Poster zu Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie (Freising-Weihenstephan 1990)
Band 20 1991

Simulation der Populationsdynamik des Zebrabärblings in einem naturnahen Laborsystem

Detlef Oertel, Christoph Schäfers, Hans-Joachim Poethke, Alfred Seitz und Roland Nagel

Synopsis

In order to examine the structural and functional properties of a population of zebrafish, a simulation model based on an experimental system was constructed. As stochastic effects are crucial for the development of this system, the model was realized as a Monte-Carlo-simulation. A sensitivity analysis of the model pinpointed critical parameters of the population biology of zebrafish.

zebrafish, population, simulation, parallel processing, transputer

1. Einleitung

Will man die Wirkungen von Chemikalien auf Fischpopulationen ermitteln, muß man den Einfluß auf altersabhängige Mortalitäten, Reproduktion, Wachstum bis zur Geschlechtsreife und noch längerfristige Effekte wie Wirkungen auf spätere Generationen miteinbeziehen. Die Stufe 2 des Chemikaliengesetzes der BRD sieht eine Langzeituntersuchung mit Fischen vor, die den Einfluß des Fremdstoffes auf die Fortpflanzung mit umfassen soll. Für eine solche Langzeituntersuchung ist der Zebrabärbling (*Brachydanio rerio* HAM.-BUCH.) einer der wenigen geeigneten Testfische (BRESCH 1990, NAGEL 1988).
In einer solchen Untersuchung, etwa einem Life Cycle Test, werden die Daten jedoch durch sukzessive Exposition von bestimmten, gleichaltrigen Entwicklungsstadien und nicht im Beziehungsgefüge einer Population gewonnen. Eine Bewertung der Daten im Hinblick auf eine Auswirkung des Fremdstoffes auf dem Niveau der Population ist so nicht möglich.

2. Das Zebrabärbling-System

Um die populationsbiologische Bedeutung der Ergebnisse von Laborversuchen mit Umweltchemikalien einschätzen zu können, müssen strukturelle und funktionelle Zusammenhänge innerhalb einer Population des Testfisches bekannt sein (SEITZ 1991, KOIJMAN & METZ 1984). Von SCHÄFERS & al. (1989) wurde daher ein komplexes Laborsystem aufgebaut (vgl. Abb. 1), an dem populationsbiologische Daten des Zebrabärblings erhoben wurden. Der Zebrabärbling erwies sich dabei als ein r-Stratege mit einer starken Dichteregulierung über den Fraß der eigenen Larvalstadien. Es stellte sich eine sehr geringe mittlere Dichte von adulten Fischen ein (ca. 10 Adulte in 500 l). Die beobachtete Anzahl von Fischen in den beiden Ansätzen des Experiments ist in Abb. 2 dargestellt.

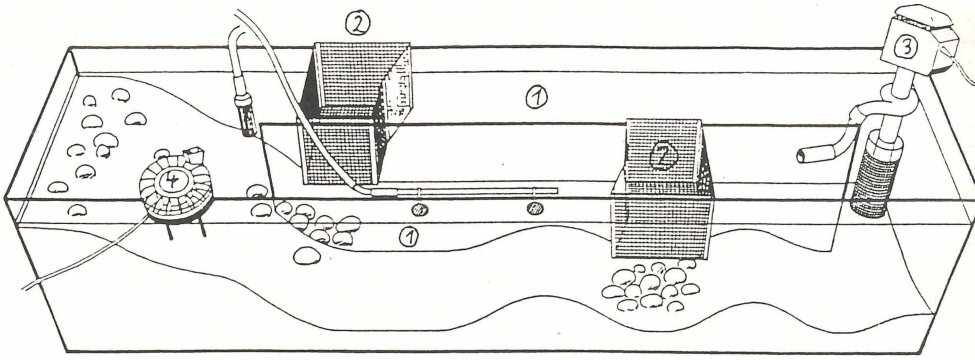

Abb. 1: Komplexes Laborsystem zur Untersuchung der Populationsbiologie des Zebrabärblings, Gesamtlänge: 2,5 m; s. SCHÄFERS & al. (1989)

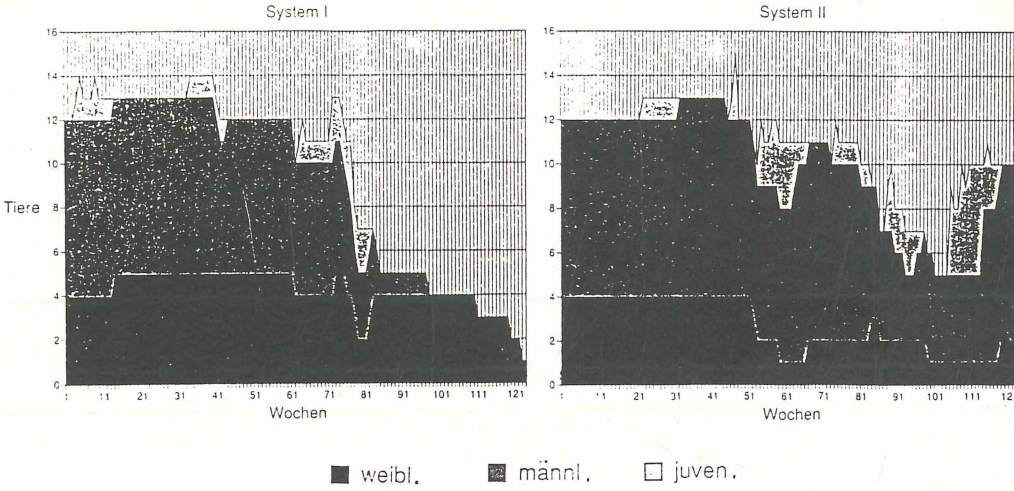

Abb. 2: Abundanz männlicher, weiblicher und juveniler Zebrabärblinge im experimentellen System: Im System I finden sich ab der 98. Woche nur noch weibliche Tiere und die Population stirbt daher aus.

Im Versuchssystem spielen wegen der geringen Populationsgrößen stochastische Vorgänge eine wichtige Rolle: Die biologische Variabilität der Versuchstiere (Freß-, Schwimmverhalten, Geschlecht) mittelt sich bei sehr kleinen Populationen nicht heraus; die zufällige Geschlechtsbestimmung des Zebrabärblings beinhaltet dabei die offensichtlichste Möglichkeit des Aussterbens aufgrund demographischer Stochastizität. Gemeinsam mit der absehbar langen Versuchsdauer lassen diese Systemeigenschaften Versuche mit Fremdstoffen im komplexen System wenig sinnvoll erscheinen.

Um festzustellen, welche der an den einzelnen Stadien beobachtbaren Eigenschaften in diesem System von besonderer Bedeutung für die Populationsentwicklung sind, wurde ein Simulationsmodell entwickelt, das sich an den Verhältnissen im Laborsystem orientiert. Damit sollten insbesondere folgende Fragen beantwortet werden:

- Welche Eigenschaften (Mortalität, Fertilität, Freß- und Fluchtverhalten) bestimmen hauptsächlich die Persistenz der Population?

- Wie verändert eine definierte Änderung des Grundparametersatzes durch Fremdstoffeinwirkung (meßbar in Life Cycle Tests) die Kenngrößen der Modellpopulation, vor allem Persistenz und Abundanz?

Entsprechend der Situation im Experiment ist das System in zwei Kompartimente geteilt (Abb. 3). Neben dem Freiwasser, in dem sich die adulten Tiere aufhalten, gibt es noch Refugien, in denen die Larvenstadien vor dem Zugriff der Adulten geschützt sind, aber die ersten beiden Larvenstadien von den Jungfischen (Larv4) gejagt werden. In das Modell gehen neben Reproduktionsparametern, wie z. B. die Eianzahl, vor allem Daten zum Jagd- und Fluchtverhalten der einzelnen Stadien ein, die im Zusammenspiel mit der Größe der vorhandenen Refugien systemstabilisierend wirken. Der Jagderfolg adulter Tiere hängt beispielsweise nicht nur vom Alter und Geschlecht, sondern auch von der individuell unterschiedlichen verschiedenen Jagdstrategie ab.

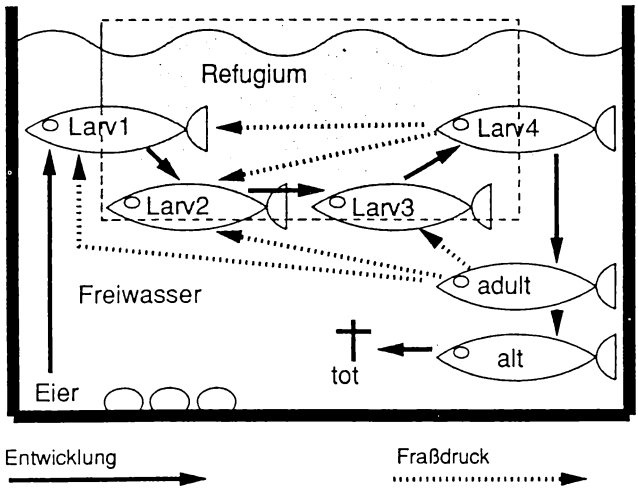

Abb. 3: Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Stadien der Zebrabärbling-Population

Zur Abbildung der stochastischen Effekte wurde eine Monte-Carlo-Simulation für die Lebensgeschichte einzelner Tiere verwendet (FITSCH & KAISER 1987, KAISER 1979). Die Schwankungsbreite der verwendeten Modellparameter entspricht der im komplexen System abgeschätzten oder in Einzelexperimenten ermittelten Schwankungsbreite der Testfischeigenschaften. Sie kann im Hinblick auf die Einarbeitung von Fremdstoffeffekten verändert werden. Wie im komplexen System können aufgrund der zufälligen Effekte zwei einzelne Simulationen mit denselben Eingabeparametern sehr unterschiedliche Ergebnisse zeigen (Abb. 4). Aussagen zum Systemverhalten werden daher aus einer Statistik von vielen Einzelsimulationen gewonnen. Um die für eine statistische Analyse nötige große Anzahl von Einzelsimulationen zu erhalten, ist eine beträchtliche Rechenleistung erforderlich. Daher wurde das Programm auf einem Paralellrechnersystem (Transputernetz mit 6 Prozessoren) verwirklicht.

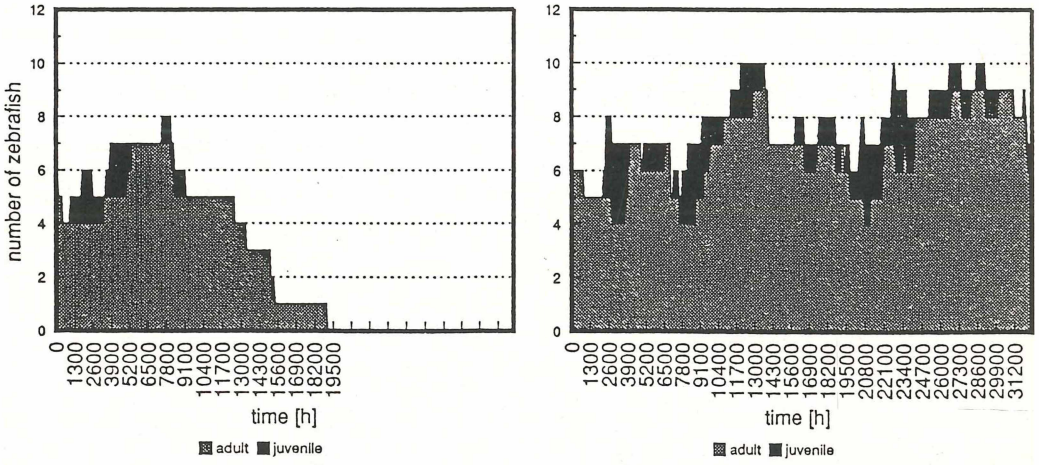

Abb. 4: Beispiele für Ergebnisse von zwei Simulationsläufen mit denselben Parameterwerten

3. Erste Ergebnisse und Diskussion

Die Mehrzahl der Simulationen mit einem dem komplexen System angepaßten Grundparametersatz (Abb. 4) zeigt eine Übereinstimmung mit der tatsächlichen Situation (Abb. 2). Mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse (JÖRGENSEN 1986) wurden einige kritische Größen in der Populationsentwicklung des Zebrabärblings aufgezeigt. So ist z. B. in Abb. 5 eine Sensitivitätsanalyse für den Einfluß der Sterblichkeit einzelner Entwicklungsstadien auf die Wahrscheinlichkeit des Aussterbens des Systems (hier als die mittlere Überlebensdauer des Systems) dargestellt.

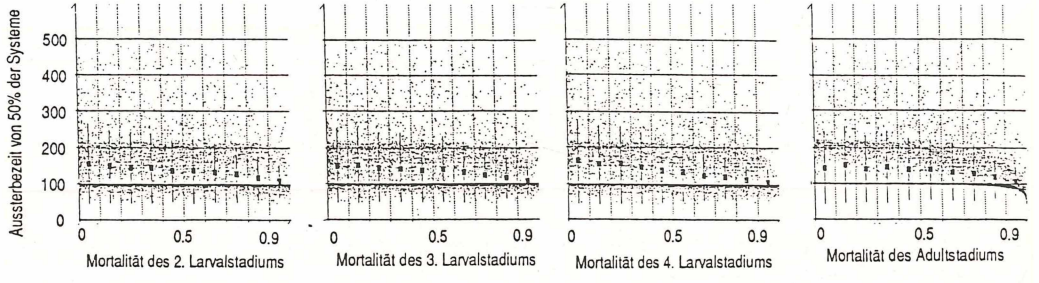

Abb. 5: Sensitivitätsanalyse zum Einfluß der Mortalität einzelner Entwicklungsstadien auf die Persistenz des Systems. Jeder Punkt in der Grafik zeigt den Medianwert von 100 Einzelsimulationen mit denselben Parameterwerten, jedoch unterschiedlichen Zufallszahlen. Insgesamt liegen der Grafik über 12.000 zufällig bestimmte Parametersätze zugrunde und über 1,2 Millionen Einzelsimulationen. Weiterhin sind die Klassenmittelwerte (Quadrate) und ihre Standardabweichung eingetragen. Die in der Grafik erkennbare Obergrenze von 50.000 Modell-Stunden ergibt sich aus der Begrenzung der Simulationen auf diesen Zeitraum. Die Häufung von Punkten bei 10.000 h ergibt sich aus einer entsprechenden Lebensdauer der adulten Zebrabärblinge in Kombination mit dem großen Anteil der zufälligen Parametersätze, die zu einem Systemverhalten führen, in dem keine Nachkommen mehr das Adult-Stadium erreichen.

Es zeigt sich, daß das 4. Larvenstadium für die Populationsentwicklung das empfindlichste ist. Dies sollte bei der Bewertung von Testergebnissen Berücksichtigung finden: So ist in diesem, wie in allen derartig selbstregulierenden Systemen, der Effekt einer Umweltchemikalie auf die Überlebensrate später Larvenstadien höher zu bewerten als eine vergleichbar starke Beeinträchtigung der frühen Stadien oder der Eiproduktion. Greifen juvenile Tiere als Predatoren direkt in diese Regulation ein, indem sie Refugien bejagen [etwa auch Jungbarsche (DREYER 1987)], so stellen sie ein empfindlicheres Altersstadium für die Populationsentwicklung dar. als die reproduzierenden Tiere.
Eine große Zahl von Simulationen mit festen Parametersätzen und deren qualitative und quantitative Auswertung stehen noch aus; die Möglichkeit der aussagefähigen Übertragbarkeit auf andere Fischarten wird anhand von Populationsexperimenten mit einer dafür geeigneten Fischart überprüft.
Diese Untersuchungen wurden vom Bundesminister für Forschung und Technologie gefördert als Teil des Projektes "Auswirkungen von Fremdstoffen auf die Struktur und Dynamik von aquatischen Lebensgemeinschaften im Labor und Freiland".

Literatur

BRESCH, H., 1990: A long-term toxicity test comprising reproduction and growth of Zebrafish with 4-Chloroaniline. Arch. Envirom. Contam. Toxicol. 19: 419-427.
DREYER, S., 1987: Der europäische Flußbarsch (*Perca fluviatilis* LINNÉ) als Objekt der Aquakultur. Bedeutung und Daten zur Biologie und Produktionstechnik. Diss., Hohenstein.
FITSCH, V. & H. KAISER, 1987: Population dynamics of *Daphnia magna* - simulations using the individual approach. In: MÖLLER, D.P.F. (ed.): Adv. in Syst. Anal. Vol. 2. Braunschweig.
JÖRGENSEN, S. E., 1986: Fundamentals of ecological modelling. Developments in environmental modelling 9. Elsevier, Amsterdam.
KAISER, H., 1979: The dynamics of populations as result of the properties of individual animals. Fortschr. Zool. 25: 109-136.
KOIJMAN, S. & J. A. METZ, 1984: On the dynamics of chemical stressed populations. Ecotox. Environm. Saf. 8: 254-274.
NAGEL, R., 1988: Umweltchemikalien und Fische - Beiträge zu einer Bewertung. Habilitationsschrift, Mainz: 256 S.
SCHÄFERS, C., NAGEL, R. & A. SEITZ, 1989: Verhalten, Reproduktion und Populationsdynamik des Zebrabärblings (*Brachydanio rerio* HAM.-BUCH.) in einem naturnahen Laborsystem. Fischökologie 1 (2): 45-59.
SEITZ A. & H. T. RATTE, 1991: Aquatic ecotoxicology: On the problems of extrapolation from laboratory experiments with individuals and populations to field. Comp. Biochem. Physiol. Vol. C, 1991: im Druck.

Adressen

Dipl.-Biol. Detlef Oertel
Dr. Hans Joachim Poethke
Prof. Dr. Alfred Seitz
AG Populationsbiologie
Institut für Zoologie
Universität Mainz
Saarstr. 21

W - 6500 Mainz

Dipl.-Biol. Christoph Schäfers
Univ. Doz. Dr. Roland Nagel
AG Ökotoxikologie
Institut für Zoologie
Universität Mainz
Saarstr. 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): diverse

Artikel/Article: Simulation der Populationsdynamik des Zebrabärblings in einem naturnahen Laborsystem 865-869