

Die Anwendung mathematischer Modelle für Vermehrungs-
prozesse als Grundlage zur Analyse von Ökosystemen

W. Paul

Der Beitrag soll zeigen, daß bestimmte Probleme aus der Biologie und auch der Ökologie einer mathematischen Beschreibung zugänglich sind. Dies gilt besonders für Vorgänge, bei denen die Vermehrung von Populationen eine Rolle spielt. Sie lassen sich mit den heutigen Hilfsmitteln (Rechengeräte und Simulationssprachen) verhältnismäßig genau simulieren. Auf die Vorteile des Arbeitens mit Modellen und die problemlose Simulation mit speziellen Programmiersprachen geht R.PESTEL in seinem Beitrag ein. J.RICHTER beschreibt die Möglichkeiten zur Aufstellung von Modellen. In diesem Beitrag sollen deshalb nur einige Anwendungsbeispiele für das Arbeiten mit Modellen gegeben werden. Die jeweils zugrunde liegende Mathematik ist ausführlich in /1/ diskutiert. Die Anwendungsbeispiele behandeln den Nitrifikationsprozeß im Boden einschließlich der Auswirkungen von Herbiziden auf diesen Prozeß und die Simulation einer biologischen Schädlingsbekämpfung von Schadmilben durch Raubmilben.

Ein Ausschnitt aus dem Stickstoffkreislauf der Natur ist der Nitrifikationsprozeß. Er umfaßt die Umwandlung von NH_4^+ -Ionen über NO_2^- -Ionen zu NO_3^- -Ionen. Die Oxydation von NH_4^+ zu NO_2^- -Ionen geschieht vorwiegend durch Bakterien der Art Nitrosomonas, die Oxydation von NO_2^- zu NO_3^- -Ionen durch Bakterien der Art Nitrobacter. Der Nitrifikationsprozeß ist wesentlich für das Wachstum von Pflanzen. Er kann durch Pflanzenschutzmittel (Herbizide) beeinträchtigt werden und ist vom pH-Wert des Bodens abhängig.

Vortrag, gehalten anlässlich der Tagung der "Gesellschaft für Ökologie", Giessen 1972
Tagungsbericht "Belastung und Belastbarkeit von Ökosystemen"
Anschrift des Verfassers: W.Paul, 3300 Braunschweig, FAL, Bundesallee 50.

Zum Studium und besseren Verständnis der sich beim Nitrifikationsprozeß abspielenden Vorgänge ist deshalb ein Modell erstellt worden (2/). In Bild 1 erkennt man die Übereinstimmung von Meßwerten und Simulationskurven, zumindest was die NH_4 - und NO_2 -Kurven angeht. Die Abweichungen bei der NO_3 -Kurve sind durch Folgeprozesse zu erklären. Das Modell wurde an 5 verschiedenen Böden getestet. Die gute Übereinstimmung zwischen Meßwerten und Simulationsergebnissen bewies die Gültigkeit des Modelles.

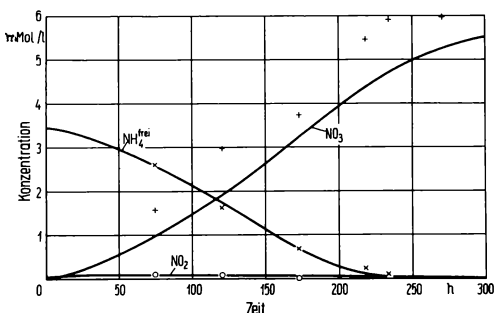


Bild 1: Simulationskurven und Meßergebnisse für den unbeeinflussten Nitrifikationsprozeß in einem speziellen Versuchsboden.

Anhand des Modelles konnten nun Vergleichsuntersuchungen durchgeführt werden. So wurde insbesondere die Hemmwirkung verschiedener Herbizide auf den Nitrifikationsprozeß untersucht. Zunächst konnte der Hemmechanismus geklärt werden. Die Simulation der verschiedenen denkbaren Hemmwirkungen und der Vergleich mit den Meßergebnissen gab dabei eindeutig den Ausschlag zugunsten der Hypothese der reversiblen Hemmung (Bild 2). Die Hypothese besagt, daß nach Anwendung der Herbizide die an der Oxydation beteiligten Populationen zunächst inaktiv sind. Je nach Herbizid erholen sich aber die Populationen (Nitrobacter ist empfindlicher als Nitrosomonas) in spätestens 200 Stunden und erreichen ihre normale Lebensaktivität.

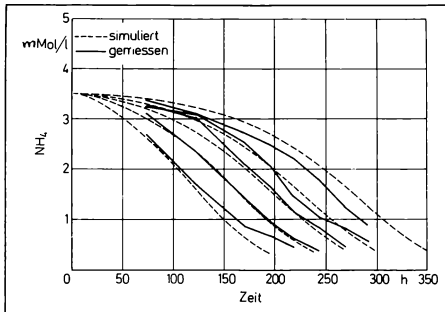


Bild 2: Vergleich von Meßwerten und Simulationsergebnissen des durch Herbizide reversibel gehemmten Nitrifikationsprozesses.

Mit den gewonnenen Ergebnissen läßt sich nun der normale und der durch handelsübliche Herbizide gehemmte Verlauf des Nitrifikationsprozesses vorhersagen. Vor allem aber kann man eine mögliche (und oft auftretende) Belastung des Ökosystems "Boden" durch NO_2 -Akkumulation zahlenmäßig abschätzen.

Ein anderes Beispiel für die Verwendung von Modellen in der Ökologie ist die biologische Schädlingsbekämpfung. Als praktischer Anwendungsfall wird hier die Bekämpfung von Schadmilben (Bohnenspinnmilbe, Rote Spinne) durch Raubmilben betrachtet. Die spezifischen Lebensdaten sind der Literatur /3/ entnommen und in Bild 3 dargestellt. Mit Hilfe dieser Daten wurde ein Modell für die betrachtete Räuber-Beute-Beziehung erstellt. Bild 4 zeigt die Simulationsergebnisse. Man erkennt einen Entwicklungszyklus. Das Wachstum des Räubers folgt dem des Schädling zeitverzögert, doch so, daß selbst aus ungünstigsten Anfangspopulationen heraus der Räuber schnell und wirksam die Schädlinge ausrotten kann. Die Zeiten bis zur Vernichtung des Schädling

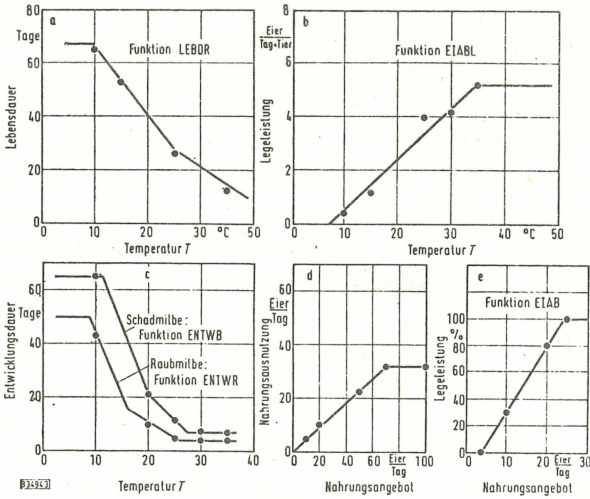


Bild 3: Biologische Daten für Raub- und Schadmilbe nach /3/.

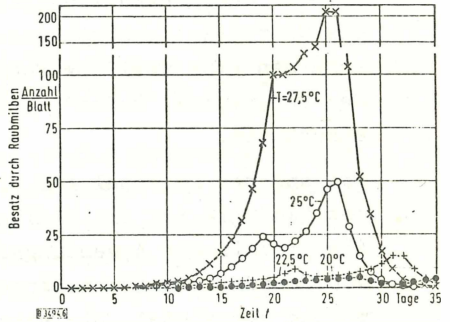
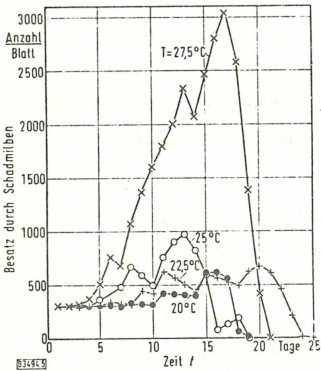


Bild 4: Simulation der biologischen Schädlingsbekämpfung von Schadmilben durch Raubmilben.

sind temperaturabhängig und stimmen mit denen in /3/ gemessenen überein. Auch hier werden die Vorteile bei der Anwendung eines Modelles zur exakten Bestimmung einer erfolgreichen Schädlingsbekämpfungsstrategie sichtbar.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß mit den nur kurz angedeuteten Beispielen auf die Möglichkeiten und die erreichbare Genauigkeit beim Simulieren ökologischer Prozesse hingewiesen werden soll. Exakte Vorhersagen, wie z.B. solche über die Grenzen der Belastbarkeit von Ökosystemen, sind vermutlich nur mit Hilfe von Modellen möglich. Für sich zeitlich ändernde Vorgänge sind dynamische Modelle die adäquate Beschreibung.

Literaturverzeichnis: /1/ PAUL,W.: Mathematische Modelle für biologische Vermehrungsvorgänge. VDI-Fortschritt-Bericht, Reihe 3, Düsseldorf 1972. /2/ PAUL,W., K.H.DOMSCH: Ein mathematisches Modell für den Nitrifikationsprozeß im Boden. Archiv für Mikrobiologie, 87, 77 (1972). /3/ BRAVENBOER,L., G.DOSSE: Phytoseiulus riegeli Dosse als Prädator einiger Schadmilben aus der Tetranychus urticae-Gruppe. Entomology exp. and appl. 5, 291 (1962).