

J. Michael Fey

Die Beeinflussung der Lenne durch die Abwärme des Kohlekraftwerkes Elverlingsen

Seit mehr als sechzig Jahren wird die in den Kraftwerken in großem Maße anfallende Abwärme hauptsächlich über die Vorfluter abgeführt. Die sich hieraus für die Organismen der Flüsse ergebenden Auswirkungen sind lange Zeit unberücksichtigt geblieben. Erst in den letzten Jahren sind vor allem in den USA und in England zahlreiche Arbeiten vorgestellt worden, die sich mit den Problemen einer thermalen Verunreinigung der Gewässer beschäftigen (Literaturübersicht bei Krenkel und Parker 1969,

Countant und Pfuderer 1974, Countant und Talmage 1975). Für die Bundesrepublik Deutschland lagen bislang keine Freilanduntersuchungen zu diesem Komplex vor. Ziel der vorliegenden Untersuchung sollte es sein festzustellen, inwieweit die Benthaltzoozönose eines Mittelgebirgsflusses unserer Breitengrade durch die Abwärme eines Kraftwerkes beeinflusst wird. Die Freilanduntersuchungen wurden in den letzten Jahren 1973 bis 1975 an dem an der Lenne gelegenen Kraftwerk Elverlingsen durchgeführt.

Das an der Grenze zwischen Mittellauf und Unterlauf der Lenne gelegene Kohlekraftwerk Elverlingsen hatte während des Untersuchungszeitraumes eine maximal mögliche Leistung von 220 MW. Mittlerweile wurde die Leistung durch die Inbetriebnahme von zwei Gasturbinen auf ca. 430 MW aufgestockt.

Das zur Kondensation benötigte Lennewasser (ca. $8 \text{ m}^3/\text{s}$) wird aus dem Stau in Höhe

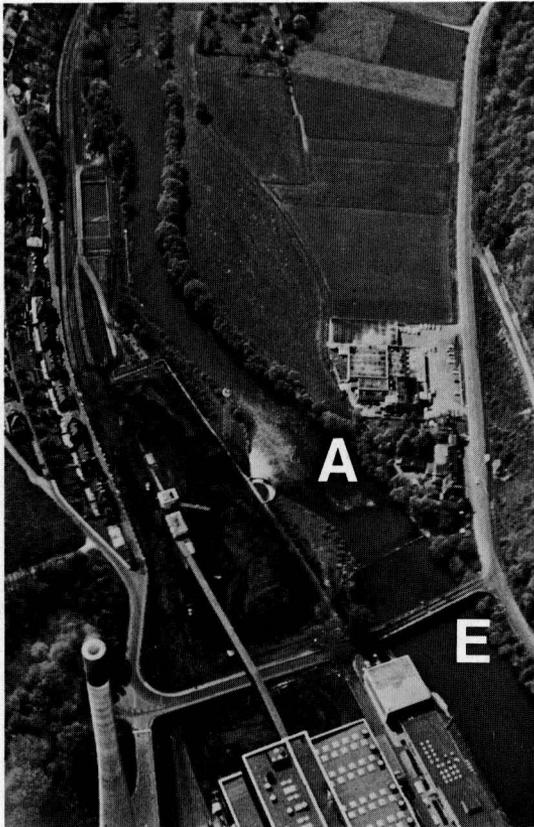


Abb. 1: Das Untersuchungsgebiet am Kraftwerk Elverlingsen. Aufgenommen aus einer Höhe von 1000 Meter. E = Einlauf, A = Auslauf. Freigabe-Nr.: Reg.-Präs. Münster 4397/74.

des Kraftwerkes entnommen und — aufgeheizt — wieder über den Auslaufpflanz in die Lenne eingeführt (Abb. 1). Eventueller Algenbewuchs im Rohrsystem innerhalb des Kraftwerkes wird mechanisch durch Einblasen von Gummibällchen beseitigt. Eine chemische Beeinflussung des Lennewassers im Kraftwerk findet nicht statt.

Ergebnisse

Chemische Untersuchungen

Parallel zu den biologischen Untersuchungen wurden vom chemischen Labor des Ruhrverbandes in Essen umfangreiche Untersuchungen zum Chemismus des Lennewassers gemacht, wobei schwerpunktmäßig der Sauerstoffhaushalt im Vordergrund stand.

Auf Grund der geringen organischen Belastung der Lenne im Untersuchungsabschnitt, der relativ niedrigen Wassertemperatur (Biggezufluß) und des hohen Luftsauerstoff-Eintrags auf den Fließstrecken lag weder eine signifikante Beeinflussung des Sauerstoffhaushaltes noch der übrigen chemischen Parameter durch die Abwärme des Kraftwerkes Elverlingsen vor.

Wassertemperatur

Bei einer mittleren Wasserführung von ca. 20 m³/s wird das aus dem Auslaufpflanz austretende Wasser von der im Fluß verbleibenden Wassermenge an die linke Flußseite gedrückt. Somit liegt auf der linken Flußseite eine 10 bis 15 Meter breite Warmwasserfahne vor, die sich parallel zu einer entsprechend breiten Kaltwasserfahne hinzieht. Die Durchmischung der beiden Wasserkörper wird durch die vom Auslaufpflanz in 500 Metern Entfernung liegende Insel verzögert. Bei Niedrigwasser wird die gesamte Lenne zu Kühlzwecken benutzt.

Für den Zeitraum Januar 1973 bis Dezember 1975 ergaben sich folgende mittlere Lennetemperaturen:

Oberhalb Kraftwerk:	9,2° C
Auslauf Kraftwerk:	15,7° C
Unterhalb Kraftwerk:	13,5° C
(nach Durchmischung)	

Danach lag die Lennetemperatur am Auslauf im Mittel rund 6,5° C höher als an dem oberhalb des Kraftwerkes liegenden Untersuchungspunkt Biesenberg (Abb. 2).

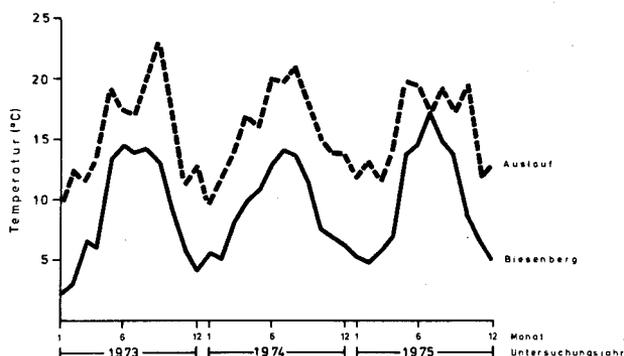


Abb. 2:
Lennetemperaturen
(Monatsmittel) in
den Jahren 1973 bis
1975 am
Untersuchungspunkt
Biesenberg (oberhalb
KW) und Auslauf.

Die Aufheizung der Lenne ist an den Arbeitsrhythmus des Werkes gebunden, so daß es innerhalb eines Tages unterhalb des Kraftwerkes mindestens zu einer Aufheizungs- und Abkühlungsphase (Betriebsanfang, Betriebsende) kommt.

So betrug z. B. für die Zeit vom 1. 6. bis 30. 11. 1974 die mittlere Aufheizdauer 12,6 Stunden, wobei die mittlere Temperaturerhöhung auch in 500 Metern Entfernung vom Auslauf in der Warmwasserfahne immerhin noch 7,2° C ausmachte.

Kurzfristige Temperaturerhöhungen bis zu 13° C traten zwar sehr selten auf, sind aber dennoch unbedingt zu berücksichtigen. Die Aufheizungs- bzw. die Abkühlungszeitspannen lagen zwischen 10 und 25 Minuten.

Artenfehlbetrag und Dominanz

Der große deutsche Limnologe August Thienemann, der übrigens als einer der ersten auch sauerländische Fließgewässer erforschte, stellte in der „2. Thienemannschen Regel“ fest, daß jede Entfernung der Lebensbedingungen eines Biotops vom Normalzustand — im vorliegenden Fall durch Temperaturerhöhung — mit einem zahlenmäßigen Rückgang des ihm zugehörigen Artenbestandes verbunden ist (Thienemann 1939). Berechnet man den Artenfehlbetrag (= Anzahl der Tiere, die zwar oberhalb der Einleitungsstelle, jedoch nicht unterhalb vorkommen), so kommt man im Lenneuntersuchungsgebiet für die wichtigsten größeren Wirbellosen zu Artenfehlbeträgen bis zu 65 % unterhalb der Warmwassereinleitung (siehe Tabelle 1).

Tierart bzw. Gattung	Untersuchungspunkte			
	Bs	Ba	As	Bd
<i>Polycelis nigra</i>	x	x		
<i>Glossiphonia complanata</i>	x			
<i>Herpobdella octoculata</i>	x	x	x	x
<i>Baetis spec.</i>	x	x	x	x
<i>Ephemerella ignita</i>		x		x
<i>Epeorus sylvicola</i>	x	x		x
<i>Dinocras cephalotes</i>	x			
<i>Chloroperla spec.</i>	x			
<i>Isoperla spec.</i>	x			
<i>Nemoura spec.</i>	x		x	
<i>Protonemura spec.</i>	x	x		
<i>Nemurella picteti</i>	x			
<i>Nepa rubra</i>	x			
<i>Sialis lutaria</i>	x	x		x
<i>Hydropsyche pellucidula</i>	x	x	x	x
<i>Polycentropus flavomaculatus</i>	x	x	x	x
<i>Rhyacophila nubila</i>				x
<i>Limnophilus spec.</i>	x	x	x	x
<i>Anabolia nervosa</i>	x			
<i>Tipula lateralis</i>	x	x	x	
<i>Agrion splendens</i>	x			
<i>Radix balthica</i>	x			
Artenfehlbetrag (%)		45	65	55

Tabelle 1: Der Artenfehlbetrag an den Untersuchungspunkten Ba (nur bei Niedrigwasser aufgeheizt), Bd (500 m unterhalb des Auslaufes in der Warmwasserfahne) und As (= 50 m unterhalb des Auslaufpflzes). Berechnet nach K o t h e 1962.

Vergleicht man die Dominanzgrade der verschiedenen Tiergruppen (-arten) an den einzelnen Untersuchungspunkten, so weist lediglich der oberhalb des Kraftwerkes gelegene, und damit thermisch unbeeinflusste Punkt Biesenberg (Bs) ein charakteristisches Dominanzspektrum auf: dominante Arten (Gruppen) sind in geringer Anzahl, Nebenarten und subzedente Arten jedoch in starkem Maße vertreten (Tabelle 2).

Anders sieht das Bild am Untersuchungspunkt Auslauf (As) aus, wo mehrere Arten hohe Individuenabundanzen haben und nur zwei Arten zu den Nebenarten zu zählen sind.

Dominanzklassen	U n t e r s u c h u n g s p u n k t e			
	Biesenberg	Bauer	Auslauf	Bahndamm
Dominante Arten (>5 %)	Hydropsyche Chironomidae	Hydropsyche Chironomidae Herpobdella	Hydropsyche Chironomidae Herpobdella Baetis	Hydropsyche Ceratopogonidae Herpobdella
Begleitarten (5—1 %)	Baetis	Protonemura Ceratopogonidae		
Nebenarten (<1 %)	Sialis Ceratopogonidae Herpobdella Epeorus Protonemura Limnophilus Nemoura Chloroperla Polycentropus	Nemoura Polycentropus Limnophilus	Polycentropus Limnophilus	Baetis Polycentropus Limnophilus Rhyacophila

Tabelle 2: Die an den Untersuchungspunkten gefundenen Tierarten (Tiergruppen) und ihre Dominanzklassenzugehörigkeit.

Zu den dominanten Gruppen zählen oberhalb des Kraftwerkes *Hydropsyche* und *Chironomiden*-Larven, während in den thermisch beeinflussten Bereichen der Egel *Herpobdella octoculata* mit einem sehr hohen Dominanzgrad hinzukommt (Auslauf 22,6 %). *Herpobdella* gehört oberhalb des Kraftwerkes mit 0,3 % zu den Nebenarten.

Abundanzen der Köcherfliegenlarve *Hydropsyche pellucidula*

Auffallend in ihrem zahlenmäßigen Vorkommen war während der Untersuchungs-jahre im Lennegebiet die Köcherfliegenart *Hydropsyche pellucidula*, die hin und wieder oberhalb des Kraftwerkes mit bis zu 3000 Larven pro Quadratmeter vertreten war. Tabelle 3 zeigt die mittleren Abundanzen der beiden frequenzstärksten Arten *Hydropsyche pellucidula* und *Herpobdella octoculata*.

	Oberhalb Kraftwerk		Auslauf	
	1974	1975	1974	1975
Herpobdella	3,3	3,9	1,8	5,7
Hydropsyche	359	435	151	106

Tabelle 3: Mittlere Abundanzen der beiden frequenzstärksten Arten von 1974 und 1975. Monatliche Untersuchungen. Geometr. Mittelwerte.

Der Einfluß des warmen Auslaufwassers auf die *Hydropsyche*-Abundanz konnte im Untersuchungsjahr 1975 sehr gut registriert werden:

In den Monaten Februar bis Juni 1975 lag die *Hydropsyche*-Abundanz unterhalb des Auslaufes zwischen 32 und 112 Larven/m². Bedingt durch den Generatorenstillstand von Mitte Juli bis Ende August wurden am Ende dieser Urlaubsphase dort 1808 Lar-

ven pro Quadratmeter nachgewiesen. Dagegen waren am 29. 9. 1975 — rund vier Wochen nach der Betriebspause — nur noch 88 Larven auf der gleichen Fläche festzustellen. Wie Felduntersuchungen und umfangreiche Laborversuche mit simulierten Lennetemperaturen zeigten, ist die Hauptursache der niedrigen Hydropsyche-Abundanz im warmen Auslaufbereich in einer durch die Schocktemperaturen bewirkten Drifterhöhung zu suchen.

Die durch den Anfahr- bzw. Ausfahrbetrieb des Kraftwerkes bedingten plötzlichen Temperaturerhöhungen oder Temperaturerniedrigungen rufen bei dieser Köcherfliegenart eine atypische Drift hervor, die man als Fluchtdrift bezeichnen kann.

Larvalentwicklung und Flugzeit der Köcherfliege *Hydropsyche pellucidula* Curt.

Wie eingangs dargestellt, lag die mittlere Lennetemperatur am Auslauf $6,5^{\circ}\text{C}$ höher als oberhalb des Kraftwerkes. Besonders auffallend waren die Temperaturerhöhungen während der Wintermonate, wenn die Normaltemperatur z. B. 2°C , die Auslauftemperatur aber bei 12 oder — was auch mehrfach gemessen wurde — bei 15°C lag. Diese hohen Wassertemperaturen während der Wintermonate können sich bei aquatilen Fluginsekten auf die Entwicklungsgeschwindigkeit und Flugzeit auswirken, wie nachstehend am Beispiel der Köcherfliegenart *Hydropsyche pellucidula* Curt. — dominierender Benthorganismus im Untersuchungsgebiet — gezeigt wird.

Köcherfliegenlarven der Gattung *Hydropsyche* bauen zum Nahrungserwerb vor ihren Wohnröhren fingernagelgroße Fangnetze, mit denen sie organisches Material, z. B. Eintagsfliegenlarven oder Chironomidenlarven aus dem Wasser „herausfischen“. Diese Fangnetze werden jedoch erst oberhalb einer Wassertemperatur von 8°C gebaut. Normalerweise fallen die Larven bei Wassertemperaturen unter 5°C während der Wintermonate in ein Ruhestadium, während dessen sie regungslos unter den Bachsteinen liegen und höchstwahrscheinlich keine Nahrung zu sich nehmen. Stark erhöhte Wassertemperaturen im Verlauf der Wintermonate bewirken, daß die Larven kein Ruhestadium einzulegen brauchen und ohne Unterbrechung ihre Larvalzeit beenden können. Wohl infolgedessen befanden sich in der Nähe des Auslaufs innerhalb der Warm-

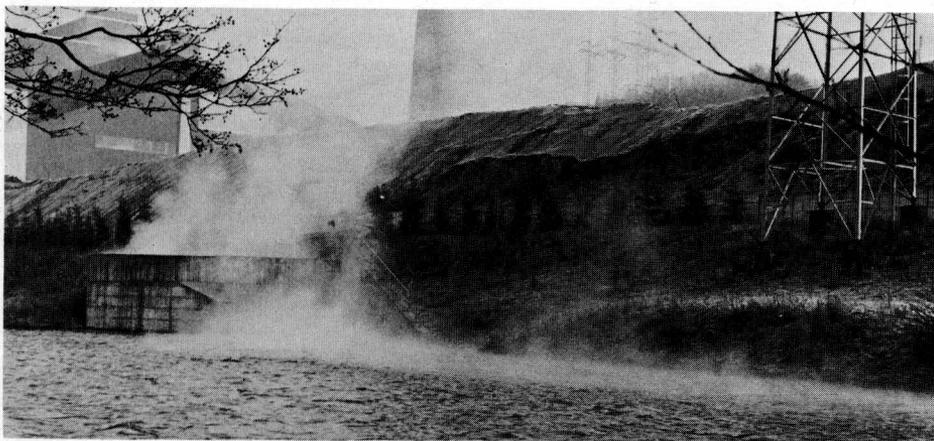


Abb. 3: Kühlwasserauslauf mit „Auslaufpilz“. Dichte Dampfschwaden stehen über dem warmen Auslaufwasser.

Foto: Fey

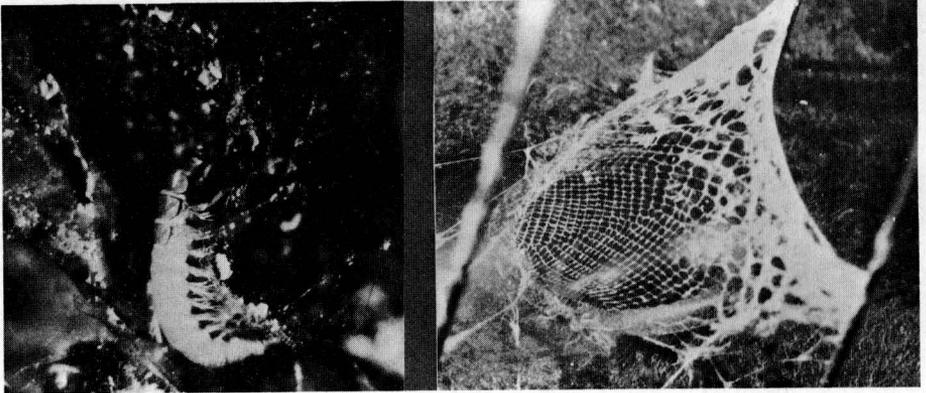


Abb. 4: Links *Hydropsyche*-Larve beim Abweiden des Fangnetzes; rechts Fangnetz einer *Hydropsyche*-Larve.

wasserfahne im Februar rund 80 % der Larven im 5. Larvenstadium (letztes Larvenstadium). Dagegen waren oberhalb des Kraftwerkes 80 % der Larven erst im dritten Larvenstadium.

Im Verlauf einer Untersuchung am 11. 12. 1975 fiel innerhalb von 2 Stunden der Wasserstand der Lenne um rund 30 Zentimeter, so daß besonders die ufernahen Bereiche gut untersucht werden konnten. Dabei wurde festgestellt, daß sich rund 70 % der gefundenen *Hydropsyche*-Individuen bereits verpuppt hatten, während oberhalb des Kraftwerkes die ersten Puppengehäuse erst Ende Juni feststellbar sind. Zahlreiche frisch verlassene Puppengehäuse sowie einige beim Schlüpfvorgang verendete *Hydropsyche*-Imagines konnten ebenfalls registriert werden. Die Einlauftemperatur betrug an diesem Tag 3,8° C, die Auslauftemperatur 15° C und die mittlere Lufttemperatur 5,8° C.

Bei anderer Gelegenheit zeigten sich — ebenfalls im Februar 1975 — in der Nähe des Auslaufs einige Imagines, die regungslos auf Steinen oder Zweigen saßen. Später durchgeführte Kontrollversuche in einer Klimakammer unter entsprechenden meteorologischen Bedingungen bestätigten den Verdacht, daß die Imagines bei den im Februar üblichen Lufttemperaturen kurz nach dem Schlüpfen absterben.

Schocktemperaturen und Schlüpfrate

	Temperaturschockversuche		
	15° C—25° C—15° C/4h	15° C—25° C—15° C/12h	10° C—25° C—10° C/4h
Einsatz	100 % Larven	100 % Larven	100 % Larven
tot { La.	— } 27,8 %	33,0 %	33,0 %
Pu.		67,0 %	67,0 %
Schlüpfrate	72,2 %	40,0 %	16,7 %

Tabelle 4: Beeinflussung der *Hydropsyche*-Emergenz durch Temperaturschocks. Länge der Phasendauer jeweils 4 bzw. 12 Stunden.

Ausgehend von den an verschiedenen Punkten unterhalb des Auslaufs registrierten täglichen abrupten Temperaturänderungen wurden in zahlreichen Schockversuchen

diese Temperaturbedingungen im Labor simuliert. Bei diesen Versuchen waren Larven des 5. Stadiums Wassertemperaturen ausgesetzt, die alle 4 bzw. 12 Stunden zwischen 15 und 25° C sowie alle 4 Stunden zwischen 10 und 25° C wechselten. Auffallend war (siehe Tabelle 4), daß bei diesen Schockversuchen — im Gegensatz zu den Kontrollversuchen (konstante Temperaturen) — ein erheblicher Prozentsatz der eingesetzten Larven im Laufe der Larvalentwicklung und während des Puppenstadiums verendeten.

Für die Tatsache, daß besonders viele Individuen während des Puppenstadiums verendeten, gibt es naheliegende Erklärungen (z. B. erhöhter Sauerstoffbedarf, Erhöhung der gesamten Stoffwechselaktivität etc.) wengleich die beweisenden Versuche hier noch ausstehen.

Deutlich wird bei diesen Versuchen, daß die Schlüpftrate in starkem Maße von den Temperaturschocks betroffen und hierbei von drei Faktoren beeinflusst wird:

1. Höhe der Ausgangstemperatur
2. Temperaturerhöhung und
3. Phasendauer.

Diskussion

Der von anderen Forschern auf Grund zahlreicher Laborversuche erhobene Verdacht, daß es durch eine künstliche Erhöhung der Wassertemperatur zu einer Vorverlegung der Schlüpftermine bei aquatilen Insekten kommen kann, konnte an der Lenne für die Trichopterenart *Hydropsyche pellucidula* C u r t. einwandfrei bestätigt werden. Verantwortlich ist hierfür die Verkürzung bzw. der Fortfall des Ruhestadiums während der Wintermonate, in dem die Larven normalerweise wegen der niedrigen Wassertemperatur keine Mobilität zeigen und in einer Kältestarre ohne große Nahrungsaufnahme überdauern. Mit steigender Wassertemperatur ändert sich das Verhalten der Larven jedoch dahingehend, daß neben einer Zunahme der allgemeinen Mobilität ab 10° C die zum Nahrungserwerb benötigten Fangnetze gebaut werden, deren Struktur im übrigen auch noch von der Wassertemperatur bzw. den Schocktemperaturen beeinflusst wird (F e y u. S c h u h m a c h e r 1978).

R u p p r e c h t (1975) befürchtet, daß es durch die Vorverlegung der Schlüpftermine zum Aussterben von Tierarten kommen kann. Zwar sterben im Lenneuntersuchungsgebiet die im Februar geschlüpften Imagines wegen der unpassenden klimatischen Verhältnisse ab, jedoch fällt dieser Prozentsatz wegen der starken Abundanzen oberhalb und weiter unterhalb des Kraftwerkes nicht ins Gewicht, wenn man die *Hydropsyche*-Population des gesamten Gebietes betrachtet. Auffallend ist in dem stark erwärmten Flußbereich unterhalb des Auslaufes das Fehlen von kaltstenothermen Organismen wie z. B. *Epeorus*, *Dinocras*, *Polycelis* u. a., sowie das starke Vorkommen von *Herpobdella* und der gleichzeitige Rückgang von *Hydropsyche pellucidula*. Fischereibiologisch dürfte dies negativ zu bewerten sein, da *Herpobdella* von Fischen bekannterweise nicht als Nahrung aufgenommen wird, während *Hydropsyche* ein hochwertiges Fischnährtier darstellt.

Anhand der im Untersuchungsgebiet gewonnenen Ergebnisse ist ebenfalls deutlich geworden, daß die Hauptgefahr einer Aufheizung unserer Gewässer weniger in der Aufheizung als solcher, sondern vielmehr in den damit verbundenen sehr plötzlichen

Temperaturänderungen zu suchen ist. Auf die Gefahr dieser plötzlichen Temperaturschocks für die Fließwasserorganismen ist bislang nur von sehr wenigen Autoren hingewiesen worden (für Fische siehe Elster 1968). Es ist unbedingt notwendig, abschließend noch einmal daraufhinzuweisen, daß die Untersuchungen an einem relativ sauberen Mittelgebirgsfluß durchgeführt wurden, an dem der Temperatureinfluß isoliert, d. h. ohne eventuelle Störeinflüsse durch organische Belastung, betrachtet werden konnte.

Die geplanten und im Bau befindlichen Kraftwerke, die heute in der Regel Leistungen von über 1000 MW vorweisen, liegen dagegen durchweg an stärker belasteten Gewässern. Bei diesen Flüssen ist zu beachten, daß neben den Aufheizeffekten noch die zahllosen meist negativen Wechselwirkungen zwischen der Temperatur, der jeweiligen Belastung und der Biozönose hinzukommen.

Von besonderem Interesse ist für die Lenne die Abwärmefrage bei dem im Gespräch stehenden Kraftwerk „Siesel“. Die Abführung der Abwärme über den Vorfluter Lenne ist auf Grund der Aufheizeffekte durch das Kraftwerk Elverlingsen aus ökologischer Sicht nicht mehr möglich.

Literatur

- Countant, C. C. und Pfuderer, H. A.: Thermal effects. — J. Wat. Poll. Cont. F. 46 (6): 1476—1540, 1974.
- Countant, C. C. und Talmage, S.: Thermal effects. — J. Wat. Poll. Count. F. 47 (6): 1656—1711, 1975.
- Deters, E.: Limnologische Probleme der sogenannten thermalen Verunreinigung. — Univ. Bonn 1972.
- Elster, H. J.: Einige limnologische und fischereiliche Gesichtspunkte zur Aufheizung unserer Fließgewässer durch Kühlwasser-Einleitungen. — Fischwirt Heft 17—19: 298—307, 1968.
- Fey, J. M.: Die Aufheizung eines Mittelgebirgsflusses und ihre Auswirkungen auf die Zoozönose — dargestellt an der Lenne (Sauerland). — Archiv f. Hydrobiol., Suppl. 53 (3): 307—363, 1977.
- Fey, J. M. und Schuhmacher, H.: Zum Einfluß wechselnder Temperatur auf den Netzbau von *Hydropsyche pellucidula* (Trichoptera, Hydropsychidae). — Ent. Germ. 4 (1): 1—11, 1978.
- Krenkel, P. A. und Parker, F. L.: Biological aspects of thermal pollution. — Vanderbilt University Press, Nashville 1969.
- Kothe, P.: Der „Artenfehlbetrag“, ein einfaches Gütekriterium und seine Anwendung bei biologischen Vorfluteruntersuchungen. — Deutsche Gewässerkundl. Mittl. 6 (3): 60—65, 1962.
- Rupprecht, R.: The dependence of emergence-period in insect larvae on water temperature. — Verhandlungen Int. Ver. Limnol. 19: 3057—3063, 1975.
- Thienemann, A.: Grundzüge einer allgemeinen Ökologie. — Arch. Hydrobiologie 25: 267—285, 1939.

Anschrift des Verfassers:

Dr. J. Michael Fey, Berliner Straße 50, 5880 Lüdenscheid