

EINFLUSS DER VERUNREINIGUNG AUF DIE PRODUKTION DER EPHEMEROPTEREN EINES FORELLENBACHES

MILOŠ ZELINKA

Zoologisches Institut, Universität J. E. Purkyně,
Kotlářská 2, 611 37 Brno, Tschechoslowakei

In den vorigen Arbeiten (ZELINKA, 1969, 1973) sind die Ergebnisse der Studien der Abundanz, Biomasse und Produktion der Eintagsfliegen in reinen Forellenbächen angeführt. Viele Forellenbäche sind aber heute mehr oder weniger durch die Siedlungsabwässer verunreinigt. Aus den saprobiologischen Arbeiten ist die saprobielle Valenz verschiedener Arten der Ephemeropteren im ganzen gut bekannt. Uns handelte es sich um die Feststellung, wie sich der Einfluss des verschiedenen Grades dieser Verunreinigung auf die Produktion der Eintagsfliegen ausdrückt. Einige von den Fischereiwirtschaftlern sind der Meinung, daß mäßige organische Verunreinigung des Wassers eines Forellenbaches zur Steigerung der benthischen Nahrung und damit der Produktion der Forellen führt. Diese Ergebnisse können auch zur Präzisierung der saprobiologischen Klassifikation der fließenden Gewässer beitragen. Darum haben wir auf die vorigen Studien der Ephemeropteren in den reinen natürlichen Forellenbächen angeknüpft und in den Jahren 1972–1974 haben wir einen, durch Siedlungsabwässer verunreinigten Forellenbach, untersucht.

Als Forschungsobjekt haben wir den Bach „Bílý potok“ gewählt. Dieser Bach (Ostabhänge der Böhmischemährischen Höhe) hat sehr ähnliche Lebensbedingungen (Durchflüsse, Temperatur, Gefälle usw.) wie die Forellenbäche der Beskiden und unterhalb der Gemeinde Velká Bíteš (etwa 40 km westlich von Brno) ist er bis polysaprob. Durch sukzessive Selbstreinigung ist es ungefähr nach 10 km wieder die Oligosaprobität erreicht. Die Lebensgemeinschaft ist hier praktisch gleich, wie in den reinen Bächen der Beskiden. Die physikalische und chemische Charakteristik siehe Tab. I. Ähnlich wie in den Beskiden, handelt es sich um einen Forellenbach — epirhithron sensu ILLIES (1961). Früher war der ganze Bach durch Forellen besiedelt. Jetzt sind sie nur oberhalb der Verunreinigungsquelle und in dem oligosaproben Abschnitt. Es fehlt aber die Groppe.

A. Polysaprobität — 0,5 km unterhalb der Verunreinigungsquelle (Velká Bíteš)

Chemisch ist dieser Abschnitt in der Tabelle I charakterisiert. Die Werte des BSB_5 sind bei den sommerlichen Durchflußmängen über 12 mg/l O_2 , der Sauerstoffgehalt ist gleichzeitig unter 5 mg/l. Dieses und auch die Werte NH_4 beweisen große organische Verunreinigung. Häufig ist hier *Sphaerotilus natans*. Das dauerhafte Leben der Ephemeropterenarten eines Forellenbaches ist damit unmöglich. Wir haben hier die Larven der 6 Arten gefunden, sämtlich nur sehr selten und immer nur im Frühling nach den Wasserfluten. Es waren die Larven der Arten *Baetis rhodani*, *Habrophlebia fusca*, *H. lauta*, *Paraleptophlebia submarginata*, *Ephemerella ignita* und *Ecdyonurus* sp. juv. vertreten (Tab. II). Alle

Tabelle I

Physikalische und chemische Charakteristik des Baches Bílý potok

Lokalität Angabe	Oberhalb der Verunreinigung		Unterhalb der Verunreinigung					
			A. Velká Bíteš		B. Křovi		C. Šmelcovna	
	\bar{x}	Max.	\bar{x}	Max.	\bar{x}	Max.	\bar{x}	Max.
pH	7,25	7,7	7,35	8,2	7,6	8,3	7,9	8,5
Azidität mval/l	0,12	0,19	0,17	0,36	0,11	0,24	0,07	0,18
Alkalität mval/l	1,69	4,30	2,43	4,20	2,25	3,95	1,67	2,40
ges. Härte °d. H.	9,34	10,90	10,23	11,20	9,76	10,60	9,06	10,10
NH ₄ mg N/l	0,34	1,70	5,50	18,40	3,89	13,20	0,60	1,33
NO ₂ mg N/l	0,026	0,070	0,119	0,275	0,109	0,230	0,033	0,095
NO ₃ mg N/l	3,91	10,4	2,93	10,0	3,30	9,3	3,22	8,0
PO ₄ mg P/l	0,039	0,088	0,118	0,192	0,121	0,199	0,073	0,127
O ₂ mg/l	10,52	12,7	7,58	11,2	9,76	12,9	10,72	13,6
Sättigung %	82,7	91,5	62,5	85,5	79,3	110,3	89,1	96,2
BSB ₅ mg O ₂ /l	2,40	2,72	6,86	12,60	2,99	4,20	2,69	2,91
Wassertemperatur °C	6,6	16,7	7,6	19,4	8,0	20,5	8,7	18,9
Gefälle ‰	7	—	9	—	7	—	8	—
Seehöhe	460	—	455	—	430	—	340	—
Lufttemperatur °C	6,5	—	6,5	—	7,0	—	7,5	—

Tabelle II

Vergleich der Vertretung der Eintagsfliegen in verschiedenen Saprobitäten des Baches Bílý potok. (Mittelwerte auf die ganze Bodenfläche des Baches).

Taxon	A. Velká Bíteš		B. Křovi		C. Šmelcovna	
	durchschnittliche Jahres-					
	ab. Ind./m ²	biom. mg/m ²	ab. Ind./m ²	biom. mg/m ²	ab. Ind./m ²	biom. mg/m ²
<i>Ephemera danica</i>	0	0	0,3	6,0	6,3	239
<i>Ecdyonurus</i> sp. div.	0,2	2,0	8,5	57,9	101,2	784
<i>Ec. dispar</i>	0	0	0	0	0,04	1
<i>Heptagenia lateralis</i>	0	0	0,2	1,0	0,2	1
<i>Epeorus sylvicola</i>	0	0	0	0	52,2	679
<i>Rhithrogena semicolorata</i>	0	0	0	0	367,8	1864
<i>Baetis muticus</i>	0	0	0	0	64,8	73
<i>B. rhodani</i>	3,1	2,8	290,3	615,5	688	1146
<i>B. vernus</i>	0	0	54,0	97,2	49,8	39
<i>B. lutheri</i>	0	0	0	0	2,3	1
<i>Centroptilum luteolum</i>	0	0	0	0	0,5	1
<i>Baetis fuscatus</i>	0	0	0,8	0,5	0	0
<i>Procladius bifidus</i>	0	0	0	0	0,1	—
<i>Paraleptophlebia submarginata</i>	0,6	2,8	0	0	2,9	20
<i>Habrophlebia fusca</i>	0,9	3,0	0	0	0,3	1
<i>H. lauta</i>	0,6	2,6	0	0	7,2	14
<i>Habroleptoides modesta</i>	0	0	0	0	38,7	136
<i>Ephemerella ignita</i>	0,4	1,8	7,5	24,0	14,8	38
<i>Torleya major</i>	0	0	0	0	0,4	1
<i>Caenis macrura</i>	0	0	1,1	0,9	2,7	6
S	5,8	15,0	362,7	802,0	1400	5044
S der Taxonen	6	—	8	—	19	—

Larven lebten hier nur kurze Zeit. Insgesamt handelt es sich um Arten, die in dem Bach oberhalb und auch unterhalb der Verunreinigung laufend sind. Die Mittelwerte binnen zwei Jahren der Untersuchungen betragen 6 Exemplare und 15 mg auf 1 m² des Baches. Am häufigsten war hier die Gattung *Baetis rhodani*. Weil es zum Absterben der Larven vor den Schlüpfen eingegangen war, ist hier die Produktion praktisch gleich Null.

Im ganzen ähnliche Verhältnisse haben wir auch in dem alfamesosaproben Abschnitt des Baches festgestellt. Darum kann man praktisch in der Alfamesosaprobität der Forellenbäche mit der Produktion der Eintagsfliegen nicht rechnen. Ganz bedeutungslose Zunahmen erreichen hier nur die Larven der Gattungen *Ephemerella ignita* und *Baetis rhodani*.

Tabelle III

Vergleich der Angaben in der Oligosaprobität beider Bächen

Angabe (Mittelwerte)	Lokalität	Forrellenbäche der Beskiden	Bílý potok Šmelcovna
Seehöhe		450	340
Gefälle ‰		9	8
Durchflussmenge l/sec.		160	280
Lufttemperatur °C		6,0	7,5
Bodencharakter		steinig	steinig
pH		7,9	7,9
ges. Härte° d. H.		8,40	9,06
O ₂ mg/l (Sättigung %)		10,9 (96)	10,7 (89)
NH ₄ mg N/l		0,05	0,60
NO ₂ mg N/l		0,005	0,033
NO ₃ mg N/l		1,24	3,22
PO ₄ mg P/l		0,012	0,073
BSB ₅ mg O ₂ /l		1,95	2,69
EPHEMEROPTERA — Abundanz %			
<i>Ephemera danica</i>		0,60	0,45
<i>Ecdyonurus</i> sp. div.		14,80	7,24
<i>Heptagenia lateralis</i>		1,26	0,01
<i>Rhithrogena semicolorata</i>		18,31	26,28
<i>Epeorus sylvicola</i>		2,63	3,74
<i>Habrophlebia lauta</i>		4,80	0,51
<i>H. fusca</i>		0	0,02
<i>Habroleptoides modesta</i>		7,96	2,77
<i>Paraleptophlebia submarginata</i>		0,41	0,21
<i>Baetis muticus</i>		4,40	4,56
<i>B. rhodani</i>		32,15	49,22
<i>B. fuscatus</i>		1,16	0
<i>B. vernus</i>		0	3,55
<i>B. lutheri</i>		0	0,17
<i>B. alpinus</i>		3,53	0
<i>B. niger</i>		0,01	0
<i>Procladius bifidus</i>		0	0,01
<i>Centroptilum luteolum</i>		0,79	0,04
<i>C. pennulatum</i>		0,12	0
<i>Ephemerella ignita</i>		2,69	1,00
<i>Ep. krieghoffi</i>		0,30	0
<i>Torleya major</i>		3,13	0,03
<i>Caenis macrura</i>		0,97	0,19
S der Taxonen		19	18
Saprobität		oligo-	oligo-

B. Betamesosaprobität — 3 km unterhalb der Verunreinigungsquelle (Křoví)

Dank den Selbstreinigungsvorgängen leben schon 3 km unterhalb der Verunreinigung ständig einige Eintagsfliegenarten. Dies ermöglichen hauptsächlich die Sauerstoffbedingungen; wir haben hier nie die Abnahme unter 6 mg/l festgestellt. Der Artenreichtum ist aber sehr gering (Tab. II). Binnen der Untersuchungen haben wir nur 8 Arten gefunden, von denen 4 Arten ganz sporadisch. Es ist darum so, weil die Lebensbedingungen einerseits weder das Leben der anspruchsvollen Arten der oligosaprobien Forellenbäche (*Rhithrogena semicolorata* u. a.), andererseits aber andere Lebensbedingungen (hauptsächlich die Temperatur und wahrscheinlich auch Nahrungsbedingungen), noch das Leben der Arten, die für die Betamesosaprobität der Barbenregionen typisch sind (*Potamanthus*, *Oligoneuriella* u. a.), erlauben.

Durchschnittliche Abundanz war hier nach den zweijährigen Untersuchungen 363 Individuen auf 1 m² (davon *Baetis rhodani* 290 Individuen) und die Biomasse 0,802 g/m². Das entspricht der Jahresproduktion von 7,414 g/m². Im Vergleich mit den Bedingungen in den Forellenbächen der Beskiden ist es nur um etwas mehr, als ein Viertel der möglichen natürlichen Produktion.

Die Verunreinigung durch Siedlungsabwässer, welche den Saprobienzustand in einem Forellenbach aus der Oligosaprobität auf die Betamesosaprobität ändert, bedeutet also wesentliche Verminderung der Individuenzahl und Produktion der Eintagsfliegen.

C. Oligosaprobität — 15 km unterhalb der Verunreinigungsquelle (Šmelcovna)

Wie ich schon beigebracht habe, ungefähr 10 km unterhalb der Verunreinigungsquelle hat der Bach wieder den oligosaprobien Charakter. In der Tab. III ist der Vergleich der chemischen Eigenschaften des Wassers und der Eintagsfliegenfauna der nicht verunreinigten Bäche der Beskiden und der sekundären Oligosaprobität des Baches Bílý potok angeführt. Aus der Tabelle geht hervor, daß die Artenzusammensetzung der Ephemeropteren in beiden Fällen fast gleich ist und daß auch die verhältnismäßige Vertretung der einzelnen Arten sehr ähnlich ist. Die Haupttaxonen sind wieder *Baetis rhodani*, *Rhithrogena semicolorata* und die Gattung *Ecdyonurus*, die in den Beskiden 75%, in dem Bach Bílý potok 83% der Gesamtabundanz umfassen.

Wesentliche Unterschiede sind jedoch in der Anzahl der Eintagsfliegenlarven (Tab. IV). Die Gesamtabundanz ist in dem Bach Bílý potok mehr als einmahl so hoch und die Biomasse ist um 70% höher (die Gattung *Baetis* ist hier mehr vertreten). Selbstverständlich bedeutet das auch

Tabelle IV

Vergleichung der Menge und der Produktion der Ephemeropteren in verschiedenen Saprobitätsstufen der Forellenbächen. (Mittelwerte aus mehrjährigen Untersuchungen).

Lokalität		Jahresdurchschnitt		
		Abundanz St./m ²	Biomasse g/m ²	Produktion g/m ² /Jahr
Bílý potok	A. Polysaprobität	(6)	(0,015)	0
	B. sekundäre Betamesosaprobität	363	0,802	7,414
	C. sekundäre Oligosaprobität	1400	5,044	48,826
Forellenbäche der Beskiden — primäre Oligosaprobität		681	2,972	24,316

höhere Produktion, die wir auf 48,826 g/m²/Jahr bewerten. Es ist um 100% mehr, als in den Bächen der Beskiden. In der Tab. V ist der Vergleich der Produktion der Haupttaxonen angeführt. Die Erhöhung war hauptsächlich bei den Arten *Rhithrogena semicolorata*, *Baetis rhodani* und aus den übrigen bei *Epeorus sylvicola*.

Woran liegt die Ursache der Steigerung der Biomasse und der Produktion, bei gleichartiger qualitativer Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft? Aus der Tab. III geht der wesentliche Unterschied in dem Gehalt der Grundnährstoffe zwischen den beiden Bächen hervor: des Gesamtstickstoffes ist im Bach Bílý potok um 567% und des Phosphors um 600% mehr. Das bedeutet eine wesentliche Steigerung der Primärproduktion, welche gleichzeitig gemessen war. Deshalb bin ich der Meinung, daß der Hauptgrund dieser hohen Eintagsfliegenproduktion die bessere Nahrungsbasis ist und zum Teil auch physikalische Bedingungen (etwas höhere Wassertemperatur und nicht so häufige heftige Wasserfluten). Ob auch die Konkurrenzbeziehungen den Einfluß haben, wird die verlaufende Bewertung der ganzen Benthosbiozönose zeigen.

Tabelle V

Vergleich der Produktion der Haupttaxonen

Bach	Forellenbäche der Beskiden 1966—1969			Bílý potok — Šmelcovna 1972—1974		
	Jahresmittelwerte					
	Abundanz St./m ²	Biomasse g/m ²	Produktion g/m ²	Abundanz St./m ²	Biomasse g/m ²	Produktion g/m ²
<i>Ecdyonurus</i> sp. div.	101	0,948	8,470	101	0,785	8,486
<i>Rhithrogena semicolorata</i>	125	1,043	9,982	368	1,864	17,767
<i>Baetis rhodani</i> cca 80% + <i>Baetis</i> sp. div. cca 20%	281	0,490	4,254	805	1,259	10,406
übrige Arten	174	0,491	4,446	126	1,136	12,167
S	681	2,972	24,316	1400	5,044	48,826

Nach bisherigen Ergebnissen der Erforschungen über die Zoobenthosproduktion der Forellenbäche geht also hervor, daß die erhöhte Konzentration des Stickstoffes und des Phosphors über die Primärproduktion zur höheren Eintagsfliegenproduktion führt. Die Artenzusammensetzung ändert sich dabei nicht. Freilich unter der Bedingung des hinreichenden Sauerstoffgehaltes, der zuständigen Wassertemperatur und anderer Lebensbedingungen, die für die Forellenbäche notwendig sind.

Mit Rücksicht auf diese quantitative Unterschiede, empfehle ich die Betamesosaprobität oder die Oligosaprobität, welche sich durch die Selbstreinigung unterhalb den Verunreinigungsquellen entwickelt, als sekundär bezeichnen.

Anmerkung. Die Produktion der Ephemeropteren war so kalkuliert, wie es in den Arbeiten ZELINKA, 1973, KUBIČEK et al., 1972, HELAN et al., 1973 beschrieben ist. Das sämtliche Material wurde monatlich gesammelt, gemessen und das Gewicht wurde aus den Kurven der Länge-Gewichtsverhältnisse abgerechnet. Alle Eintagsfliegenlarven wurden noch als Ganzes gewogen. Zwischen einzelnen Probenentnahmen wurde die Verschiebung der Längegruppen verfolgt und die Gewichtszunahme abgerechnet. Die Verluste sind mit 50% Zunahme des Gewichtes bewertet. In der Tab. VI sind die Produktionsangaben der drei Haupttaxonen in einzelnen Monaten angeführt. In allen Fällen sind die höchsten Zunahmen in den Frühlingsmonaten, die kleinsten nach dem Schlüpfen. Auffallend ist es besonders bei den Arten mit einer Jahresgeneration (*Rhithrogena semicolorata*). Bei *Baetis rhodani* und bei der Gattung *Ecdyonurus* sind geringe Zunahmen auch in der Mitte des Winters. Alles ist also sehr ähnlich, wie in den Bächen der Beskiden (ZELINKA 1973).

Sehr ähnlich ist auch das Verhältnis zwischen der durchschnittlichen Jahresbiomasse und Jahresproduktion:

	Beskiden	Bílý potok
<i>Baetis rhodani</i>	1 : 8,02	1 : 9,08
<i>Rhithrogena semicolorata</i>	1 : 8,84	1 : 9,53
<i>Ecdyonurus</i> sp. div.	1 : 8,25	1 : 10,81
\bar{x}	1 : 8,37	1 : 9,81

Die Steigerung dieses Verhältnisses auf dem Bach Bílý potok um 17% mag durch die größere Dichte der Ephemeropterenlarven und bessere Nahrungsbedingungen verursacht sein, zum Teil aber auch durch den möglichen Fehler bei diesen Berechnungen. Die Produktion auf der Lokalität B und der übrigen Arten (nur 22% der Gesamtbiomasse) wurde mittels des entsprechenden Koeffizienten oder des Mittelwertes berechnet.

Tabelle VI

Mittelproduktion der Ephemeropteren in einzelnen Monaten — Bílý potok, Šmelcovna

Taxon Monat	Mittelproduktion g/m ³				
	<i>Ecdyonurus</i> sp. div.	<i>Rhithrogena</i> <i>semicolorata</i>	<i>Baetis</i> <i>rhodani</i>	übrige Arten	S
I.	0,410	1,245	0,613	0,457	2,725
II.	0,755	1,376	1,099	0,982	4,212
III.	0,842	3,023	0,439	1,452	5,756
IV.	1,274	5,220	2,063	2,232	10,789
V.	0,798	2,267	0,510	1,678	5,253
VI.	0,548	0,618	0,234	0,583	1,983
VII.	0,577	0,073	0,739	1,203	2,592
VIII.	0,522	0,064	1,146	0,192	1,924
IX.	0,601	0,244	0,932	0,371	2,148
X.	0,749	0,916	0,924	1,427	4,016
XI.	0,767	1,470	0,940	0,822	3,999
XII.	0,643	1,251	0,767	0,768	3,429
\bar{x}	0,707	1,481	0,867	1,014	4,069
S/Jahr	8,486	17,767	10,406	12,167	48,826

SUMMARY

Influence of pollution on the production of mayflies in a trout stream

In this paper are presented the results of quantitative and productive studies of mayfly larvae in different saprobities of a trout stream. Polysaprobity and alpha-mesosaprobity are almost without production. In beta-mesosaprobity a depression was found at about 75 per cent of the natural state, while, on the contrary, a rise of about 100 per cent was found in secondary (eutrophicated) oligosaprobity. The causes and methods of the estimation of the production were discussed.

DISCUSSION

J. P. NILSSEN: The numbers of animals within different species living in various parts of your river may also be controlled by interspecific competitions, not only the saprobic quality. Is this interspecific competition included in your study?

M. ZELINKA: Der ganze Abschnitt des Baches hat beinahe denselben Charakter (Forellenregion — epirhithron) und ohne Verunreinigung ist die Zusammensetzung der Biozönose praktisch gleich, wie auch die Forschung oberhalb der Verunreinigung zeigte. Deshalb sind die saprobiologischen Verhältnisse massgebend, die interspezifische Konkurrenz ist hier überall beinahe gleich.

B. NAGELL: Do you think that the oxygen concentration of the water is the chief factor that influences the distribution of *Baetis* larvae in a polluted river? The species distribution would then mainly reflect the oxygen distribution in the river.

M. ZELINKA: Ich meine, dass die Sauerstoffkonzentration (die auch durch die Intensität der Zersetzungs Vorgänge beeinflusst ist) in diesem Falle massgebend ist, manchmal zwar indirekt. Sie kann zuerst z.B. die Primärproduktion beeinflussen, also die Nahrungsbedingungen. Auf einem längeren Abschnitt spielen auch die Temperaturbedingungen, Bodencharakter usw. eine wichtige Rolle.

B. NAGELL: Would it be meaningful to add to the water quality analysis the analysis of the bacterial content of the water, e.g. different types of *Coli* forms? It is perhaps possible that toxins from the bacteria can explain the absence of certain species?

M. ZELINKA: Es sind mir zwar keine Versuche in dieser Richtung bekannt, die Zahl der Colibakterien kann aber nicht einen direkten Einfluss auf die Absenz einiger Ephemeropterenarten haben. Es handelt sich nicht um Bakterien, welche für diese Insekten pathogen sind und ich zweifle über Spezifität der Toxinen auf einige Arten der Ephemeropteren. Die Zusammensetzung der Ephemeropterenbiozönose ist in der Betamesosaprobität und Oligosaprobität verschieden, obwohl in der Betamesosaprobität die Zahl der Colibakterien oft sehr niedrig ist. Ich habe das Auffressen der Bakterien (*Sphaerotilus*) durch Ephemeropterenlarven festgestellt.

LITERATUR

- HELAN J. et al. (1973). Production Conditions in the Trout Brooks of the Beskydy Mountains. *Folia Fac. sci. nat. Univ. Purkynianae Brunensis, Biol.*, 14, 4: 1-105.
- ILLIES J. (1961). Versuch einer allgemeinen biozönotischen Gliederung der Fließgewässer. *Internat. Rev. ges. Hydrobiol.*, 46: 205-213.
- KUBÍČEK F. et al. (1972). Research on two small trout streams. In: Kajak Z. et al.: Productivity problems of freshwaters, pp. 857-870, Warszawa—Kraków.
- SLÁDEČEK V. (1973). System of Water Quality from the Biological Point of View. *Ergebnisse der Limnologie*, 7: 1-218.
- ZELINKA M. (1969). Die Eintagsfliegen (*Ephemeroptera*) in Forellenbächen der Beskiden. I. Abundanz und Biomasse. *Folia Fac. sci. nat. Univ. Purkynianae Brunensis, Biol.* 25, 8: 157-168.
- , (1973). Die Eintagsfliegen (*Ephemeroptera*) in Forellenbächen der Beskiden. II. Produktion. *Hydrobiologia*, 42, 1: 13-19.