

Simulation der Populationsdynamik von *Pomacea canaliculata* (Prosobranchia) zur Bewertung von Managementmaßnahmen

Andreas Heidenreich, Hans-Joachim Poethke, Matthias Halwart und Alfred Seitz

Synopsis

Simulating the population dynamics of *Pomacea canaliculata* (Prosobranchia) for the assessment of management strategies

The phytophagous golden apple snail *P. canaliculata* was introduced from South America to several Southeast Asian countries in the early 1980's for food purposes and with aquarium trade. Although being predominantly aquatic, the snail is also capable of surviving periodical draughts by aestivating in the soil. This ability combined with a high reproductive rate and few natural enemies allowed the snail to spread and multiply quickly. In rice fields the snails feed on the seedlings and, unless control measures are employed immediately, the economic damage is substantial. Therefore, today, the golden apple snail is considered one of the most important pests of rice in Asia.

After developing a stochastic individual-based and an age-structured simulation model, an analysis of sensitivity showed that the population dynamics is mainly influenced by changes in irrigation and parameters regulating juvenile growth and mortality. In addition, the damage caused by snails is affected by the age of the rice seedlings as well as the age at which snails begin feeding on rice.

The general testing of six management practices gave satisfactory results for four of them: rice-fish-culture, pasturing ducks, draining of the rice-field after sowing, and the application of molluscicides. For the latter three optimal application times could be determined.

Pomacea canaliculata, Integrierter Pflanzenschutz, Simulationsmodell, Reis-Schädlinge, Asien

Pomacea canaliculata, integrated pest management, simulation model, rice pest, Asia

1 Einleitung

Managementmaßnahmen im Pflanzenbau haben oft unerwünschte Nebenwirkungen, die z.T. die zunächst erreichten positiven Effekte wieder zunichte machen können, man denke nur an die durch häufigen Pestizid-

gebrauch entstandenen Massenauftritten pestizidresistenter Schädlinge. Um die Bekämpfungsmaßnahmen möglichst effektiv und nebenwirkungsarm zu gestalten, versucht man, möglichst viel Wissen über den Zielorganismus zu sammeln und die Auswirkungen verschiedener Bekämpfungsmaßnahmen ausgiebig zu untersuchen. Für die detaillierte Beurteilung werden inzwischen auch Computermodelle verwendet, die eine Simulation realistischer Situationen über längere Zeiträume erlauben.

Mit Hilfe solcher Modelle lassen sich sowohl Aussagen darüber treffen, welche Eigenschaften des Schädlings am vielversprechendsten auf Manipulationen reagieren, als auch, wo noch besonderer Untersuchungsbedarf besteht.

Nachdem zur goldenen Apfelschnecke *Pomacea canaliculata* bereits eine Reihe von Freilanduntersuchungen durchgeführt wurden (Zusammengestellt in HALWART 1994, 1995), wurde unter Einbeziehung früherer, vorläufiger Simulationen (HALWART 1995, HEIDENREICH 1995, HEIDENREICH & HALWART 1995) ein Modell für die Populationsdynamik von *P. canaliculata* erstellt und in zwei Simulationsprogramme unter TURBO-PASCAL umgesetzt.

Die goldene Apfelschnecke wurde Anfang der 80er Jahre aus Südamerika auf die Philippinen und in andere Südostasiatische Länder eingeführt und erreichte als einfach zu haltende Proteinquelle und Exportobjekt (für den Delikatessenhandel und die Aquaristik) schnell eine hohe Verbreitung. Nachdem sich die ökonomischen Erwartungen jedoch nicht erfüllten, wurden vielerorts die Zuchten wieder aufgegeben, die Schnecken wurden freigesetzt. Da ihr angestammtes Habitat periodische Feuchtgebiete sind (HALWART 1994), verbreiteten sie sich schnell in den Reisfeldern und den dazugehörigen Bewässerungskanälen und entwickelten sich zum Hauptschädling im Nassreisbau.

2 Material und Methode: das Simulationsmodell

Die Lebensstafelaten der Schnecke (s. Tab. 1) wurden in den in Abb. 1 gezeigten Lebenszyklus umgesetzt. Das Modell behandelt nur die Weibchen, die Populationsgröße wird durch eine als konstant ange-

nommene Geschlechterverteilung von 1:1 hochgerechnet.

Bei der individuenbasierten Realisierung werden jeweils konkreten Individuen Werte für Alter und Größe zugeordnet, jeden Modelltag wird die Größe nach dem dichteabhängigen logistischen Wachstum erhöht und durch Ziehen einer Zufallszahl bestimmt,

ob das Individuum stirbt oder nicht. Der Übergang zum Adultstadium wird von einer Abfrage bestimmt, die die aktuellen Werte für Größe und Alter mit der Schranke zwischen den Stadien vergleicht.

Das Stadienmodell dagegen berechnet jeden Tag die Anzahl Individuen einer Altersklasse, die im Mittel pro Quadratmeter vorhanden sind, anhand dersel-

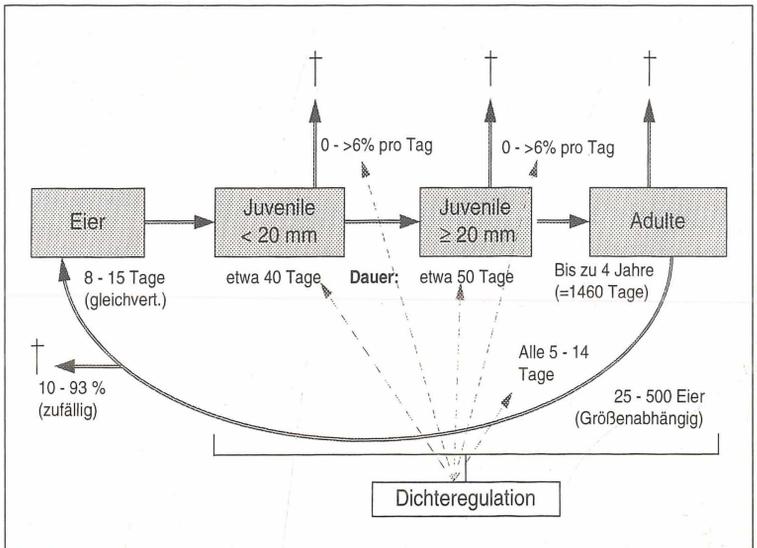
Tab. 1
In den Simulationen benutzte Lebenszyklusdaten für *P. canaliculata*.

Table 1
Life-cycle-data for *P. canaliculata* used in the simulations.

Parameter	Wert	Quelle
Zeit, in der verletzlicher Reis da ist	30 d	HALWART 1995
Zeit für die Bodenbearbeitung	30 d	HALWART 1995
Start-Populationsdichte	5 l/m ²	geschätzt
Grenzdichte für die Dichteregulation	40 l/m ²	HALWART 1995
Maximalalter eines Individuums	4 J.	ESTEBENET & CAZZANIGA 1992
Maximale Größe einer Schnecke	90 mm	ESTEBENET & CAZZANIGA 1992
Maximale Anzahl Eier pro Weibchen	5000	MOCHIDA 1988
Eimassengröße	25 -500	HALWART 1994
Ovarentwicklungszeit	5 - 14 d	DE LARA 1990
Eientwicklungszeit	8 - 15 d	HALWART 1995
Schlüpfwahrscheinlichkeit	7 - 90 %	HALWART 1995
Größe beim Schlüpfen	2 mm	HALWART 1995
Juvenilentwicklungszeit	60 - 90 d	HALWART 1995
Min. Endgröße des Juvenilwachstums	21 mm	DE LARA 1990
Max. Endgröße d. Juvenilwachstums	40 mm	DE LARA 1990
Endgr. d. Juv.Wachst. bei Grenzd.	26 mm	DE LARA 1990
Größe, ab der Reis gefressen wird	13 mm	HALWART 1995
Minimale Größe einer Schnecke bei Fertilverwerden in der minimalen IEZ	32 mm	DE LARA 1990
Mortalitäten: Juvenile	0 bis 6 %	geschätzt
Adulte	0,4 %	geschätzt
bei Trockenzeit	1,6 %	HALWART 1995

Abb. 1
Lebenszyklus von *P. canaliculata* bei Bewässerung. Die Doppellinien zeigen den »Fluß« von Individuen, die gestrichelten Linien die Dichteregulation.

Fig. 1
Life-Cycle of *P. canaliculata* in irrigation. Straight lines indicate »flow« of individuals, dotted lines density-dependence.



ben oder gleichwertiger Algorithmen. Dabei wird die im individuenbasierten Modell durch Zufall bestimmte Mortalität genauso deterministisch gestaltet wie die anderen Algorithmen. Wegen der stark pyramidenförmigen Altersstruktur werden Eier und Juvenile in Altersklassen geführt, die die Modellzeit von einem Tag umfassen, die Adulten werden in Entwicklungsstadien zusammengefasst, die ein fünfzigstel des Maximalalters umfassen, bei einem Maximalalter von 4 Jahren also etwa 29 Tage. Die Stadienaufteilung ist hier nötig, weil die Eimassengröße von der Größe des adulten Tieres abhängig ist. Das resultierende Modell ist ein Hybrid zwischen Altersklassen- und Entwicklungsstadienmodell.

Die Umwelt wurde im Modell auf den Bewässerungszustand und das Vorhandensein bzw. Fehlen von Reis minimiert.

2.1 Selbstregulation der Populationsdichte

Die Selbstregulation der Populationsdichte wirkt im Modell auf drei Parameter: Die Ovarentwicklungszeit, die Juvenilmortalität in der Bewässerungszeit und das Wachstum der Juvenilen.

Für Ovarentwicklungszeit und Juvenilmortalität sind jeweils nur die Eckwerte bekannt, es wurde eine lineare Abhängigkeit von der Populationsdichte angenommen (s. Tab. 1).

Das Modell zur Dichteregulation des Juvenilm Wachstums bei *P. canaliculata* basiert auf der Laboruntersuchung von DE LARA (1990), bei der das Wachstum juveniler *P. canaliculata* im Labor bei verschiedenen Dichten gemessen wurde. Nachdem die Modellierung durch ein einfaches logistisches Wachstum an der Alters- und Größenabhängigkeit des Zeitpunkts der ersten Eiablage scheiterte, konnte folgende Abhängigkeit gefunden werden (s. Abb.2):

- Logistisches Wachstum der Individuen
- Maximalgröße und Wachstumsrate sind separat dichteabhängig: Die Wachstumsrate negativ-exponentiell, die Maximalgröße in der Form $1/x$.
- Für den Übergang ins Adultstadium muß ein Mindestalter und eine mit dem Alter sinkende Mindestgröße erreicht werden.

2.2 Modellierung von Bekämpfungsmaßnahmen

Mit den Programmen ist die Simulation folgender Bekämpfungsmaßnahmen möglich:

- Entwässern des Reisfeldes nach Verpflanzen, bis der Reis aus der schadempfindlichen Phase ausgewachsen ist (HALWART 1995). Dadurch bleiben die Schnecken in der empfindlichen Zeit inaktiv.
- Spritzen von Pestiziden aller Art (MOCHIDA 1988, HALWART 1994).
- Absammeln der adulten Schnecken (RONDON & SUMANGIL 1991, GUZMAN & ENRIQUEZ 1991).
- Reis-Fisch-Kultur (HALWART 1995).
- Zerstören der Eimassen (AWADHAWAL & QUICK 1991, RONDON & SUMANGIL 1991).
- Weiden von Enten in den Reisfeldern für einige Tage vor der Aussaat. Die Enten fressen dabei die aus der Übersommerung erwachenden juvenilen Schnecken (PANTUA & al. 1992).
- Rototillern des Bodens bei der Bodenbearbeitung. Dabei werden die übersommernden Tiere getötet (MOCHIDA 1988).
- Netze in den Ein- und Auslässen der Felder. Damit wird die Migration der Schnecken verhindert (RONDON & SUMANGIL 1991). Bei der Modellierung der Migration wird eine konstante Immigration aus einer benachbarten, im popu-

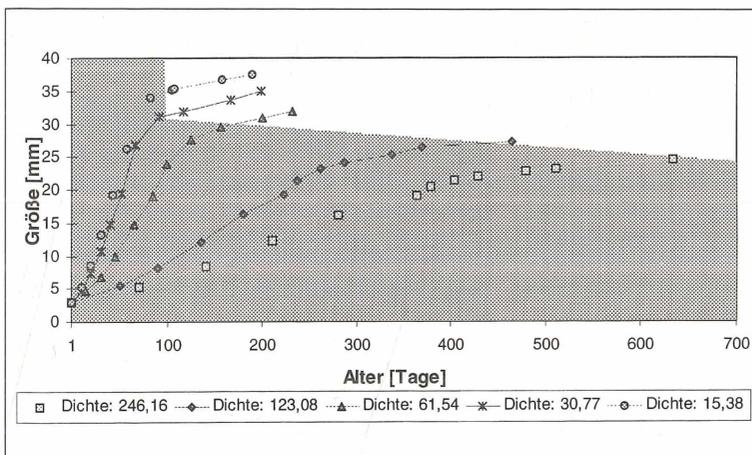
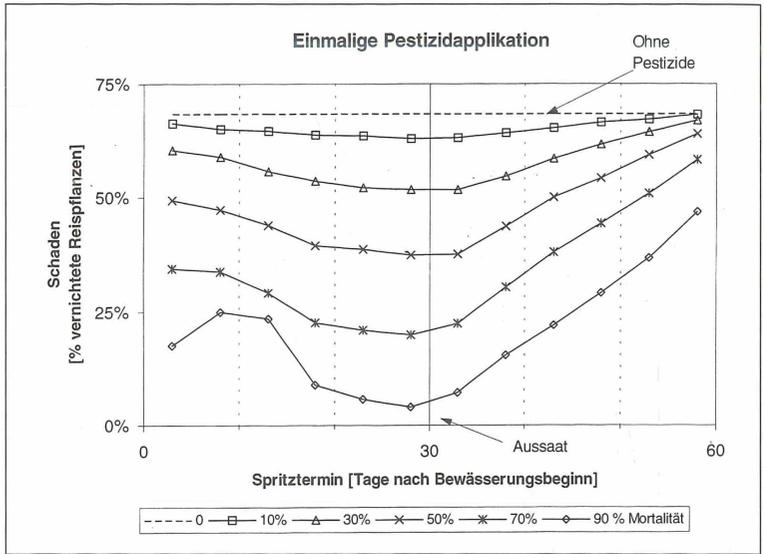


Abb. 2
Juvenile Wachstumskurven bei verschiedenen Populationsdichten. Die Grenze zwischen grau und weiß unterlegtem Bereich kennzeichnet den Zeitpunkt der ersten Eiablage.

Fig. 2
Juvenile growth at different population densities. The border between grey and white shows the time of first egg-deposition.

Abb. 3
Schadensreduktion bei Pestizideinsatz abhängig von Termin (X-Achse) und Intensität.

Fig. 3
Reduction of damage with application of pesticides, depending on application time (x-axis) and mortality.



lationsdynamischen Gleichgewicht stehenden Population angenommen, wobei für alle Altersstufen gleiche Immigrationswahrscheinlichkeiten angenommen werden.

3 Ergebnisse der Simulationen

3.1 Sensitivitätsanalyse

Das hervorstechendste Ergebnis der Sensitivitätsanalyse ist die extreme Variabilität der Altersstruktur. Bei hohen Populationsdichten sind wie erwartet im Verhältnis wesentlich mehr junge Juvenile vorhanden als bei niedrigen. So sind bei optimalen Bedingungen, d. h. permanenter Bewässerung und einer mittleren Populationsdichte von ca. 40 Ind/m² gerade 4 % der Population größer als 13 mm (das sind 1,6 Ind/m²), bei 120 Tagen Bewässerung und 245 Tagen Trockenzeit und einer mittleren Populationsdichte von 16 Ind/m² immerhin fast 20 %, d.h. 3,2 Ind/m²). Bei periodischer Bewässerung sind einzelne Generationen in der Altersstruktur erkennbar.

Die Populationsentwicklung in der Sensitivitätsanalyse reagiert nur bei wenigen Parametergruppen deutlich: Bei Parametern, die die zeitliche Verteilung von Wasser und jungem Reis betreffen, also der Länge der Bewässerungszeit, dem Aussaattermin relativ zum Bewässerungsbeginn und dem Alter der Reispflanzen, wenn sie in das Feld gesetzt werden, bei der Mortalität während der Trockenzeit und bei Parametern, die die Juvenilentwicklung beeinflussen, also der Juvenilsterblichkeit und den Grenzen für die Juvenilentwicklungszeit.

Die Parameter, die die Fertilität beeinflussen, also Eientwicklungszeit, Schlüprate, Eimassengröße und Ovarentwicklungszeit beeinflussen die Populationsentwicklung ebenfalls, spielen aber keine herausragende Rolle.

Unwesentlich für die Populationsentwicklung sind die Obergrenzen für Alter, Größe und maximale Eizahl, die Adultmortalität, und die Grenze für den Übergang ins Adultstadium.

Unabhängig von der Populationsdynamik wird der Schaden stark von der Dauer der Bodenbearbeitungsphase und dem Alter der verpflanzten Reisplänzchen bestimmt.

3.2 Bekämpfungsmaßnahmen

Mit dem Spritzen von Molluskiziden erreicht man z. T. eine starke Reduktion des Schadens, die mittlere Populationsdichte in der Bewässerungszeit wird nur bei sowieso niedrigen Populationsdichten oder extrem hohen Wirkungsgraden der Spritzung reduziert. Zudem hängt die Wirksamkeit stark vom Zeitpunkt der Applikation ab. Wie Abb. 3 zeigt, ist der optimale Spritzzeitpunkt direkt vor der Aussaat.

Bei der Simulation von Reis-Fisch-Kultur ergibt sich schon bei nur 2 % zusätzlicher von den Fischen verursachter Mortalität eine Verringerung des Schadens um 50 %.

Das Weiden von Enten in den Reisfeldern erweist sich in den Simulationen ebenfalls als geeignet, den Schaden um bis zu 80 % zu reduzieren. Der optimale Zeitpunkt ist hier gleich zu Beginn der Bewässerungszeit.

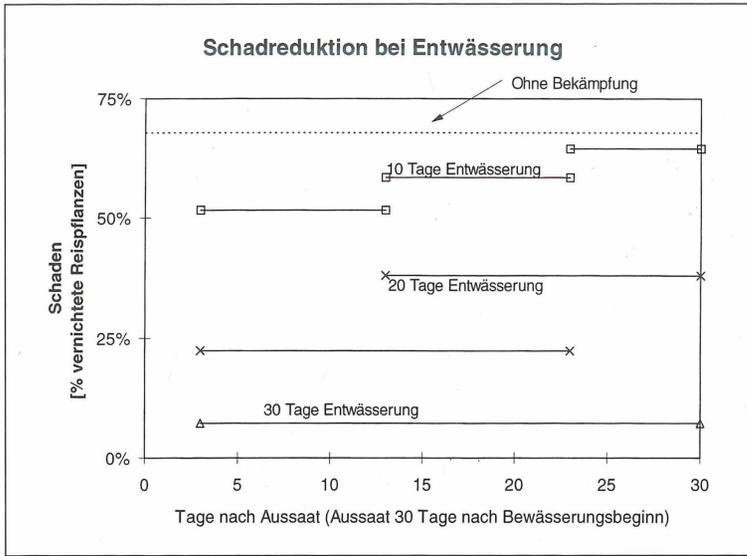


Abb. 4
Schadredeuktion bei Entwässerung. Die Linien erstrecken sich vom Beginn bis zum Ende der Entwässerung, die Höhe gibt den berechneten Schaden an.

Fig. 4
Reduction of Damage when draining the field. The lines stretch from beginning to end of draining, the height of the lines indicate the damage.

Das Trockenlegen des Reisfeldes für eine gewisse Zeitspanne vor oder nach der Aussaat kann laut den Simulationsergebnissen ebenfalls deutlich den Schaden reduzieren. Besonders günstig ist ein Beginn möglichst früh nach der Aussaat und eine möglichst langandauernde Entwässerung (s. Abb 4).

Simulationen von Bekämpfungsmaßnahmen, die die Mortalität der Eier erhöhen, zeigen wenig Wirkung. Wird die Mortalität der Adulten zu sehr erhöht, wird die Populationsdynamik instabil. Es zeigen sich Zyklen mit teilweise extrem hohen Populationszuwachsen, die die mittlere Populationsdichte und vor allem den Anteil adulter und älterer juveniler Schnecken eher erhöhen als senken. Die Wirkung dieser Bekämpfungsmaßnahmen wird also durch Selbstregulation kompensiert.

4 Diskussion

Die Resultate der Sensitivitätsanalyse zeigen, daß sich Bekämpfungsmaßnahmen primär auf die juvenilen Schnecken und die zeitliche Verteilung von Wasser und Reis konzentrieren sollten. Diese Befunde stimmen überein mit Berichten aus Surinam, nach *P. canaliculata* erst mit Einführung der Direktsaat im Reisanbau in Surinam zu einem ernstzunehmenden Schädling wurde (VAN DINTHER & STUBBS 1963).

Auch die Simulationen von Bekämpfungsmaßnahmen lassen sich an Literaturdaten aus Freilandversuchen betätigen, soweit diese nicht in die Abschätzung der Parameter selbst eingeflossen sind: GUZMAN & ENRIQUEZ (1991) geben für drei Wochen Entwässerung nach Aussaat des Reises 75 % Schad-

minderung an, die entsprechenden Simulationsergebnisse sind 80 % Schadminderung nach 25 Tagen Entwässerung.

Die starke Variabilität in der Altersstruktur, die sich in Simulationen bei periodischer Bewässerung zeigt, sollte auch eine neue Möglichkeit der Anpassung des vorgestellten Modells an die Gegebenheiten vor Ort eröffnen: Durch fein aufgelöste Größenklassen-Zählungen im Freiland lassen sich Juvenilmortalitäten und -wachstumsraten ermitteln. Damit wäre neben der zeitlichen und räumlichen Verteilung von Wasser und Reis der letzte entscheidende Faktor für die Populationsdynamik ermittelbar.

Danksagung

Wir danken Giselher Kaule für die wertvollen Diskussionen über diese Arbeit.

Literatur

- AWADHWAL, N. K. & G. R. QUICK (1991): Crushing snail eggs with a »snail egg clapper«. Int. Rice Res. News1. 16(5), 26.
- DE LARA, A.V. (1990): Life History of the golden Apple Snail (*Pomacea* sp.) under Laboratory Conditions. UPLB Basic Research Program Final Report, Project No. 88-18
- ESTEBENET, A. L. & N. J. CAZZANIGA (1992): Growth and demography of *Pomacea canaliculata* (Gastropoda: Ampullariidae) under laboratory conditions. Malacological Review 25 (1-2): 1-12

- GUZMAN, E. D. & F. B. ENRIQUEZ (1991): Non-chemical strategies to reduce golden snail damage to Rice. In: ACOSTA, B. O. & R. S. V. PULLIN (ed) Environmental Impact of the Golden Snail (*Pomacea sp.*) on Rice Farming systems in the Philippines. ICLARM Conference Proceedings 28, Manila, S. 13.
- HALWART, M. (1994): The golden Apple snail *Pomacea canaliculata* in Asian rice farming systems: present impact and future threat. International Journal of Pest Management 40(2), 199–206.
- HALWART, M. (1995): Fish as biocontrol agents in rice. Tropical agroecology 8. Margraf, Weikersheim.
- HEIDENREICH, A. (1995): Zur Bekämpfung der Apfelschnecke (*Pomacea canaliculata*): Bewertung von Managementmaßnahmen auf der Basis eines individuenbasierten Simulationsmodells. Diplomarbeit, Johannes-Gutenberg-Universität Mainz.
- HEIDENREICH, A. & HALWART, M. (1995): Fish farming and other integrated pest management strategies against *Pomacea* snails in rice-fields: a computer simulation. Proceedings of the 4th Asian Fisheries Forum, Beijing, P.R. China (in press)
- MOCHIDA, O. (1988): Nonseedborne Rice Pests of quarantine Importance. In: IRRI (1988): Rice Seed Health, 117–129. Manila.
- PANTUA, P. C.; S. V. MERCADO; F. O. LANTING & E. B. NUEVO (1992): Use of ducks to control golden apple snail *Ampullarius* (*Pomacea canaliculata*) in irrigated rice. IRRN 17(1), 27.
- RONDON, M. B. & J. P. SUMANGIL (1991): Integrated Pest Management for Golden Snail. In: ACOSTA, B. O. & R. S. V. PULLIN (ed) Environmental Impact of the Golden Snail (*Pomacea sp.*) on Rice Farming systems in the Philippines. ICLARM Conference Proceedings 28, Manila.
- VAN DINTHER, J. B. M. & R. W. STUBBS (1963): Summary of research on the control of rice snails in Surinam. Bull. Landb. Suriname 82: 415–420.

Adressen

Andreas Heidenreich,
PD Dr. Hans-Joachim Poethke und
Prof. Dr. Alfred Seitz
Johannes Gutenberg-Universität Mainz
Institut für Zoologie
Lehrstuhl für Ökologie
Saarstr. 21
55099 Mainz

Matthias Halwart
Fishery Resources Officer
FAO Inland Water Resources and Aquaculture Service
Via delle Terme di Caracalla
I-00100 Roma

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1996

Band/Volume: [27_1996](#)

Autor(en)/Author(s): Heidenreich Andreas, Poethke Hans Joachim,
Seitz Alfred, Halwart Matthias

Artikel/Article: [Simulation der Populationsdynamik von *Pomacea canaliculata* \(Prosobranchia\) zur Bewertung von Managementmaßnahmen 441-446](#)