

Zeitschrift: Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles = Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg
Herausgeber: Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles
Band: 60 (1971)
Heft: 2: Rapport annuel = Jahresbericht

Artikel: Mathematische Modelle von biologischen Systemen
Autor: Bremermann, Hans J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-308481>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 14.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Mathematische Modelle von biologischen Systemen

Von Hans J. BREMERMAN

Dept. of Mathematics, University of California, Berkeley, California, USA

Bis jetzt sind keine Prinzipien gefunden worden, von denen sich das Verhalten von biologischen Systemen und Organismen mit Präzision ableiten ließe. Von drei möglichen Gründen: 1. Fehlendes Genie, 2. Ungenügende Bearbeitung, und 3. Grundsätzliche Unmöglichkeit, neige ich dem dritten zu

Es gibt Präzedenzfälle: Die Alchemisten versuchten lange Zeit, chemische Prozesse zu finden, mit denen man Gold aus anderen Stoffen herstellen konnte. Heute weiß man, daß Atome (wie Gold) in chemischen Prozessen weder erzeugt noch zerstört werden können. Ein zweites Beispiel ist das perpetuum mobile. Es ist unmöglich auf Grund des Erhaltungssatzes der Energie. Während in diesen Beispielen chemische bzw. physikalische Prinzipien im Spiel sind, gibt es auch Projekte, die aus rein mathematischen Gründen unmöglich sind; insbesondere: Die Dreiteilung des Winkels und die Verdoppelung des Würfels mit Zirkel und Lineal, die Auflösung von Gleichungen fünften und höheren Grades durch Radikale und die Entscheidung der Ableitbarkeit im Prädikatenkalkül. Während in diesen Fällen der Beweis der Unmöglichkeit verwickelt ist und erst im 19. bzw. 20. Jahrhundert erbracht worden ist, ist der Beweis, daß im Quadrat Seite und Diagonale kein gemeinsames Maß haben, elementar und schon den Pythagoräern bekannt. Die Erkenntnis der Inkommensurabilität von Seite und Diagonale brachte im Altertum die Maxim der Pythagoräer: «Alles ist Zahl» zu Fall und führte zur Geometrisierung und Axiomatisierung der griechischen Mathematik, welche einen großen Einfluß bis in die Gegenwart ausgeübt hat. Euclids berühmte «Elemente» sind nach der Bibel das Buch mit der größten Zahl von Auflagen.

Newtons «Principia» formuliert die Grundgesetze der Mechanik analog Euclids Axiomen und seit Newton ist das Konzept von allgemeinen Prinzipien und Naturgesetzen, von denen sich (wenigstens im Prinzip) alle physikalischen und chemischen Phenomene ableiten lassen, selbstverständliche Grundlage der Naturwissenschaften geworden. In den dreißiger Jahren jedoch entdeckte Gödel die Unvollständigkeit der Arithmetik und es wird heute vermutet, daß alle Axiomatisierungen der Arithmetik unvollständig sind. Damit fällt das Konzept der vollständigen Axiomatisierbarkeit der Mathematik und analog muß man eine vollständig deduktive Naturwissenschaft in Frage stellen.

Selbst wenn die gegenwärtig bekannten Gesetze der Physik und Chemie exakt und vollständig wären (was zu bezweifeln ist), so läßt sich das Verhalten von Organismen nicht ohne weiteres ableiten, da solches Verhalten das Resultat von sehr komplizierten Wechselwirkungen komplizierter Moleküle ist. Alle bekannten «ab initio» Methoden zur Berechnung chemischer Wechselwirkungen komplizierter chemischer Moleküle sind völlig transkomputabel, d. h. sie benötigen mehr Rechenoperationen als aus physikalischen Gründen möglich sind.

Es bleibt damit nur die Methode der Mathematischen Modelle, die das Verhalten von Organismen (und anderer Systeme) so gut wie möglich approximativ beschreibt, die jedoch nicht alle Details genau wiedergibt. In der Tat sind mathematische Modelle seit geraumer Zeit für viele Zwecke in der Medizin, Biologie, Ökonomie und Sozialwissenschaften gebraucht worden. Die Methodik ist jedoch meist ad hoc und nicht wissenschaftlich durchdacht. Sie ist in einem ähnlichen Zustand wie die Geometrie bei den alten Ägyptern und Babyloniern, die viele Tricks und individuelle Methoden kannten, aber keine strengen Beweise. Es gilt, die Methodik der mathematischen Modelle auf einen ähnlichen Stand der Präzision zu bringen wie es die Griechen mit der euklidischen Geometrie getan haben.

Die diesjährige Gordon Conference für Theoretische Biologie und Biomathematik (in New Hampshire) zeigte, daß wir noch weit von diesem Ziel entfernt sind. Es wird eine große Zahl von mathematischen Modellen angeboten, die alle auf Grund von «plausiblen» Annahmen und Vereinfachungen synthetisiert worden sind. Es fehlt aber ganz allgemein an einer Methodik der Anpassung und Verifizierung von Modellen an experimentelle Daten. Zum Beispiel hat Jay W. Forrester (der Erfinder des Magnetkernspeichers, der in fast allen Computern verwendet wird,) seit etwa zehn Jahren Industriemodelle, Modelle für Städte und kürzlich Weltmodelle aufgestellt. Die letzteren sagen voraus, daß zwischen den Jahren 2030 und 2060 ein Zusammenbruch der modernen industrialisierten Welt vorkommen wird fast unabhängig von Maßnahmen, die man heute ergreifen kann (Technology Review, Jan. 1971, herausgegeben vom Massachusetts Institute for Technology). Sein Modell ist aus lauter «vernünftigen» Annahmen über die Wechselwirkung verschiedener Faktoren zusammengesetzt. Es erhebt sich die Frage: Wie weit sind Forresters Schlüsse zwingend? Bei dem gegenwärtigen Stand der Theorie mathematischer Modelle ist es schwer, Forresters Modelle entweder zu bestätigen oder zu verwerfen. Im Gegensatz zu Weltmodellen sind Modelle biologischer Systeme experimenteller Verifizierung sehr viel zugänglicher, an ihnen wird sich die Methodik der Modelle besser als an Welt- und Wirtschaftsmodellen entwickeln lassen.

In Berkeley arbeiten wir besonders an der Frage der Anpassung von Modellen an Daten, und zwar speziell für Modelle, die sich in der Form von (nichtlinearen) Systemen von Differentialgleichungen ausdrücken lassen. Es ergeben sich dabei auch interessante mathematische Fragen, insbesondere über Algorithmen, wie z. B. Optimierungsalgorithmen und Algorithmen zur Auflösung von Systemen algebraischer Gleichungen. Insbesondere taucht die Frage des absoluten Minimalbedarfs von Rechenarbeit bei der Lösung von speziellen Problemen durch Algorithmen immer wieder auf. Ein anderes ausserordentlich interessantes Gebiet sind die Modelle von Nervennetzen und die Nachbildung von Gehirnfunktionen durch Algorithmen (wie zum Beispiel «Pattern recognition»).

Es ist zu hoffen, daß eine Entwicklung der Theorie von Mathematischen Modellen sowohl die Mathematik als auch die Biologie bereichern wird.