch einmal einen kräftigen Entwicklungsschub. Anfang Juni erreichte diese Alge ihr Maximum mit 18.100 Zellen/ml. Hierin liegt möglicherweise ein Abwärmeeinfluß, der sich allerdings wegen der geringen Zahl der Zählergebnisse nicht statistisch absichern ließ.

Abbildung 1

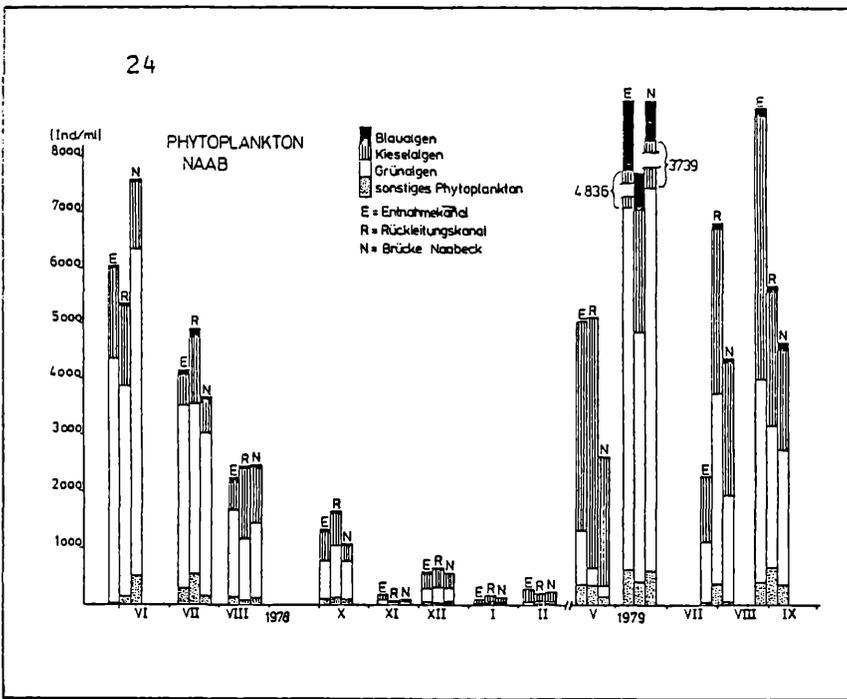


Abbildung 2

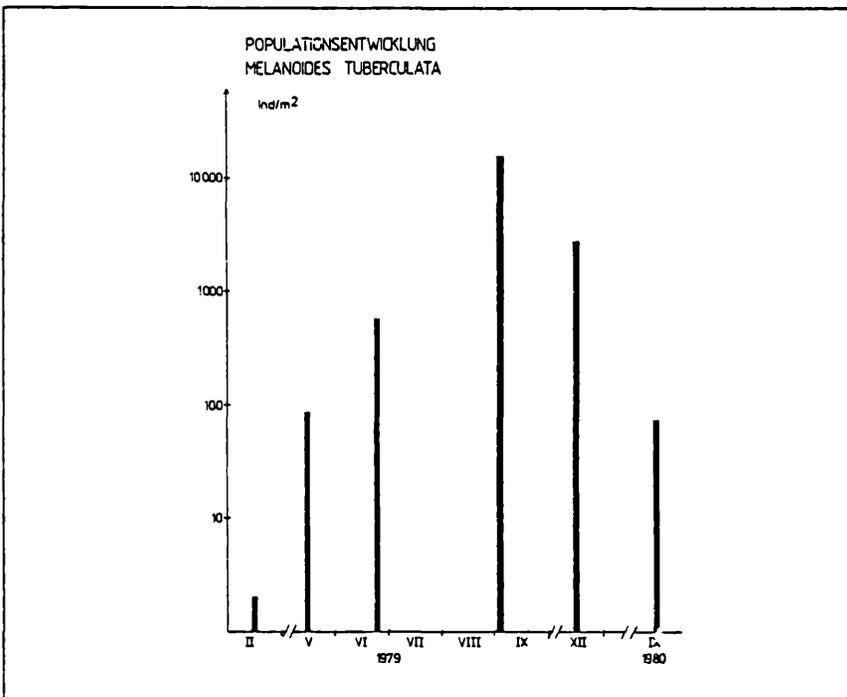
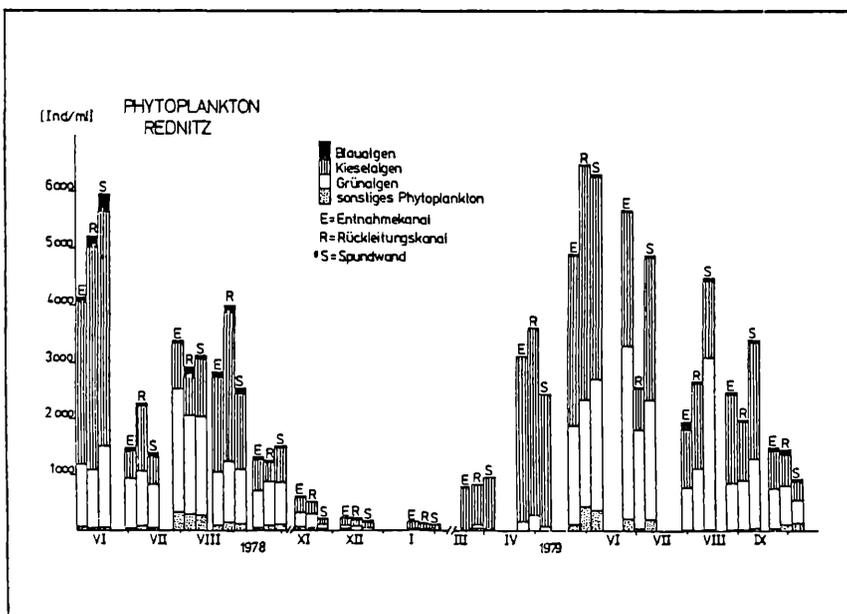


Abbildung 3



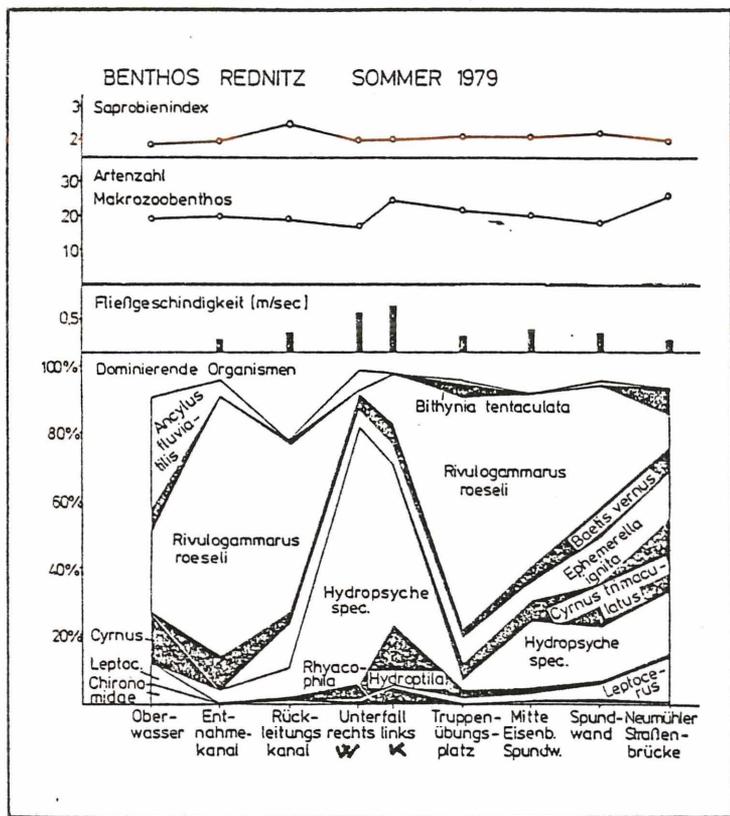


Abbildung 4

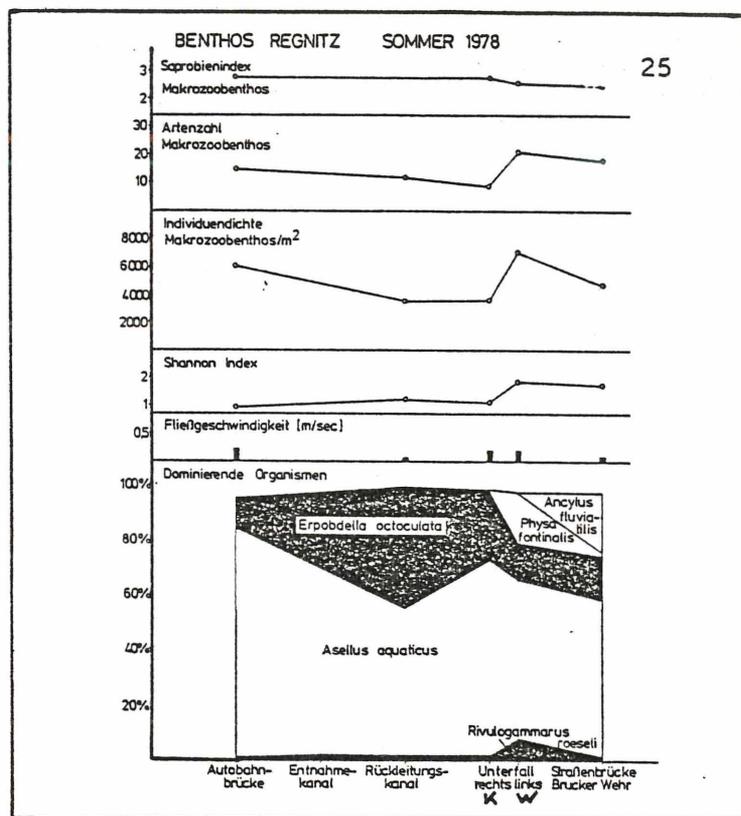


Abbildung 6

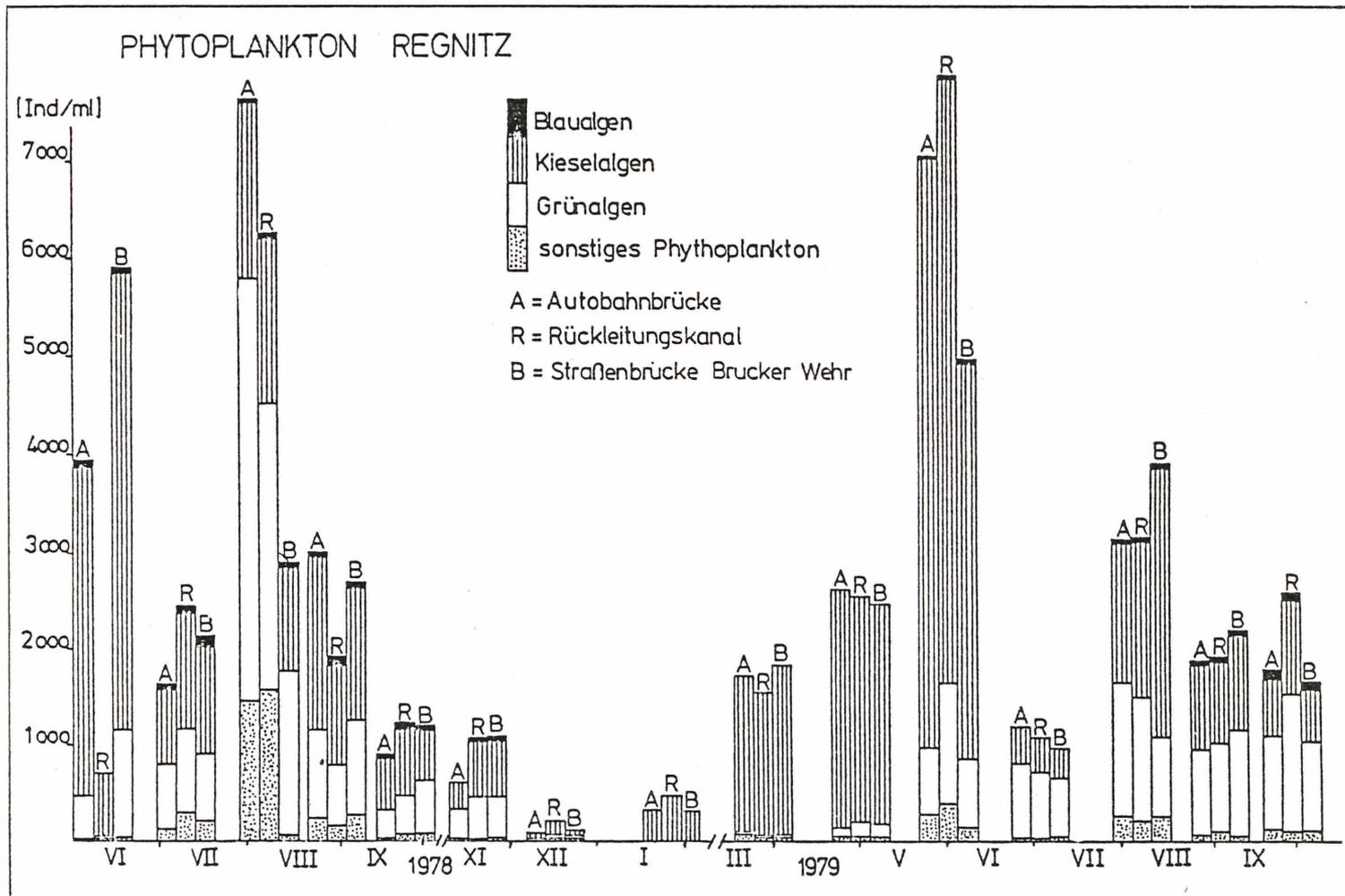


Abbildung 5

Abbildung 8 gibt einen Überblick über die Verhältnisse beim Phytoplankton in der Isar.

Benthos

Im Vergleich zu den anderen Untersuchungs-gewässern war der Artenreichtum in der Isar am größten. Beim Makrozoobenthos wurden insgesamt 70 Taxa festgestellt, bei den Makrophyten waren es 10 Taxa. Vergleiche zwischen dem Flußabschnitt oberhalb und unterhalb des Kraftwerkes gaben keinen Hinweis für einen Abwärmeeinfluß. So waren der Saprobienindex sowie die Artenzahl vom Makrozoobenthos vor und nach Abwärmebelastung etwa gleich und die Artenvielfalt (Shannon-Index) im unmittelbaren Einflußbereich des Kernkraftwerks sogar am größten. Andere Einflüsse traten dagegen deutlich in Erscheinung. Der Abwassereinfluß, der von der Stadt Landshut ausgeht, war an der Verminderung der Artenzahlen und Artenvielfalt (Shannon-Index) sowie an der Erhöhung des Saprobienindex gut zu erkennen. Den stärksten Einfluß auf die Benthobiozönose übten jedoch die Flußverbauungen mit ihrem Wechsel von Stau- und Fließstrecken aus. In den Staustufen mit gemauertem Ufer und flachen Sandbänken entwickelten sich im Sommer dichte Bestände des Kammlaichkrautes *Potamogeton pectinatus* und die Artenzahlen vom Makrozoobenthos waren dort wesentlich niedriger als in Fließstrecken, deren Ufer überwiegend aus Steinschüttung aufgebaut sind. *Abbildung 9* gibt einen Überblick über die Verhältnisse beim Benthos in der Isar.

4. Andere Ergebnisse

Die bisherigen Ausführungen bezogen sich auf das Phytoplankton und das Benthos. Nur kurz soll über einige wichtige Ergebnisse der bakteriologischen und fischereilichen Untersuchungen referiert werden. Bei den bakteriologischen Untersuchungen an der Naab, Rednitz und Regnitz waren die Gesamtkeimzahlen in den nicht abwärmebeeinflußten und abwärmebeeinflußten Gewässerstrecken weitgehend identisch. Ein vermehrtes Aufkommen wärmeliebender Enterobakterien konnte in keinem Vorfluter festgestellt werden. In der Regel lagen die Unterschiede bei *E. coli* und den Enterokokken in erwärmten und nicht erwärmten Flußabschnitten im Rahmen der dafür gegebenen Fehlergrenzen. Lediglich im Rückleitungskanal zur Regnitz war eine häufigere Ten-

denz zu höheren Colizahlen festzustellen. Eine gewisse Verschiebung erfuhr die aerobe heterotrophe Bakterienflora bei der Kühlwasserpassage durch die Kraftwerke. In den Vorflutern selbst waren die diesbezüglichen Unterschiede vor und nach Aufwärmung jedoch gering oder nicht vorhanden.

Bei den durch Elektroabfischung durchgeführten fischereilichen Untersuchungen an der Naab, Regnitz und Isar dominierten die Cypriniden und die Aale in den Fängen, Salmoniden wurden selten gefangen. Es wurden stets die größten Gesamtfänge auf den erwärmten Fangplätzen (einschließlich der Rückleitungskanäle) gemacht. In der Naab und Regnitz wurde die höhere Artenzahl in der abwärmebeeinflußten, bei der Isar in der nicht abwärmebeeinflußten Flußstrecke konstatiert. Eine wärmebedingte Erhöhung des Parasitenbefalls der Fische und eine diesbezügliche Häufung äußerlich erkennbarer Fischkrankheiten konnte in keinem Untersuchungs-gewässer nachgewiesen werden.

5. Zusammenfassung

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß in den untersuchten Vorflutern mit durchschnittlichen Aufwärmespannen bis höchstens 5 K im Mischwasser nur lokal begrenzte und zumeist geringfügige Abwärmeeinflüsse auf die Biologie festzustellen waren. Von den eingangs angesprochenen Befürchtungen konnten lediglich im unmittelbaren Warmwasserbereich der Rednitz Artenzahlminderungen und das beschleunigte Larvenwachstum einiger Köcherfliegenlarven festgestellt werden. Wie das Beispiel an der Regnitz jedoch zeigte, kam es auch zu leichten ökologischen und gütemäßigen Verbesserungen im abwärmebeeinflußten Flußabschnitt. Dieser positive Effekt stand vermutlich im Zusammenhang mit der intensiven Belüftung des wieder eingeleiteten Kühlwassers. Von sehr großem Einfluß auf die Flußbiocönosen waren die Faktoren Abwasserlast, Flußverbauung und Wasserströmung. Starke Aufwärmungen mit Aufwärmespannen von 16 K im Winter bzw. von 7–9 K im Sommer und von sommerlichen Wassertemperaturen bis knapp 30° C, wie sie im Rückleitungskanal zur Naab auftraten, beeinflussen jedoch sehr nachhaltig die Biologie im Gewässer. Das hat die Vielzahl der erwähnten Wärmebeeinflussungen (Wachstumsbeschleunigung und vorzeitiges Schlüpfen der Köcherfliege *Hydropsyche*, starke Entfaltung einiger benthischer Blaualgen und einer subtropischen Schnecke, Artenzahlminderungen, Güteverschlechte-

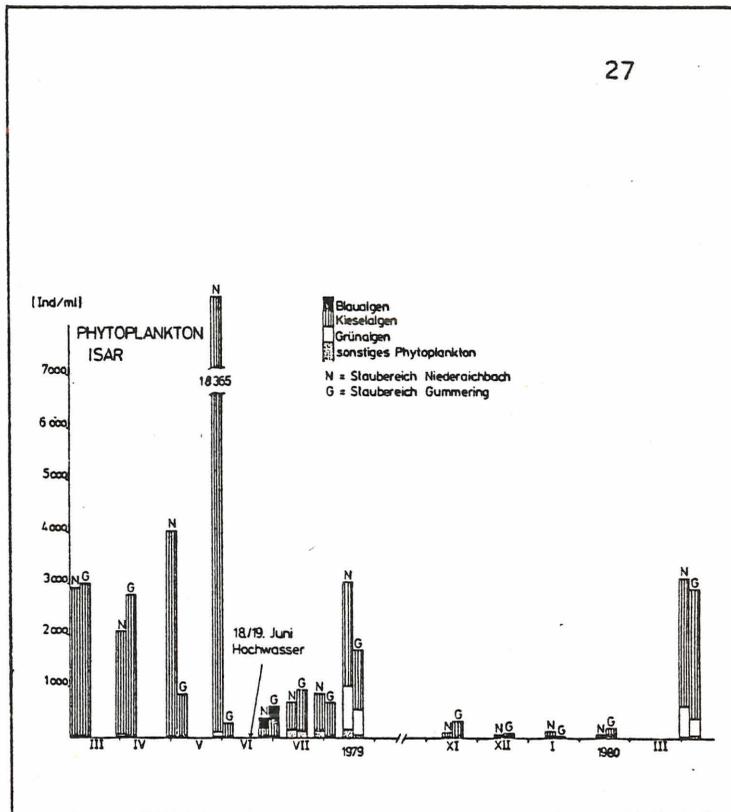
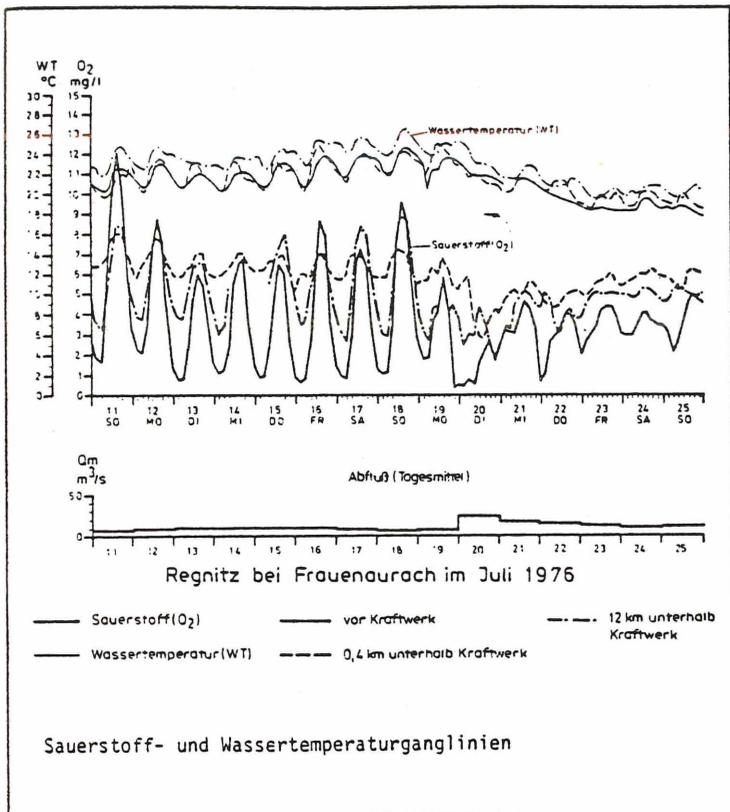


Abbildung 7: Sauerstoff- und Wassertemperaturganglinien. Aus STEINLEIN (1980).

Abbildung 8

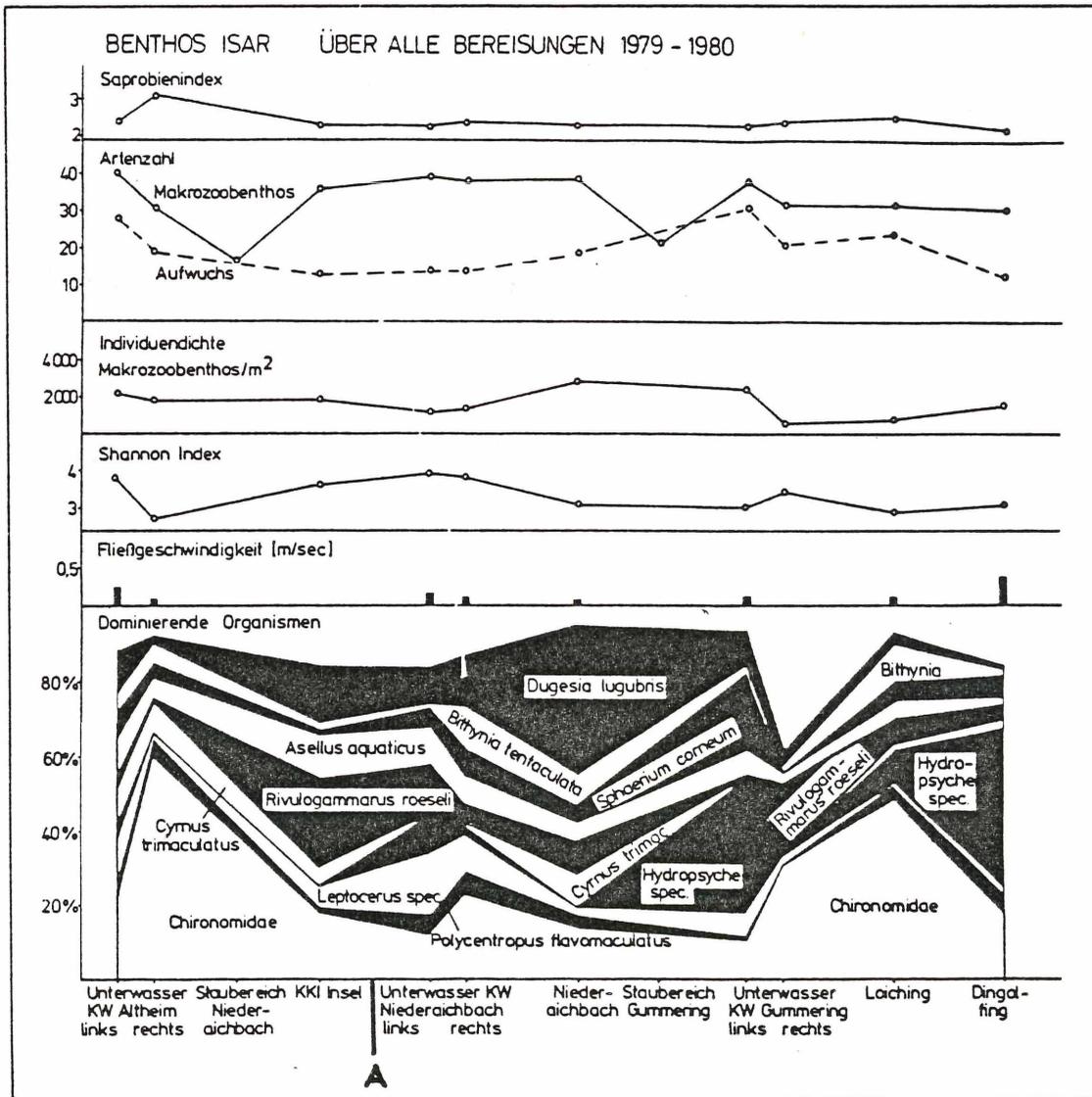


Abbildung 9

zung) gezeitigt. Hierin können die eingangs erwähnten Befürchtungen zum großen Teil bestätigt werden.

Literatur

ABWÄRMEKOMMISSION (1978):

Wärmeeinleitungen in Gewässer und deren Auswirkungen – Berichtsband zum Workshop der Arbeitsgruppe I "Wärmeableitung in Gewässer" der Abwärmekommission am 27./28. Sept. 1977 in Karlsruhe; Berlin.

AGERSBORG (1932):

zit. in ELSTER, H.-J. (1968): Einige limnologische und fischereiliche Gesichtspunkte zur Aufheizung unserer Fließgewässer durch Kühlwasser-Einleitungen, Fischwirt **18**.

BECKER u. STEINLEIN (1977):

Forschungsvorhaben zur Wärmebelastung der Gewässer – Auswertung bisheriger Ergebnisse – Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft H. 4.

DIAZ, R., BOESCH, D.F., BENDER, M.E. (1972):

Biotic indices and water quality. System analysis for environmental pollution control NATO Advanced Study Institute.

ELSTER, H.-J. (1968):

Einige limnologische und fischereiliche Gesichtspunkte zur Aufheizung unserer Fließgewässer durch Kühlwasser-Einleitungen; Fischwirt **18**, 298–307.

FEY, J.M. (1977):

Die Aufheizung eines Mittelgebirgsflusses und ihre Auswirkungen auf die Zoozönose – dargestellt an der Lenne (Sauerland); Arch. Hydrobiol./Suppl. **53**, 307–363.

FRANKE, U. (1977):

Experimentelle Untersuchungen zur Respiration von *Gammarus fossarum* KOCH 1835 (Crustacea–Amphipoda) in Abhängigkeit von Temperatur, Sauerstoffkonzentration und Wasserbewegung; Arch. Hydrobiol./Suppl. **48**, 369–411.

GROSS, F., HEGER, W., RODINGER, W. (1978):

Auswirkungen thermischer Belastung eines Fließgewässers am Beispiel der Kalnach; Wasser und Abwasser, **21**, 147–215.

KOPPE, P. (1976):

Der Einfluß der Temperaturerhöhung des Lenne-Wassers durch die Kühlwasser des Kraftwerkes Elverdinsgen auf den Sauerstoffhaushalt und die Biozönose der Lenne. Deutsche Forschungsgemeinschaft, B. Nr. 517/3, Ko 517/12.

PANTLE, R. und BUCK, H. (1955):

Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse; gwf **96**, 604.

STEINLEIN, H. (1980):

Zusammenhänge zwischen Wärmehaushalt und Gewässergüte in Fließgewässern – Anwendung und Erkenntnisse in der wasserwirtschaftlichen Praxis; Statusseminar aus der Arbeit Wasserwirtschaftlicher Institutionen in Bayern am 17. und 18.4.1980.

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Biologe Johannes Bauer

Bayerische Landesanstalt für Wasserforschung
Versuchsanlage Welenbach

Demollstr. 21

8121 Welenbach

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1981

Band/Volume: [5_1981](#)

Autor(en)/Author(s): Bauer Johannes

Artikel/Article: [Biologische Aspekte der Wärmeeinleitungen am Beispiel ausgewählter bayerischer Fließgewässer 19-28](#)