

## Subletale Schadstoffwirkungen auf ein Modell einer limnischen Nahrungskette

Karl-Ulrich Störkel und Winfried Lampert

An artificial two-step food chain for long term ecotoxicological experiments is described. The system consists of two chemostats for culturing algae (*Scenedesmus acutus*), a dilution unit, and three groups of experimental vessels with filter-feeders (*Daphnia magna*). One of the chemostats is contaminated with the testing substance. The algal suspension of the chemostats is continuously mixed with sterile filtered water, and pumped directly into the experimental vessels. The vessels for the test animals receive different combinations of algae and testing substance. 1. Algae and water are contaminated. This situation is a model of natural conditions of pollution. 2. Only the algae are contaminated. The effect of the food on the animals is measured. 3. For control, food and medium are uncontaminated. The system was tested with low concentrations of Phenol (3 mg/l) and Pentachlorophenol (0.1 mg/l). The effects on population growth of the daphnids and the changing of absorption of the algal suspension were measured. Both substances had significant effects. The sublethal effects were more pronounced in the combined situation, when food and water were contaminated. The remarkable loss of Phenol in the system was investigated.

*Daphnia magna*, flow-through system, food chain, phenolics, *Scenedesmus acutus*, water pollution.

### 1. Einführung

Zur Lösung ökotoxikologischer Fragestellungen werden in zunehmendem Maße Testverfahren benötigt, die über die Bestimmung der akuten Toxizität hinausgehen und erlauben, langfristige, subletale Wirkungen von Umweltchemikalien auf Ökosysteme zu erkennen.

Eine Möglichkeit, Ökosystemaren Gesichtspunkten bei der Entwicklung von Testsystemen gerecht zu werden, liegt in der Wahl von Verfahren, die sich auf die Simulation eines überschaubaren, aber funktionell wichtigen Ökosystemausschnittes beschränken. Ein solcher Ansatz bietet zwar nicht die Komplexität von ganzen Mikroökosystemen (KERSTING 1975, 1978); er vermeidet aber deren Problematik, die vor allem in der weiten Streuung der Ergebnisse und der geringen Reproduzierbarkeit liegt.

Für das Ökosystem eines stehenden Gewässers ist die Beziehung zwischen Primärproduzenten und filtrierenden Primärkonsumenten ein Ökosystemausschnitt von zentraler Bedeutung. Von LAMPERT (1976) wurde ein System entwickelt, das modellhaft diese Primär- und Sekundärproduktion simuliert und erlaubt, subletale Effekte von Chemikalien zu untersuchen. Der Aufbau eines weiterentwickelten Systems und erste Erfahrungen und Ergebnisse werden im folgenden vorgestellt.

Ein ins Wasser eingebrachter Schadstoff kann entweder nur die Algen beeinflussen oder nur die Daphnien oder beide Kompartimente. Im ersten Fall würde ein sublethaler Effekt auf die Daphnien durch die Veränderung des Futterangebots entstehen (indirekte Wirkung). Bei einer direkten Giftwirkung auf die Herbivoren kann das Gift über die Nahrung oder direkt über das Wasser aufgenommen werden. Das vorgestellte System erlaubt eine Abschätzung der Bedeutung, die die verschiedenen Wirkungsweisen für den gesamten Effekt haben.

### 2. Die Testapparatur

Die verwendeten Testorganismen *Scenedesmus acutus* und *Daphnia magna* befinden sich in einem offenen Durchflußsystem. Abb. 1 zeigt eine schematische Darstellung der Testapparatur. Zwei Chemostate (CH), mit gleichem Volumen und gleicher Durchflußrate, die unkontaminiert im steady state gleiche Algenmengen produzieren (vgl. Tab. 1), sorgen für eine konstante Primärproduktion. Sterilfiltrierte Nährlösung (NL) wird aus einem Reservoir über eine regulierbare Peristaltikpumpe (PP) in den Chemostaten befördert. Der Zufluß kann mit Hilfe einer Meßpipette (MP) kontrolliert werden. Die Nährlösung des einen Chemostaten wird mit der Testsubstanz kontaminiert. Im Überlauf (Ü) des Chemostaten kann der Effekt des Schadstoffes auf die Algen überprüft werden und mit der Kontrolle verglichen werden. Über Mikrodosierpumpen (MP), die von einem Steuergerät (ST) geschaltet werden, wird ein kleiner Teil des Chemostateninhaltes entnommen und einer größeren Menge sterilfiltrierten Wassers (W) zudosiert, das die Versuchsgefäße (VG) mit den Daphnien durchfließt. Wiederum ist nur eines der beiden Wasserreservoirs mit der Testsubstanz in der gleichen Konzentration wie die Nährlösung versetzt. Durch Schaumstofffilter in den Versuchsgefäßen (1800 ml Inhalt) wird ein Daphnienverlust verhindert. Die Überlaufeinrichtung der Versuchsgefäße ist in Abb. 1 nicht dargestellt.

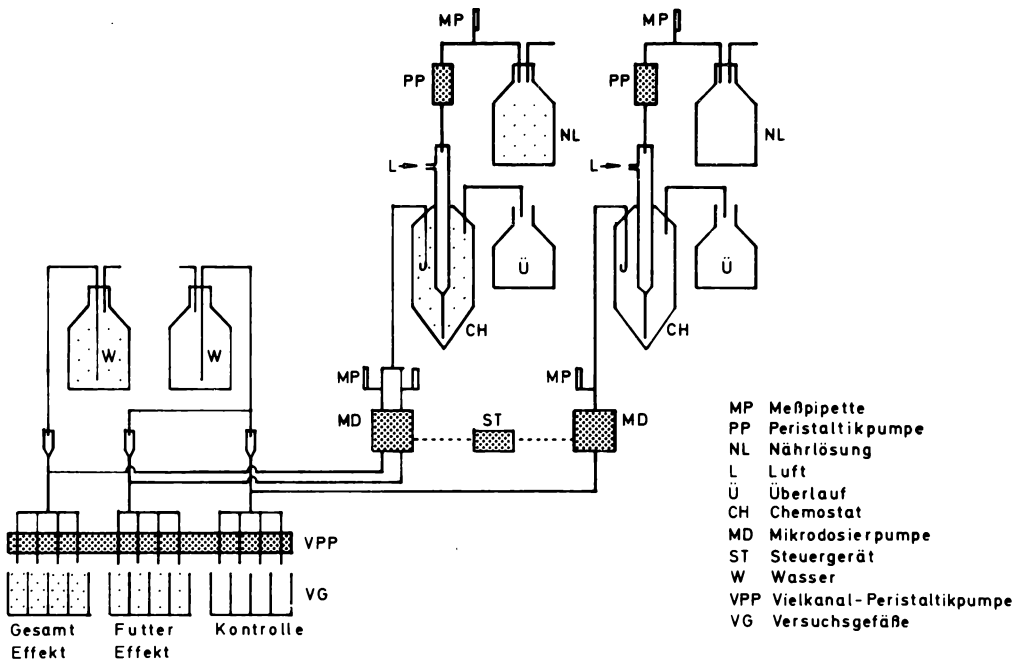


Abb. 1: Schematische Darstellung der Testapparatur.  
 Erläuterungen im Text.

Die Gefäße mit den Versuchstieren werden verschiedenen Kombinationen von Futteralgen und Testsubstanz ausgesetzt. Eine Vielkanal-Peristaltikpumpe (VPP) spaltet diese Kombinationen in jeweils vier Parallelen auf. In dem Ansatz für den Gesamteffekt stammen die Algen aus dem kontaminierten Chemostaten. Das Wasser ist ebenfalls kontaminiert. Diese Situation entspricht den natürlichen Bedingungen, unter denen die Kompartimente räumlich nicht getrennt sind. Die Tiere reagieren auf die qualitative und quantitative Veränderung des Futters durch die Chemikalie und auf die direkte Wirkung des Stoffes. In dem Ansatz für den Futtereffekt ist das Wasser unkontaminiert. Erfasst werden hier der Einfluß der veränderten Nahrungsbedingungen und des über das Futter applizierten Schadstoffes auf die Tiere. Der letzte Ansatz mit unkontaminiertem Wasser und Futter dient als Kontrolle.

Durch das Durchflußsystem ist eine kontinuierliche Zugabe der Testsubstanz möglich. Auch andere Schwierigkeiten statischer Systeme, wie z.B. die Anreicherung von Stoffwechsel-Endprodukten, werden vermieden. Das System simuliert eine konstante Primärproduktion, die nur von der Testsubstanz, nicht aber von der Zahl der Tiere abhängt. Die Futtermenge, die jedem einzelnen Tier zur Verfügung steht, ist jedoch abhängig von der Größe der Populationen in den Versuchsgefäßen. Das Populationswachstum findet daher unter futterlimitierten Bedingungen statt. Als Meßparameter für die Wirkung der Chemikalien sind Umfang und Trockengewicht der Daphnienpopulation nach einer bestimmten Zeit und das Extinktionsverhalten der Chemostaten gewählt worden.

Tab. 1: Extinktion der Algensuspension im steady state

Chemostat Nr.	Extinktion 720 nm	Standardabweichung	Zahl der Meßwerte
1	0.230	0.024	21
2	0.222	0.037	43
3	0.246	0.014	16
3 Phenol	0.240	0.022	23
4	0.219	0.021	43
4 PCP	0.185	0.015	14

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Verhalten der Chemostaten

Die Chemostate (Volumen 1.9 l) werden mit einer Durchflußrate von 1.5 l pro Tag betrieben. Die Algenkonzentrationen in den verschiedenen Chemostaten stimmen ohne Schadstoff gut überein (Tab. 1). Die Unterschiede sind auf dem 5%-Niveau nicht zu sichern. In zwei Versuchen wurden Chemostate mit Testsubstanzen kontaminiert: Phenol in einer Konzentration von 3 mg/l und Pentachlorphenol in einer Konzentration von 0.1 mg/l. Bei dem Zusatz von Phenol ergab sich keine signifikante Änderung der Extinktion der Algensuspension (720 nm). Die Zugabe von PCP führte dagegen zu einer signifikanten Abnahme der Extinktion.

Tab. 2: Populationswachstum von *Daphnia magna* bei unterschiedlichen Bedingungen (ohne Testsubstanz).

$\bar{x}$  = Mittelwert, s = Standardabweichung, V = Variationskoeffizient

Temperatur (°C)	Versuchsdauer (Tage)	Anfangsdichte	Trockengewicht (mg)	Zahl der Daphnien	Zahl der Eier	Eier pro Daphnie	
15	28	10	6.120	133	127	0.95	
			12.051	440	31	0.07	
			12.074	600	48	0.08	
			9.074	343	214	0.62	
			$\bar{x}$	9.830	379.0	105.0	0.43
			s	2.846	195.2	83.8	0.43
V	0.289	0.515	0.798	1.00			
20	21	10	16.306	229	499	2.18	
			9.343	250	161	0.22	
			18.964	690	333	0.48	
			12.497	323	391	1.21	
			$\bar{x}$	14.277	373.0	346.0	1.02
			s	4.227	215.1	141.2	0.87
V	0.296	0.577	0.408	0.87			
20	19	20	18.780	527	192	0.36	
			33.005	607	137	0.22	
			16.080	468	118	0.25	
			15.314	573	158	0.27	
			$\bar{x}$	20.795	543.7	151.2	0.27
			s	8.275	60.2	31.7	0.06
V	0.398	0.111	0.210	0.22			

#### 3.2 Populationswachstum von *Daphnia magna*

Es wurden drei Versuche mit der unkontaminierten Testapparatur bei unterschiedlichen Bedingungen durchgeführt (Tab. 2). Die eingesetzten Tiere waren bis zu 48 h alt. Es wurde mit jeweils vier Parallelen gearbeitet. Die Durchflußrate der Versuchsgefäße betrug ca. 900 ml pro Tag. Bei einer Versuchstemperatur von 15 °C muß die Versuchsdauer um ca. eine Woche länger sein als bei 20 °C, damit Daphnien in vergleichbarer Zahl entstehen. Eine Anfangsdichte von 20 Tieren pro Kulturgefäß hat zu günstigeren Ergebnissen geführt als ein Start mit 10 Tieren, da der Populationsumfang in den Parallelen dann einheitlicher wird. Gleiches gilt auch für die Parameter "Trockengewicht der Population" und "Eier pro Daphnie". Insgesamt ist jedoch die Variationsbreite der Parameter beträchtlich.

#### 3.3 Versuche mit Testchemikalien

Ein Testlauf mit Phenol (3 mg/l) und PCP (0.1 mg/l) hat deutliche Wirkungen auf die Populationsentwicklung von *D. magna* ergeben (Tab. 3, 4). In den Ansätzen für den Gesamteffekt hat bei Phenolzugabe keine Vermehrung stattgefunden. Aber auch die Populationen, die nur kontaminiertes Futter erhielten, sind erheblich geschädigt worden, wie ein Vergleich mit der Kontrolle zeigt. Alle Unterschiede sind signifikant. Die Zugabe von PCP hat weitgehend ähnliche Effekte ergeben. Bei den Ansätzen für den Gesamteffekt zeigte sich nur in einem Fall eine schwache Vermehrung. In den Ansätzen für den Futtereffekt ist der Unterschied der Gesamtzahl gegenüber der Kontrolle signifikant. Die Trockengewichtsunterschiede ließen sich dagegen nicht sichern.

**Tab. 3:** Populationswachstum von *D. magna* nach 21 Tagen bei Zugabe von Phenol (3 mg/l).

$\bar{x}$  = Mittelwert,  $s$  = Standardabweichung,  $v$  = Variationskoeffizient.

	Trocken- gewicht	Zahl der Daphnien	Zahl der Eier	Eier pro Daphnie
Futter- effekt	12.923	275	55	0.20
	9.421	174	6	0.03
	5.974	62	74	1.19
	5.761	60	136	2.27
$\bar{x}$	8.520	142.7	67.7	0.92
$s$	3.381	103.0	53.8	1.03
$v$	0.397	0.722	0.795	1.119
Gesamt- effekt	1.184	15	3	0.20
	1.355	15	7	0.47
	1.802	13	5	0.38
	0.911	6	0	0.00
$\bar{x}$	1.313	12.2	3.7	0.26
$s$	0.374	4.3	3.0	0.21
$v$	0.285	0.352	0.811	0.808
Kontrolle	38.228	1213	57	0.05
	25.003	1026	29	0.03
	24.280	980	31	0.03
	23.173	944	22	0.02
$\bar{x}$	27.671	1040.7	34.7	0.03
$s$	7.078	119.6	15.3	0.01
$v$	0.256	0.115	0.441	0.333

### 3.4 Verhalten von Phenol im Testsystem

Erste Untersuchungen konnten auch über das Verhalten der Testchemikalien in dem System gemacht werden. Auf Grund der begrenzten analytischen Möglichkeiten mußte jedoch eine Beschränkung auf Phenol erfolgen, das mit Hilfe der 4-Aminoantipyrin-Methode relativ leicht photometrisch bestimmbar ist. An sechs Stellen des Systems wurden Proben entnommen und analysiert: Am Ein- und Auslauf des Chemostaten, am

**Tab. 4:** Populationswachstum von *D. magna* nach 19 Tagen bei Zugabe von PCP (0.1 mg/l).

$\bar{x}$  = Mittelwert,  $s$  = Standardabweichung,  $v$  = Variationskoeffizient

	Trocken- gewicht	Zahl der Daphnien	Zahl der Eier	Eier pro Daphnie
Futter- effekt	13.743	408	31	0.07
	7.234	107	103	0.96
	8.422	163	33	0.20
	5.528	83	15	0.18
$\bar{x}$	8.732	190.2	45.5	0.35
$s$	3.546	148.9	39.2	0.41
$v$	0.406	0.782	0.861	1.171
Gesamt- effekt	0.000	0	0	0.00
	4.137	87	11	0.13
	0.221	2	0	0.00
	1.073	15	8	0.53
$\bar{x}$	1.358	26.0	4.7	0.16
$s$	1.910	41.2	5.6	0.25
$v$	1.406	1.584	1.191	1.562
Kontrolle	10.043	301	158	0.52
	25.091	756	188	0.25
	17.647	575	77	0.13
	10.490	376	29	0.08
$\bar{x}$	15.818	502.0	113.0	0.24
$s$	7.096	205.0	73.0	0.20
$v$	0.449	0.408	0.646	0.833

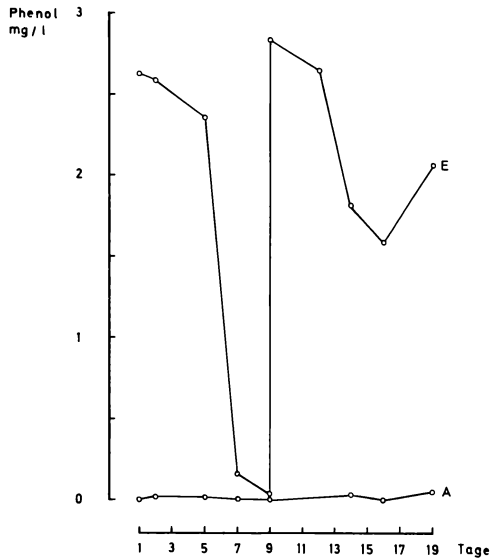


Abb. 2: Phenolkonzentration im Ein- (E) und Auslauf (A) des Chemostaten.

Ein- und Auslauf der Gesamteffekt-Populationen und am Ein- und Auslauf der Futtereffekt-Populationen.

Abb. 2 zeigt die Phenolkonzentration im Ein- und Auslauf des Chemostaten im Verlauf der Versuchsdauer. Auffallend ist der starke Substanzverlust innerhalb weniger Tage. In dem Überlauf des Chemostaten konnte kein freies, gelöstes Phenol nachgewiesen werden. Der Wiederanstieg der Konzentrationen im Einlauf hängt mit dem Auffüllen des Nährlösungsreservoirs zusammen (am 9. und 17. Tag). Die Änderung der Phenolkonzentrationen im Ein- und Auslauf der Versuchsgefäße mit den Gesamteffekt-Populationen verläuft ähnlich (Abb. 3). Auch hier steht der Wiederanstieg der Einlaufkonzentration mit dem Auffüllen des Wasserreservoirs am 5. und 15. Tag in Zusammenhang. Im Ein- und Auslauf der Futtereffekt-Populationen war kein gelöstes Phenol nachzuweisen. Dies war zu erwarten, da schon im Auslauf des Chemostaten kein freies Phenol bestimmt werden konnte.

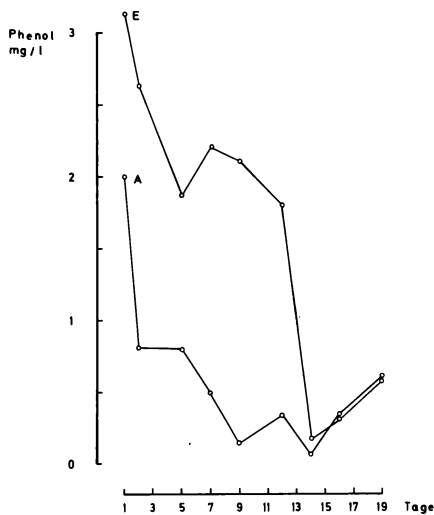


Abb. 3: Phenolkonzentrationen im Ein- (E) und Auslauf (A) der Versuchsgefäße mit den Gesamteffekt-Populationen.

#### 4. Diskussion

Für den starken Substanzverlust in dem Testsystem dürfte neben Absorptionserscheinungen vor allem die Löslichkeit von Phenol in Silikonmaterialien verantwortlich sein. Bemerkenswert erscheint die Tatsache, daß trotz dieser ungleichmäßigen Kontamination so deutliche Effekte erkennbar wurden. Interessant ist in diesem Zusammenhang ein Vergleich mit Daten aus der Literatur. COX, BUNTING (1972) nennen 83.5 mg/l als LD<sub>50</sub>-Wert für *D. magna* im 24-h Test bei Phenol. In Langzeitversuchen über 23 Tage haben sie jedoch eine hohe Empfindlichkeit von *D. magna* gegenüber Phenol gezeigt. Selbst bei 0.1 mg/l konnten sie eine signifikante Verlängerung der Häutungsstadien nachweisen. BRINGMANN, KÜHN (1977) geben für *D. magna* im 24-h Test bei Phenol eine LD<sub>50</sub> von 31 mg/l an. Der "no-effect-level" liegt nach ihren Angaben bei 3.9 mg/l, also noch über der Konzentration, die in den vorliegenden Versuchen eingesetzt wurde.

Dies unterstreicht die äußerst begrenzte Aussagekraft von solchen Kurzzeitversuchen und die Notwendigkeit von Langzeittests, die subletale Effekte erfassen. Für die Zukunft ist neben einer weiteren Erprobung der Leistungsfähigkeit des Testsystems geplant, auch Schadstoffkombinationen zu untersuchen.

Die diesem Bericht zugrunde liegenden Arbeiten wurden mit Mitteln des Bundesministers für Forschung und Technologie gefördert.

#### Literatur

- BRINGMANN G., KÜHN R., 1977: Befunde der Schadwirkung wassergefährdender Stoffe gegen *Daphnia magna*. Z. Wasser- Abwasserforsch. 10: 161-166.
- COX D.T., BUNTING D.L., 1972: Effects of sublethal concentrations of phenol on events in the pre-reproductive period of the cladoceran *Daphnia magna*. Proc. 26. Ann. Conf. Southeastern Assoc. Game & Fish Commissioners, Kruxville: 464-472.
- KERSTING K., 1975: The use of microsystems for the evaluation of the effect of toxicants. Hydrobiol. Bull. 9: 102-108.
- KERSTING K., 1978: Experiments with Dichlobenil in a microecosystem. Proc. EWRS 5th Symp. Aquatic Weeds: 269-277.
- LAMPERT W., 1976: A directly coupled artificial two step food chain for long term experiments with filter feeders at constant food concentrations. Marine Biol. 37: 349-355.

#### Adressen

Karl-Ulrich Störkel  
AG Ökologie, FB Biologie  
Johann Wolfgang Goethe-Universität  
Siesmayerstr. 70  
D-6000 Frankfurt am Main

Dr. Winfried Lampert  
Max-Planck-Institut für Limnologie  
Postfach 165  
D-2320 Plön

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1981

Band/Volume: [9\\_1981](#)

Autor(en)/Author(s): Störkel Karl-Ulrich, Lampert Winfried

Artikel/Article: [Subletale Schadstoffwirkungen auf ein Modell einer limnischen Nahrungskette 255-260](#)