

Zur Problematik der Risikoabschätzung bei Schadstoffimmissionen im pelagischen Ökosystem: ein systemökologischer Forschungsansatz

Alfred Seitz

Synopsis

A research program is put forward which studies the effects of xenobiotics on the pelagic ecosystem of lakes with different trophic states. This program covers observations in the field, experimental investigations in micro and mesocosms as well as studies of individual properties of selected species of the pelagic community and theoretical analyses by computer simulation.

The topics which are of special interest are the changes of the structure and function of the pelagic system under the stress of xenobiotics. To accomplish these tasks, the experiments in the laboratory and field not only study population dynamics of selected species but also population genetics and demography of the populations.

The intense simulation studies which use the approaches of discrete event simulation, matrix models and differential equations deal with single populations as well as simplified communities. It is tried to join these different approaches which are necessary to meet the different levels of complexity by means of adaptive functions.

research project, xenobiotics, pelagial, population dynamics, population genetics, computer simulation, systems analysis

1. Einleitung

Die Beeinträchtigung biologischer Systeme durch anthropogen eingetragene Fremdstoffe ist eine der Begleiterscheinungen moderner Industriegesellschaften und intensiver Land- und Forstwirtschaft. Verschiedene Forschungsansätze versuchen eine Risikoabschätzung dieser Wirkungen. Bis jetzt standen Untersuchungen im Vordergrund, die sich mit der akuten Toxizität von Stoffen für Mensch und belebte Umwelt auseinandersetzen (HART & FULLER 1974, NAGEL 1991). Dies hat sowohl praktische als auch experimentelle Gründe. Einerseits ist eine direkte Wirkung eines Stoffes leichter als nachteilig erklärbar und andererseits sind derartige direkte Wirkungen leichter überprüfbar, da eine unmittelbare Wenn-dann-Beziehung aufgebaut werden kann.

Problematisch bei solchen "ökotoxikologischen" Untersuchungen ist die Tatsache, daß direkt meßbare Effekte häufig erst bei unrealistisch hohen Konzentrationen auftreten. Deshalb werden Effekte auf einem möglichst frühen Niveau der direkten Beeinflussung des Stoffwechsels oder anderer physiologischer Leistungen gemessen. Es ist dann aber schwierig nachzuweisen, daß derartige Beeinflussungen irgendwelche Auswirkungen auf die Fitness des betroffenen Organismus und die darauf aufbauenden ökologischen Wechselwirkungen besitzen.

Andere Forschungsansätze beobachten Wirkungen auf dem Niveau von experimentellen Populationen im Labor, in Mikro- oder Mesokosmen (HALBACH & al. 1983, KOOIJMAN & METZ 1984, HUBER 1986). Derartige Beobachtungen sind meist beschreibend, und es fehlt ihnen fast immer die kausale Erklärung. Für Prognosen der Auswirkungen auf komplexe natürliche Ökosysteme oder Teile davon reicht dies nicht aus.

Folgt man der Definition von LEVIN & al. (1989), so ist Ökotoxikologie "die Wissenschaft, die versucht, die Auswirkungen von Chemikalien auf Ökosysteme vorauszusagen". Eine derartige Forschungsrichtung fordert weit mehr als die oben aufgeführten Untersuchungen. Es reicht nicht aus, auf dem ökosystemaren Niveau Wirkungen zu beschreiben und auf dem Niveau von Indivi-

duen oder eventuell von Populationen im Labor kausal zu erklären. Es ist vielmehr notwendig, diese Forschungsansätze zu verknüpfen, um zu einer kausalen Erklärung auf dem Niveau von Ökosystemen zu kommen. Erst diese würde dann tatsächlich eine Voraussage erlauben. Im folgenden wird ein Forschungsprojekt beschrieben, mit dem versucht wird, über mehrere Integrationsebenen eine derartige durchgängige Verknüpfung herzustellen. Es sollte damit möglich sein, dem Ziel eines systemaren Verständnisses ökotoxikologischer Gefährdungspotentiale nahe zu kommen. Auf diesem Wege sollte es auch möglich sein, die prinzipielle Realisierbarkeit einer prospektiven ökosystemaren "Ökotoxikologie" zu zeigen oder zu widerlegen.

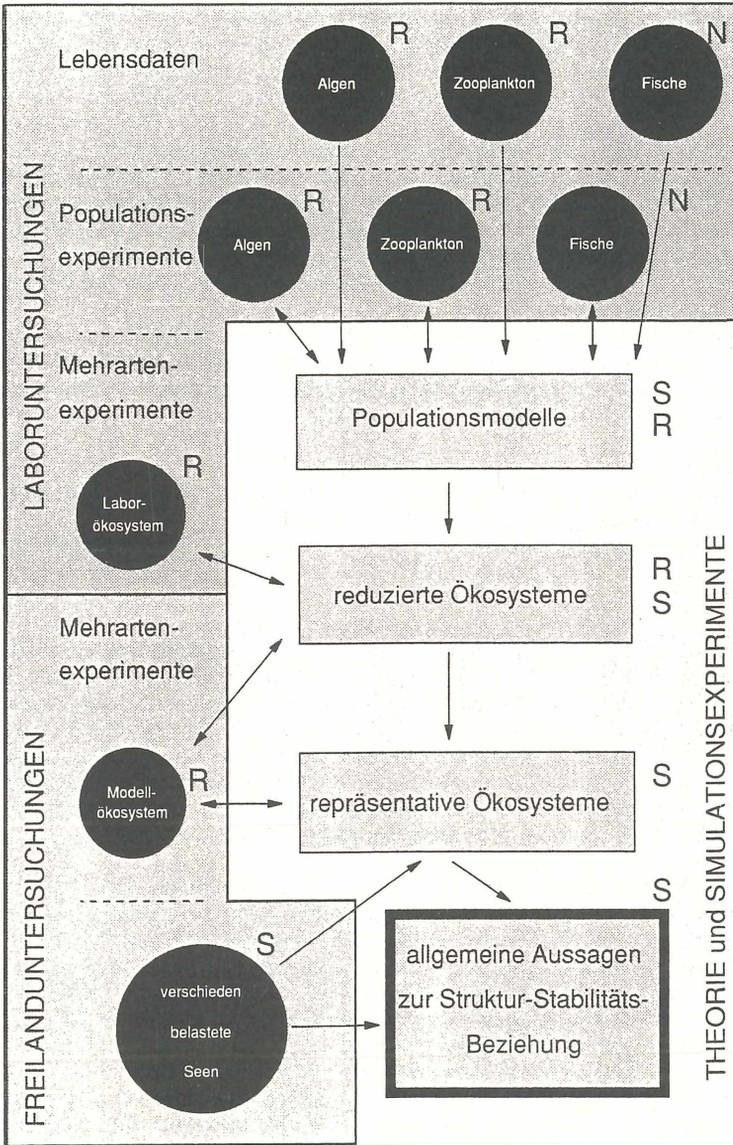


Abb. 1: Aufteilung der Teilprojekte auf Arbeitsgruppen. N = AG Nagel (Universität Mainz), R = AG Ratte (TWTH Aachen), S = AG Seitz (Universität Mainz). Die Arbeitsgruppen bearbeiten zusammen ein Forschungsverbundprojekt mit Unterstützung des BMFT.

Das Forschungsprojekt wird von drei Arbeitsgruppen an der Universität Mainz und der RWTH Aachen bearbeitet. Die Verteilung der Teilaufgaben ist in Abb. 1 dargestellt. Der aus dieser Zusammenarbeit resultierende Informationsfluß und das Zusammenwirken von Experiment und Theorie ist in Abb. 2 gezeigt.

In meinem hier vorliegenden Beitrag wird der generelle Rahmen und der Forschungsansatz des Forschungsprojekts erläutert. Details über die Durchführung und erste Ergebnisse finden sich in diesem Band bei BAST & al. (1991), MENNE & SEITZ (1991), MÜLLER & al. (1991), OERTEL & al. (1991), POETHKE & al. (1991 a), WAGNER & SEITZ (1991) sowie bei OERTEL & al. (1990) und POETHKE & al. (1991 b).

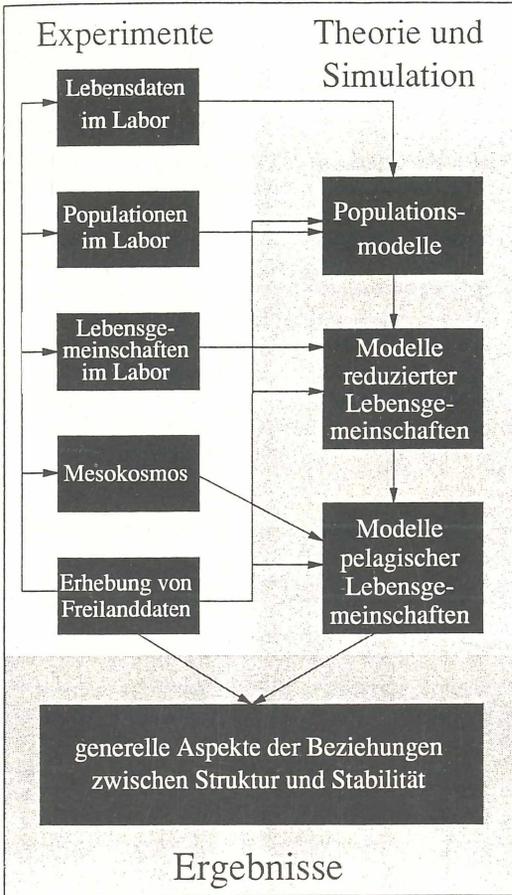


Abb. 2: Zusammenwirkung verschiedener Untersuchungsziele. Die Pfeile verweisen auf den Informationsfluß zwischen den Teilprojekten.

2. Untersuchungsobjekte

Entsprechend dem Konzept einer kausalen Verknüpfung von Beobachtungen und Experimenten sind nach den obigen Forderungen Untersuchungen auf drei Ebenen (Individuen, Populationen, Lebensgemeinschaften) notwendig, die Informationen liefern müssen, mit denen ein hierarchischer Aufbau möglich ist. Das bedeutet, daß alle Daten in einer Weise erhoben werden, die es sowohl Aussagen zum Energiefluß als auch zur Populationsdynamik ermöglicht. Die Realisierung erfordert deshalb eine sorgfältige Auswahl der Untersuchungsobjekte.

2.1 Ebene des Ökosystems

Um einen Zusammenhang zwischen einem Schadstoffeintrag und einer daraus folgenden Veränderung in einem System bei einem vertretbaren Arbeitsaufwand herstellen zu können, ist es notwendig, daß das zu untersuchende System ein Reihe von Eigenschaften aufweist:

- die Anzahl der Elemente im System sollte möglichst klein sein
- die Art der Interaktionen zwischen ihnen sollte bekannt sein
- die Veränderungen sollten im Verhältnis zum Meßraster nicht zu schnell erfolgen
- die Systeme sollten eine Langzeitstabilität aufweisen

Diese Eigenschaften werden zum großen Teil von den pelagischen Lebensgemeinschaften stehender Gewässer erfüllt:

Die Anzahl der pelagischen Arten ist überschaubar, ihre Zuordnung zu trophischen Ebenen ist klar, und die hohe Wärmekapazität des Wassers sowie das beschränkte Ausmaß von Strömungen führen im Vergleich zu terrestrischen Systemen zu relativ leicht erfaßbaren abiotischen Umweltbedingungen.

Zur besonderen Eignung von Seen als Untersuchungsobjekte auf ökosystemarer Ebene kommt deren potentielle Gefährdung durch Umweltchemikalien, die hier anders als in terrestrischen Systemen über das ganze Wasservolumen verteilt werden und anders als in Fließgewässern lange im System verbleiben.

Die für unser Forschungsprojekt herangezogenen Gewässer sind in Tab. 1 vorgestellt. Die Auswahl erfolgte nach verschiedenen Kriterien: a) es sollten bereits möglichst viele Literaturbefunde darüber vorliegen, b) es sollte eine möglichst große Spannweite von oligotroph bis hypertroph erfaßt werden und c) die relativ große räumliche Nähe sollte eine häufige, möglichst synchrone Beprobung erlauben sowie zu möglichst ähnlichen Witterungsbedingungen führen.

In diesen Gewässern werden in regelmäßigen Abständen die abiotischen Faktoren (Temperatur, Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt, Nitrat, Nitrit, Ammonium, Phosphat) in Vertikalprofilen gemessen sowie Proben für die quantitative Bestimmung der Algenbiomasse und des Zooplanktons genommen. Zusätzlich werden in unregelmäßigen Abständen Fremdstoffanalysen im Wasser und in Fischen durchgeführt.

Tab. 1: Kurzbeschreibung der Untersuchungsgewässer

	Neuhofener Altrhein	Hegbachsee	Meerfelder Maar	Gemündener Maar	Weinfelder Maar
Lage	Rheinpfalz (Ludwigshafen)	Südhesen (Groß- Gerau)	Eifel (Daun)	Eifel (Daun)	Eifel (Daun)
Seetyp	Rest einer Rheinschleife	Baggersee	Maarsee	Maarsee	Maarsee
Entstehung	Abtrennung vom Rhein durch Rheinbegradigung	Materialentnahme für Autobahnbau	vulkanische Tätigkeit	vulkanische Tätigkeit	vulkanische Tätigkeit
Alter [Jahre]	ca. 140	ca. 40	29.000	20 - 30.000	20 - 30.000
Höhe [m ü NN]	93	86	336	407	484
Oberfläche [10 ³ m ²]	655	100	248	75	159
Volumen [10 ⁶ m ³]	2,62	0,8	2,27	1,33	4,31
maximale Tiefe [m]	13	21	18	39	57
mittlere Tiefe [m]	4	8	9,2	17,7	21,7
Einzugsgebiet [km ²]	?	93	1,52	0,51	0,35
Umgebungsfaktor	?	930	5,1	5,7	1,2
Erneuerungszeit	?	22 - 90 [Tage]	4,5 [Jahre]	8 [Jahre]	48 [Jahre]
Uferlänge [km]	5,7	1,2	2,0	1,0	1,5
Mischungsverhalten	holomiktisch, dimiktisch	holomiktisch, dimiktisch	holomiktisch, dimiktisch	meromiktisch, dimiktisch	holomiktisch, dimiktisch
Trophiegrad	eutroph	hypertroph	eutroph	mesotroph	oligotroph
Fremdstoffbelastung	mäßig	stark	gering	sehr gering	äußerst gering
Seesanierung	Entschlammung	keine	Tiefenwasserableitung	Tiefenwasserableitung	keine

2.2 Ebene der Populationen

Ähnlich wie bei der Auswahl auf der Systemebene wurden auch hier besonders leicht und effizient untersuchbare Populationen gewählt, die jedoch charakteristisch für besondere systemare Leistungen sind. Die Auswertung erfolgt für einige Schlüsselarten quantitativ bezüglich der Biomasse (über Körpergrößenmessung) und der Produktion.

Bei den Cladoceren wurden als typische Vertreter Daphnien ("große" Cladoceren) und Bosminen ("kleine" Cladoceren) ausgewählt. Ihnen stehen die Copepoden gegenüber, die infolge ihrer diskret in Stadien einteilbaren Entwicklung und teilweise carnivorer Lebensweise in verschiedenen Kompartimenten berücksichtigt werden müssen. Details siehe BAST & al. (1991), MENNE & SEITZ (1991). Daneben werden alle in den Seen vorkommenden Crustaceenarten quantitativ erfaßt.

Die räumlich-zeitliche Verteilung, Populationsgröße und Artenzusammensetzung der Fische wird mit dem Echolot und einer Unterwasser-Videoanlage bestimmt (WAGNER & SEITZ 1991).

Eine wichtige Ergänzung zu den Freilandbeobachtungen stellen Experimente in Mikro- und Mesokosmen dar, die an der RWTH Aachen mit reduzierten pelagischen Lebensgemeinschaften durchgeführt werden. Diese Systeme werden in Parallelversuchen mit verschiedenen Konzentrationen von 3,4-Dichloranilin belastet (SEITZ & RATTE 1991).

Neben den demographischen Erhebungen an den Populationen erfolgen elektrophoretische Untersuchungen des Enzym polymorphismus an Cladoceren, Copepoden und Fischen, um Marker für eine mögliche genetische Adaption an bestimmte Trophiebedingungen zu finden und Hybride bei den Cladoceren sicher zu identifizieren (MÜLLER & al. 1991). Diese Daten dienen der Abschätzung unterschiedlicher Selektionsbedingungen in den verschiedenen Gewässern (HEBERT 1974, 1980).

Die so erhobenen Daten werden für die Berechnung populationsdynamischer Daten (Geburts- und Sterberaten, Produktion) sowie möglicher Selektionsbedingungen benutzt. Sie sind eine Grundlage für die Modelluntersuchungen.

2.3 Ebene der Individuen

Auf der Ebene der Individuen werden Daten über die diejenigen Lebensleistungen ausgewählter Zooplanktonarten (vorzugsweise Cladoceren und Copepoden) erhoben, die für den Stoffumsatz und die Populationsdynamik entscheidend sind. Diese Daten stammen aus Laborexperimenten und Freilanduntersuchungen. Als Fischart wird der Zebraärbling (*Brachydanio rerio*) untersucht, der als Modell für einheimische Fische verwendet wird (NAGEL 1988, SCHÄFERS & al. 1989).

Ein Vergleich von Fertilität und alters- bzw. stadienspezifischen Überlebensraten unter verschiedenen Belastungsstufen bringen Hinweise auf eine mögliche trophie- oder jahreszeitliche Variabilität der Sensitivität gegenüber Chemikalieneinwirkungen.

Eine besondere Bedeutung spielt dabei die genetische Variabilität der Individuen. An isolierten Klonen von Daphnien werden deshalb deren spezifische Eigenschaften untersucht. Außerdem wird die genetische Struktur der Laborpopulationen aller verwendeter Arten kontrolliert, um genotypabhängige Effekte zu erkennen und bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen.

3. Synthese der Untersuchungsergebnisse

Aus der Kenntnis der Probleme, die auftreten, wenn von Laborversuchen mit Individuen oder Populationen auf das Freiland extrapoliert wird (SEITZ & RATTE 1991), war klar, daß eine kausale Erklärung nur möglich ist, wenn die Populationsdynamik der wichtigsten Populationen quantitativ verstanden wird. Dies soll durch die vergleichende Untersuchung in den fünf Untersuchungsgewässern erreicht werden, um zu vermeiden, daß der spezielle Fall eines Sees verallgemeinert wird. Dennoch kann diese Auswahl nur einen kleinen Ausschnitt der möglichen Fälle umfassen.

Um zu möglichst generellen Aussagen zu kommen, werden die speziellen Ergebnisse der Systemanalyse zwar an den einzelnen Gewässern überprüft, dann aber weitgehend davon abstrahiert. Dies ist schon deshalb notwendig, da zwar in den Mikro- und Mesokosmos-Experimenten

eine Belastung mit einer Chemikalie möglich ist, nicht jedoch im Freiland. Studien darüber müssen deshalb mit Hilfe von Modellrechnungen durchgeführt werden.

Diese Modelle extrapolieren in mehreren Stufen von Individuen über Populationen und reduzierten Lebensgemeinschaften bis zu Teilausschnitten des Pelagials. Dabei werden auf den verschiedenen Stufen verschiedene Modellierungsansätze verwendet. Auf diese Weise ist es möglich, Teilmodelle zu verifizieren und dann auf dem nächsten Integrationsniveau durch ein anderes zu ersetzen, das leichter handhabbar ist. Auf dem Niveau von Laborpopulationen wird die Methode der Modellierung diskreter Ereignisse angewandt (Individuenansatz, FITSCH & KAISER 1987, FITSCH 1990, SEITZ 1991). Bei altersstrukturierten Freilandpopulationen und Mesokosmen werden Matrizenmodelle (SEITZ 1984) verwendet, und Mehrkompartimentsysteme werden durch Differentialgleichungen modelliert (HOMMEN & al. 1990, 1991, OERTEL & al. 1990, POETHKE & al. 1991). Zur Anpassung der Differentialgleichungssysteme an altersstrukturierte Populationen werden Korrekturfunktionen entwickelt (GRIEBELER 1990).

4. Schlußfolgerungen

Die ökotoxikologische Gefährdungsabschätzung erfordert eine koordinierte Forschung, die sich über mehrere Integrationsebenen erstreckt. Es ist von vorneherein nicht abzusehen, auf welchem Niveau die Schlüsselfunktionen für den Widerstand gegen eine Veränderung durch Fremdstoffeinträge liegen. Der vorgestellte integrierte Forschungsansatz scheint deshalb erfolgversprechender zu sein als sehr detaillierte Einzeluntersuchungen.

Danksagung

Das Forschungsprojekt wird aus Mitteln des BMFT gefördert (Projekt 0339200D, "Auswirkungen von Fremdstoffen auf die Struktur und Dynamik von aquatischen Lebensgemeinschaften im Labor und Freiland").

Literatur

- BAST, S., GIRGIS, I. & A. SEITZ, 1991: Die räumliche Verteilung und Produktion von Cladocerenpopulationen in verschiedenen eutrophen Seen. *Verh. Ges. Ökol.* 20: 609-614
- FITSCH, V., 1990: Laborversuche und Simulationen zur kausalen Analyse der Populationsdynamik von *Daphnia magna*. Dissertation RWTH Aachen: 121 S.
- FITSCH, V. & H. KAISER, 1987 Population dynamics of *Daphnia magna* - Simulations using the individuals' approach. In: MÖLLER, D. P. F. (ed.): *Advances in systems analysis*. Vol. 2. Springer Verlag, Berlin: 127-132.
- GRIEBELER, M., 1990: Parameterschätzung für Lotka-Volterra- und Altersklassenmodelle mit Hilfe ereignisorientierter Simulationsrechnungen. Staatsexamensarbeit, Fachbereich Biologie, Univ. Mainz.
- HALBACH, U., SIEBERT, M., WESTERMAYER, M. & C. WISSEL, 1983: Population ecology of Rotifers as a bioassay tool for ecotoxicological tests in aquatic environments. *Ecotoxicol. Environ. Safety* 7: 848-513.
- HART, C. W. Jr. & S. L. H. FULLER, 1974: Pollution ecology of freshwater invertebrates. Academic Press, New York.
- HEBERT, P. D. N., 1974: Ecological differences between genotypes in a natural population of *Daphnia magna*. *Heredity* 33: 327-337.
- HEBERT, P. D. N., 1980: Demographic implications of genetic variation in zooplankton populations. In: WÖHRMANN, K. & V. LOESCHCKE (eds.): *Population biology and evolution*. Springer Verlag, Berlin: 195-207.
- HOMMEN, U., RATTE, R. & H. J. POETHKE, 1990: Modelling mesocosm plankton community after insecticide application: A first approach. *Systems Modelling Simulation*. Vol. 7: im Druck.
- HOMMEN, U., RATTE, R. & H. J. POETHKE, 1991: Simulation der Insektizidwirkung auf das Plankton eines Modellökosystems. *Verh. Ges. Ökol.* 20: 817-824.

- HUBER, W., 1986: Freshwater model ecosystems as indicators of environmental pollution. In: Environmental modelling for Priority setting Among Existing Chemicals (Edited by Projektgruppe für Gefährdungspotentiale für Chemikalien (PUC)). Ecomed-Verlagsgesellschaft, Landsberg, München: 344-353.
- KOOIJMAN, S. A. L. M. & J. A. J. METZ, 1984: On the dynamics of chemically stressed populations: The deduction of population consequences from effects on individuals. *Ecotoxicol. Environ. Safety* 8: 254-274.
- LEVIN, S. A., HARWELL, M. A., KELLY, J. R. & K. D. KIMBALL (eds.), 1989: *Ecotoxicology: Problems and Approaches*. Springer Verlag, New York.
- MENNE, B. & A. SEITZ, 1991: Populationsdynamische Untersuchungen pelagischer Copepoden in Eifelmaaren unterschiedlichen Trophiegrades. *Verh. Ges. Ökol.* 20: 613-618.
- MÜLLER, J., MENNE, B. & A. SEITZ, 1991: Die räumlich-zeitliche Verteilung der genetischen Struktur von Zooplanktonpopulationen in Seen unterschiedlichen Trophiegrades. *Verh. Ges. Ökologie* 20: 601-608.
- NAGEL, R., 1988: *Umweltchemikalien und Fische - Beiträge zu einer Bewertung*. Habilitationsschrift Univ. Mainz.
- NAGEL, R., 1991: Ökotoxikologie. Eine junge Wissenschaft mit hohem Anspruch. *biuz* 20: 299-304.
- OERTEL, D., POETHKE, H. J. & A. SEITZ, 1990: Parallelrechnereinsatz bei Ökosystemsimulationen: Abschätzung von Schadstoffauswirkungen auf aquatische Ökosysteme. In: BREITENECKER, F., TROCH, I. & P. KOPACEK (Hrsg.): *Simulationstechnik*. Vieweg, Braunschweig: 417-412.
- OERTEL, D., POETHKE, H. J., SEITZ, A., SCHÄFERS, Ch. & R. NAGEL, 1991: Simulation der Populationsdynamik des Zebraärlings in einem naturnahen Laborsystem. *Verh. Ges. Ökol.* 20: 867-872.
- POETHKE, H. J., OERTEL, D. & A. SEITZ, 1991 a: Zur Problematik der Risikoabschätzung bei Schadstoffimmissionen im pelagischen Ökosystem: Eine Simulationsstudie. *Verh. Ges. Ökol.* 20: 825-834.
- POETHKE, H. J., OERTEL, D. & A. SEITZ, 1991 b: Risk assessment of toxicants to pelagic foodwebs: a simulation study. In: MÖLLER, D. P. F. (ed.): *Advances in systems analysis*. Springer Verlag, Berlin: im Druck.
- SCHÄFERS, Ch., NAGEL, R. & A. SEITZ, 1989: Verhalten, Reproduktion und Populationsdynamik des Zebraärlings (*Brachydanio rerio*) in einem naturnahen Laborsystem. *Fischökologie* 1 (2): 1-15.
- SEITZ, A., 1984: Simulationsmodelle als Werkzeuge in der Populationsökologie. *Verh. Ges. Ökol.* 12: 471-486.
- SEITZ, A., 1991: The Coexistence of three species of *Daphnia* in the Klostersee. III. The simulation model CODA. In: MÖLLER, D. P. F. (ed.): *Advances in systems analysis*. Springer Verlag, Berlin: im Druck.
- SEITZ, A. & H.-T. RATTE, 1991: Aquatic ecotoxicology: On the problems of extrapolation from laboratory experiments with individuals and populations to community effects in the field. *Comp. Biochem. Physiol.* 100 C (1/2): 301-304.
- WAGNER, A. & A. SEITZ, 1991: Die räumlich-zeitliche Verteilung und Produktion von Fischpopulationen in verschiedenen eutrophen Seen. *Verh. Ges. Ökol.* 20: 595-600.

Adresse

Prof. Dr. Alfred Seitz
 Abt. V (Populationsbiologie)
 Institut für Zoologie der
 Johannes-Gutenberg-Universität Mainz
 Saarstraße 21

W - 6500 Mainz

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1991

Band/Volume: [20_2_1991](#)

Autor(en)/Author(s): Seitz Alfred

Artikel/Article: [Zur Problematik der Risikoabschätzung bei Schadstoffimmissionen im pelagischen Ökosystem: ein systemökologischer Forschungsansatz 545-551](#)