

# Von der Simulation zum Game – Computermodelle im Ökosystem-Management

Falk-Juri Knauff

Ökologische Modellbildung  
Universität Bayreuth  
Dr.-H.-Frisch-Str. 1-3  
95448 Bayreuth  
knauff@bayceer.uni-bayreuth.de

**Abstract:** Nutzungen von Ökosystemleistungen, wie zum Beispiel der Holzproduktion von Wäldern, besitzen häufig sehr lange Traditionen. Veränderte Nutzungs- und Umweltbedingungen führen aber immer wieder zu Situationen, in denen traditionelle Methoden, wie etwa empirische Modelle, scheinbar versagen. Alternativ werden mechanistische Prozess-Modelle eingefordert, die durch ihre Prognosefähigkeit Lösungspläne ermöglichen sollten. Nach nunmehr fast 20 Jahren ökosystembezogener Forschung in dieser Richtung und eher unbefriedigenden Ergebnissen darf gefragt werden, ob die in physikalisch oder chemisch dominierten Systemen erfolgreichen Prozessmodelle auch in biologisch geprägten Systemen ähnlich erfolgreich sein können. Es kann allerdings angenommen werden, dass dies der interaktive Charakter belebter Systeme verhindert. Einerseits besitzen Ökosysteme ein in den Genomen seiner Lebewesen fixiertes, nicht einsehbares potenzielles Verhaltensspektrum, welches sich erst durch die Interaktion mit der Umwelt bzw. menschlichen Nutzungen manifestiert. Andererseits wird das Verhalten der Nutzer von Erfahrungen, gesellschaftlichen Verhältnissen und nicht zuletzt freier Entscheidung geprägt. Beide Aspekte beschränken die Vorhersagbarkeit interaktiver Systeme. Soll nicht die genetische Information, etwa mit klonalen Plantagen beschränkt werden, muss die Bewertungs- und Reaktionskompetenz der Nutzer gefördert werden. Hierzu gehören einerseits der Transfer von Erfahrungen zwischen den Generationen und andererseits das Training im interaktiven Simulator. Somit nimmt die interaktive „Gaming Simulation“ die Stelle der prognostischen Simulation ein. Anhand eines interaktiven Durchforstungsmodells wird gezeigt, wie die analytische Kompetenz des Nutzers trainiert werden kann.

## 1 Einleitung

Das Management begrenzter Ressourcen, wie sie die Leistungen von Ökosystemen darstellen, besitzt eine lange Tradition. In Mitteleuropa entwickelten sich bereits im 18. Jahrhundert die ersten Grundzüge einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung. Sie basierten auf den Erfahrungen von Spezialisten, die in einfachen Modellkonzepten, wie Lehrsätzen oder Ertragstafeln, dokumentiert und an folgende Generationen weitergereicht wurden.

Voraussetzung für diesen Modelltyp sind leicht zu klassifizierende Waldstrukturen. Somit sind der gleichaltrige Reinbestand und die Ertragstafel eng miteinander verknüpft.

Der Wandel der gesellschaftlichen Anforderungen an den Wirtschaftswald in der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts förderte die Entwicklung alternativer Waldnutzungs-konzepte. Die gleichzeitigen Fortschritte in der Modellbildung der Naturwissenschaften erhöhten die Ansprüche der Gesellschaft an forstliche Modelle hinsichtlich ihrer Prognosefähigkeit und ihrer Universalität. Diese konnten mit den traditionellen empirischen Ansätzen nicht mehr befriedigt werden. In ihrer Folge richtete die Modellbildung ihr Augenmerk auf das in der Physik hocheffiziente Konzept des mechanistischen Zustands- bzw. Prozessmodells. Es wurde angenommen, dass es nur einer hinreichend genauen Kenntnis aller beteiligten Prozesse und Zustände bedarf, um die Entwicklung von Ökosystemen zu prognostizieren. Nach mehr als 20 Jahren der Forschung kann allerdings noch kein Modell präsentiert werden, das diese Aufgabenstellung besser als etwa ein rein empirisches Modell erfüllt. Es kann vermutet werden, dass die begrenzte Eignung von Prozessmodellen zur Modellierung von belebten Systemen in den spezifischen Eigenschaften des Lebens begründet ist. Im Gegensatz zu rein physikalischen oder chemischen Prozessen, die in der Regel als Wechselwirkung ablaufen, sind in der Biologie **Interaktionen** zu beobachten. Bei einer Interaktion genügt es nicht den Zustand des Systems zu beschreiben, um das Ergebnis zu bestimmen. Vielmehr hängt dieses auch vom „Gedächtnis“ des Systems ab [HL04]. Da es bisher aber noch kein Verfahren gibt, das evolutionäres Gedächtnis in Form des Genoms oder als individuelles Gedächtnis, vollständig zu erfassen, besteht die einzige Methode zur Abschätzung möglicher Reaktionen in der Beobachtung des Verhaltens. Das Ergebnis dieser Beobachtung ist die Häufigkeit, mit der ein bestimmtes Ergebnis einer Interaktion zu beobachten war. Ob diese Häufigkeit mit einer Wahrscheinlichkeit bei künftigen Beobachtungen gleichgesetzt werden kann, bleibt an dieser Stelle offen (es ist z.B. unwahrscheinlich, dass die Reaktion eines Hundes etwa auf eine Strafe konstant bleibt). Es soll nun auch nicht der Versuch unternommen werden, die Chancen für die Entwicklung eines prognosefähigen prozessbasierten Ökosystem-Modells zu quantifizieren. Vielmehr soll ein alternativer Einsatz der bisher existierenden Modellkonzepte propagiert werden: die Förderung der Entscheidungsfähigkeit junger Manager von Ökosystemen. Wenn es denn nicht gelingt, die Entwicklung von heterogenen Waldstrukturen unter variablen Umwelt- und Nutzungsbedingungen über längere Zeiträume zu prognostizieren, dann wird der Förster von morgen, genauso wie sein Vorgänger des 19. Jahrhunderts, in der Lage sein müssen, das kurzfristige Verhalten seiner Wälder abzuschätzen und zu bewerten. Hierzu bedarf es vor allem einer Fähigkeit: der Mustererkennung. Diese orientiert sich aber nicht nur an einem einmaligen Zustand sondern vielmehr am „Verhaltensmuster“.

Zum Training von „Systemkompetenz“ wird in den Sozial- und Wirtschaftswissenschaften bereits seit einigen Jahren der Ansatz der „Gaming Simulation“ als einer Variante des Planspiels eingesetzt [Kr98]. Wir wollen hier diesen Ansatz für die Ausbildung von Ökosystem-Managern vorstellen (siehe auch [Kr01]).

## 2 Das Modell

Mit einem relativ einfachen Modell soll zunächst die Fähigkeit demonstriert werden, wie untrainierte Nutzer in der Lage sind aus einer Lösungsmenge mit zahlreichen lokalen Maxima möglichst nahe an das globale Maximum heranzukommen. An einem variierten Model soll anschließend der „Lerneffekt“ demonstriert werden.

In einem Wachstumsmodell mit fünf Bäumen werden Blattmasse und Holzmasse differenziert. Die Blattmasse kann entsprechend der empfangenen Lichtmenge Biomasse synthetisieren. Sowohl Blatt- als auch Holzmasse verbrauchen einen Teil der synthetisierten Biomasse für die Respiration. Die verbliebene synthetisierte Biomasse wird in neuer Blatt- und Holzmasse allokiert. Die Bäume stehen zueinander in Konkurrenz um die Ressource Licht. Die Blattmasse aller Bäume reduziert die für jeden Baum verfügbare Lichtmenge. Die Bäume unterscheiden sich jedoch geringfügig in ihrer Schattentoleranz (Biosynthese-Effizienz pro empfangener Lichtmenge). Reicht die synthetisierte Biomasse nicht mehr aus, die Respiration des Baumes zu decken, stirbt der Baum. Die Holzmasse gestorbener Bäume degradiert im Laufe der Zeit. Dagegen kommt die Holzmasse eines lebend gefällten Baumes vollständig der finalen Gesamtholzmasse des Bestandes zugute. Der Nutzer kann dazu die Zeitpunkte der Entnahme der einzelnen Bäume in 10-Jahres-Schritten festlegen. Nach dem Start der Simulation erhält er einerseits die finale Gesamtholzmasse und andererseits zwei Grafen mit der Entwicklung der Blatt- und der Holzmasse des Bestandes. Die bereits erprobten Durchforstungsvarianten werden mit den Entnahmezeitpunkten und der korrespondierenden Holzmasse in einer Tabelle aufgelistet. Die Aufgabe des Nutzers ist es, durch Fällen einzelner Bäume die Gesamtholzmasse (als virtuelle Einheit!) des Bestandes zu maximieren. Hierbei ist den Probanden sowohl das Verhalten der Bäume als auch das globale Maximum unbekannt und sie müssen selbst entscheiden, wann sie die Suche abbrechen. In der Abbildung 1 (links) wird das Benutzer-Interface wiedergegeben.

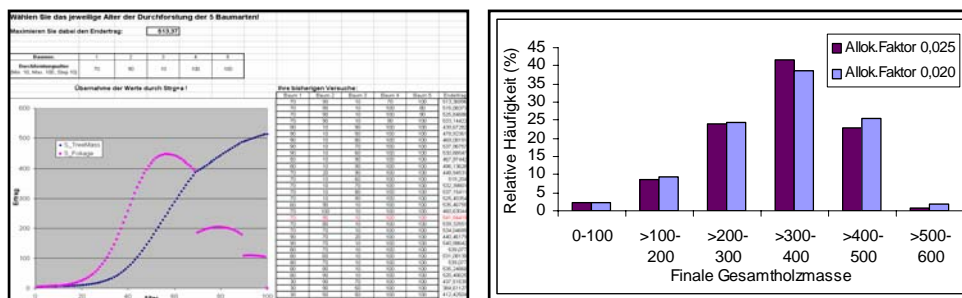


Abbildung 1: Nutzer-Interface des interaktiven Simulators (links) und relative Häufigkeit einzelner Intervalle der finalen Gesamtholzmasse innerhalb der Gesamtzahl aller möglichen Lösungen des Simulators für einen Allokationsfaktor von 0,025 und 0,02 (rechts)

Aus der Kombination von 5 Bäumen mit 10 Durchforstungszeitpunkten je Baum ergeben sich 100.000 Lösungsmöglichkeiten. Die Abbildung 1 (rechts) zeigt das Histogramm der finalen Gesamtholzmassen für alle Lösungen. Für die in der ersten Simulation verwendete Parametrisierung des Modells existiert ein globales Maximum von 541,94. Insgesamt existieren nur 143 Lösungen oberhalb einer finalen Gesamtholzmasse von 520. Für die 2. Parametrisierung liegt das globale Maximum bei 533,73 und es existieren 141 Lösungen oberhalb von 519.

### 3 Das Ergebnis

An einem ersten Experiment nahmen 6 Kollegen des Institutes sowie 11 Studenten teil. Obwohl nur ein Proband die globale Maximal-Lösung fand, waren es auch nur vier Probanden, die sich mit einer Lösung von weniger als 520 zufrieden gaben. Im Mittel waren etwa 50-60 Versuche notwendig, um eine Lösung oberhalb dieser Schwelle zu finden. Sechs der Probanden, nutzten mehr als 100 Versuche um die Lösung weiter zu optimieren. Dieser einfache Test illustriert die Fähigkeit komplexes Verhalten schnell zu analysieren und das eigene Verhalten auf eine optimierte Lösung hin anzupassen. Diese Kompetenz ist erlernbar, wie es die Wiederholung des Tests mit dem leicht variierten Simulator mit den Probanden 7 bis 17 demonstriert. Die Variation des Allokationsfaktors von 0,025 auf 0,02 bewirkt ein verändertes Wuchsverhalten der Bäume (siehe auch Abb. 1, rechts) und damit generell andere lokale und globale Maxima. Obwohl wiederum nur 8 Probanden aus der Gruppe der Studenten Ergebnisse oberhalb der Schwelle von 519 erreichten, fanden sie diese schneller (im Mittel nur noch 12 Versuche gegenüber 67 aus der ersten Simulation). Zudem konnten 3 Probanden das globale Maximum finden, während dies in der ersten Simulation keinem dieser Gruppe gelang.

Auch wenn die Versuche noch keine statistische Absicherung besitzen, illustrieren sie doch die Bedeutung, welche interaktive die „Gaming Simulation“ für künftige Ökosystem-Manager besitzen können. In ihnen können interaktiv gestaltete empirische, prozessbasierte oder Hybridmodelle ein neue, produktive Rolle einnehmen.

### Literaturverzeichnis

- [HL04] Hauhs, M.; Lange, H.: Modeling the complexity of environmental and ecological systems. In (Klonowski, W., Ed.): Simplicity behind complexity. Proceedings of the 3rd European interdisciplinary school in nonlinear dynamics for system and signal analysis, Euroattractor 2002, Warsaw, June 18 to June 27, 2002. Pabst Science Publishers, Lengerich, 2004; S. 130-154.
- [Kr98] Kriz, W.C.: Training of Systems-Competence with Gaming/Simulation. In (Geurts, J.; Joldersma, C.; Roelofs, E., Ed.): Gaming/Simulation for Policy Development and Organizational Change. Tilburg University Press, Tilburg, 1998; S. 287-294.
- [Kr01] Kriz, W.C.; et.al.: Sustainable resource management in the simulation game Fish Banks Ltd.: An experiment on the influence of systemic and social knowledge. In (Villems, A., Ed.): Bridging the Information and Knowledge Societies. Tartu University Press, Tartu, 2001; S. 224-234.