Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Band 21, 1992

Mathematik - Nur eine andere Sprache?

Christian Wissel

Synopsis

Mathematics is nothing else but another language. The advantage of using this language is discussed. It is emphasized that the purpose of modelling has to be appointed in using mathematical models. Two classes of mathematical models are introduced. Descriptive models use statistics to condense ecological data in a concise form. Simulation models are used for describing real ecological processes. It is shown that complex models are hardly of any use. Conceptual models concentrate on a specific question. As they remain plain they can be used to get an understanding. The aims, problems and limits of these mathematical models are discussed.

use of mathematics, mathematical models, statistics, simulation, understanding

1. Einleitung

Wenn es um die Beurteilung der Möglichkeiten von mathematischen Methoden und Modellen in der Ökologie geht, fallen die Meinungen der Ökologen oft weit auseinander. Auf der einen Seite wird um verstärkten Einsatz mathematischer statistischer Methoden und Modelle geworben (WILDI 1992). Jedoch bei manchen Biologen artet die Befürwortung mathematischer Modelle in eine Computergläubigkeit aus: Wenn Computer nur groß genug sind und entsprechend viele Daten in umfassenden Modellen verarbeitet werden, dann sollen ganze Ökosysteme mit allen ihren Details in Computer-Programmen erfaßt werden können. Auf der anderen Seite gibt es strikte Ablehnung des Gebrauchs von Mathematik in der Ökologie. Dies wird zum Beispiel damit begründet (v. GLEICH & SCHRAMM 1992), daß die Mathematik nicht gegenstandsgemäß sei. Oder es wird behauptet, daß die Qualität, durch die sich Biologie von Physik und Chemie unterscheidet, nämlich das Leben, durch Mathematik nicht beschreibbar sei.
Beide extremen Standpunkte beruhen oft darauf, daß die Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung von Mathematik in der Ökologie falsch eingeschätzt werden. Die uneingeschränkten Befürworter übersehen, daß bei der Übersetzung einer ökologischen Fragestellung in mathematische Formen und bei Umsetzung eines mathematischen Ergebnisses in eine ökologische Aussage erhebliche Probleme, Unsicherheiten und Ungenauigkeiten existieren. Umgekehrt entsteht die völlige Ablehnung der Mathematik in der Ökologie oft dadurch, daß man mathematischen Modellen Zielsetzungen unterstellt (v. GLEICH & SCHRAMM 1992), die sie prinzipiell nicht erfüllen können. Wenn dann nachgewiesen wird, daß mathematische Modelle diese unterstellten Ziele nicht erreichen, folgert man daraus ihre generelle Unbrauchbarkeit.
Im Folgenden werde ich darlegen, aufgrund welcher Eigenschaften die Mathematik nach meiner Meinung für die Anwendung in der Ökologie geeignet ist. Ich werde zwei Hauptanwendungsgebiete aufzeigen und die Möglichkeiten, Probleme und Grenzen der Mathematik in diesen diskutieren.

2. Die Mathematik als Sprache

Zunächst ist zu bemerken, daß der Gebrauch von Mathematik in der Ökologie kein Selbstzweck ist. Aus der Tatsache, daß die Mathematik in anderen Wissenschaftszweigen wie Physik und Chemie erfolgreich angewandt wurde, läßt sich ihr Nutzen in der Ökologie weder begründen noch leugnen. Es gibt weite Bereiche der Ökologie, wo für bestimmte Fragestellungen die Benutzung von Mathematik nutzlos, ja unsinnig ist. Hierfür lassen sich viele Beispiele aus der Autökologie (REMMERT 1984) anführen.
Ursprünglich war die Ökologie meist eine deskriptive Wissenschaft. Es wurde das, was man in der Natur vorfand, beschrieben. Doch hat sich die Ökologie von diesem deskriptiven Charakter längst gelöst. Wie auch in den anderen Naturwissenschaften sollte man über das, was man in der Natur vorfindet, nachdenken. Es gibt eine Unzahl von möglichen und sinnvollen Fragen in der Ökologie (PUTMAN & WRATTEN 1984). Zunächst wird man versuchen, diese Überlegungen in verbalen Kategorien durchzuführen. Daß man damit hervorragen-

de Ergebnisse erzielen kann, hat Darwin demonstriert. Doch sind die Verhältnisse in der Ökologie oft so kompliziert und komplex, daß man mit verbalem Argumentieren allein nicht durchdringt.Wenn es um das Verständnis quantitativer Aspekte geht, reichen verbale Kategorien sowieso nicht aus.
In diesen Fällen eröffnen sich durch die Benutzung der Mathematik neue Möglichkeiten. Deshalb lassen sich mathematische Modelle als die Fortsetzung dieses Nachdenkens in einer anderen Sprache ansehen. Ebenso wie bei verbalen Überlegungen werden aus Fakten oder Annahmen Schlußfolgerungen gezogen. In welcher Sprache, mit welchen Begriffen sich bestimmte Aspekte der Ökologie am besten fassen lassen, hängt von dem konkreten Fall und der untersuchten Fragestellung ab. Wie oben bereits erwähnt, gibt es ökologische Problemstellungen, die sich mit Mathematik nicht behandeln lassen. Andererseits sollte man die Möglichkeiten, die die Sprache der Mathematik eröffnet, aufgrund von Voreingenommenheit nicht einfach ausschlagen. Man wird den Verdacht nicht los, daß Biologen und Ökologen mathematische Modelle häufig deshalb ablehnen, weil sie die Sprache der Mathematik schlecht oder gar nicht beherrschen.

Um mathematische Modelle bei geeigneten Problemstellungen sinnvoll einzusetzen, ist es wichtig zu wissen, wo diese Sprache ihre Stärken hat und welche Möglichkeiten sie eröffnet.

- Im Unterschied zu verbalen Argumentationen erlauben mathematische Überlegungen quantitative Aussagen. Dieser Umstand wird zunehmend wichtiger, da in der Ökologie immer häufiger quantitativ gearbeitet wird.
- Bei verbalen Diskussionen kann man immer wieder beobachten, daß man gute Argumente für und gegen eine in Frage stehende Hypothese ins Feld führen kann. Es gibt Faktoren, die für, und andere, die gegen diese Hypothese sprechen. Mit verbalen Kategorien läßt sich eine zusammenfassende Entscheidung oft nicht treffen. In mathematischen Modellen lassen alle diese gegenläufigen Faktoren erfassen. Es kann damit untersucht werden, zu welchem Resultat ihre gemeinsame Wirkung führt.
- Das Argumentieren mit verbalen Begriffen birgt die Gefahr von Ungenauigkeiten und mangelnder Präzision in sich. So wird z. B. der Begriff der Stabilität von Ökosystemen oft benutzt, ohne daß eine präzise Definition dafür gegeben wird (SCHMIDT & WISSEL 1991). Es gibt viele verschiedene Stabilitätseigenschaften. Durch die Benutzung der Mathematik ist man zu einer unzweideutigen Definition gezwungen. Allgemein verhilft die mathematische Formulierung von Zusammenhängen zur Präzisierung der Probleme, Definitionen und Aussagen.
- In verbalen Diskussionen kommt es häufig zu Schlußfolgerungen, die von anderen Wissenschaftlern nicht nachvollzogen werden. Die logischen Regeln der mathematischen Sprache sind bisher nicht angezweifelt worden. Werden also die Annahmen und Idealisierungen eines mathematischen Modells (s. u.) akzeptiert, so sind die mit Hilfe der Mathematik daraus erhaltenen Ergebnisse nicht anfechtbar.
- Wie auch verbale Diskussionen zielen mathematische Modelle auf die Beantwortung bestimmter Fragestellungen ab (s. u.). Der Automatismus der Mathematik bringt es nun mit sich, daß mathematische Modelle oft noch andere Ergebnisse liefern, die ursprünglich nicht das Ziel der Modellierung waren (WISSEL 1988). Durch Überprüfung dieser zusätzlichen Resultate am Experiment bzw. an Felddaten kann die Güte eines mathematischen Modells erhärtet oder in Frage gestellt werden.

Die Mathematik ist sicher nur ein mögliches Werkzeug zur Lösung von Fragestellungen. Es hat neben den skizzierten Stärken auch seine Schwächen (HALL & DEANGELIS 1985). Es hängt also immer von dem jeweiligen Problem ab, ob der Einsatz von Mathematik sinnvoll ist.

3. Mathematische Modelle

Bei den Befürwortern von mathematischen Modellen in der Ökologie bestehen oft erhebliche Meinungsverschiedenheiten darüber, wie ein gutes Modell auszusehen hat. Und so gibt es auch eine große Vielfalt von mathematischen Modellen mit ganz unterschiedlichen Ansätzen. Der Grund dafür liegt auch in der Tatsache, daß es in der Ökologie eine bunte Vielfalt von Problemstellungen (MCINTOSH 1987) gibt, die mit mathematischen Modellen angegangen werden können. Je nach Zweck und Zielsetzung wird ein Modell anders aussehen. Das hat dann umgekehrt aber auch die Konsequenz, daß man ein Modell nur dann beurteilen kann, wenn man seinen Zweck kennt. Nur dann ist es ganz offen für Kritik und wissenschaftliche Diskussion. Das bedeutet, daß bei der Vorstellung eines Modells zuallererst seine Zielsetzung dargelegt werden sollte. Modelle, die ohne Angabe ihres Zwecks veröffentlicht werden, entziehen sich weitgehend einer detaillierten wissenschaftlichen Kritik und sind daher von geringem Nutzen für die Forschung.
Im Folgenden werden zwei große Klassen von ökologisch mathematischen Modellen eingeführt und ihre Zielsetzungen, Möglichkeiten, Probleme und Grenzen diskutiert.

3.1 Deskriptive Modelle

Der erste Schritt in Richtung auf die Benutzung von Mathematik wird bereits durch die Erhebung von quantitativen Daten in der Ökologie getan. Denn in den seltensten Fällen sind diese Daten so, wie sie gewonnen wurden, direkt interpretierbar. Meistens sind mehr oder minder aufwendige statistische Verfahren (WIEGLEB 1992, WILDI 1992, ENGELS & RATTE 1992) notwendig, um aus den Daten ökologisch verwertbare Aussagen zu gewinnen. Bei jedem statistischen Verfahren liegt ein mathematisches Modell, z. B. in Form der Nullhypothese zugrunde. Als bekanntestes Beispiel läßt sich die lineare Regression anführen. Dort wird als einfache Modellannahme eine lineare Beziehung zwischen zwei Größen postuliert. Aber es gibt auch Fälle, wo nichtlineare Relationen zum Fitten der Daten erfolgreich herangezogen werden (WISSEL 1988). Die mathematischen Auswerteverfahren möchte ich als deskriptive Modelle bezeichnen.
Wie oben deutlich betont, ist bei jedem Modell zuallererst sein Zweck und seine Zielsetzung anzugeben. Bei deskriptiven Modellen ergeben sich diese aus der Notwendigkeit, die unübersichtliche Datenfülle auf wenige aussagekräftige Größen zu reduzieren. Neben dieser Datenkomprimierung kann das Ziel deskriptiver Modelle sein, Vorhersagen zu machen. Dies geschieht, indem man die durch statistische Verfahren gefundenen Relationen auf entsprechende Situationen extrapoliert (WISSEL 1988, WISSEL & MACDONALD 1991). Das bedeutet, daß man die durch die Statistik aufgedeckten Beziehungen verallgemeinert.
Dabei treten vor allem zwei gewichtige Probleme auf. Zunächst ist zu bedenken, daß durch statistische Auswertungen nichts über kausale Zusammenhänge gesagt werden kann. Das heißt, daß kein Verständnis für ökologische Zusammenhänge aus deskriptiven Modellen allein gewonnen wird. Zwar ist für eine mögliche Vorhersage kein Verständnis notwendig, doch für einen erfolgreichen Einsatz dieses Prognoseinstruments in Forschung und Ökomanagement ist ein Verständnis sehr hilfreich, mitunter sogar notwendig.
Dies kommt vor allem bei dem zweiten Problem zum Tragen: Es gibt keine Relation, ja kein Naturgesetz, das überall gilt. Jede Gesetzmäßigkeit hat einen beschränkten Gültigkeitsbereich. Will man durch Verallgemeinerung von statistisch aufgedeckten Beziehungen sichere Voraussagen machen, ist es entscheidend, zu wissen, wo diese gültig sind, wo sie ihren Anwendungsbereich haben. Aus diesem Grund ist es unumgänglich, daß man ein Verständnis für das Zustandekommen dieser Relationen gewinnt. Diesen Zweck können deskriptive Modelle allein prinzipiell nicht erfüllen. Vielmehr verfolgen die im nächsten Kapitel beschriebenen konzeptionellen Modelle dieses Ziel.

3.2 Simulationsmodelle

Im Gegensatz zu den deskriptiven Modellen, die, ohne auf die ökologischen Mechanismen einzugehen, die empirischen Meßgrößen verarbeiten, versuchen Simulationsmodelle die realen Vorgänge der Ökologie nachzubilden. Nun ist es eine inhärente Eigenschaft von allen Modellen, daß sie idealisieren und abstrahieren. Das bedeutet, daß der Detailtreue von Modellen prinzipiell Grenzen gesetzt sind. Damit erhebt sich konsequenterweise die Frage, welche der ökologischen Details in einem Modell berücksichtigt werden können und sollen.

3.2.1 Komplexe Modelle

Auf die Frage, wie ein gutes ökologisches Modell aussehen sollte, erhält man immer wieder als Antwort, daß es möglichst realistisch sein und daher möglichst viele der realen Details enthalten sollte. Dieser Wunsch nach Annäherung an die Realität (v. GLEICH & SCHRAMM 1992) hat die unausweichliche Konsequenz, daß das entsprechende Modelle hochkomplex wird. Denn ökologische Systeme sind bekanntermaßen sehr komplex und dies müssen dann auch sehr detaillierte Beschreibungen derselben durch Modelle sein.
Wenn man als einzigen Zweck eines Modells verlangt, daß es sich der Realität möglichst weit annähert, handelt man sich eine ganze Reihe von Problemen ein, auf die hier nun eingegangen werden soll.

- Da Idealisierung und Abstraktion inhärente Eigenschaften von Modellen sind, können nie alle wirkenden ökologischen Faktoren in einem Modell berücksichtigt werden. Ein Modell kann nie ein Abklatsch der Natur sein. Es muß also ein Kriterium angegeben werden, nach dem die Aussonderung der Faktoren, die im Modell aufgenommen werden sollen, erfolgt. Möglichst viele von ihnen zu berücksichtigen, um sich möglichst weit der Realität zu nähern, ist kein Ersatz für ein wohl begründetes Kriterium.
- Es wird immer wieder betont, daß Ökosysteme Unikatcharakter haben. Es ist also nie ein Ökosystem wie das andere. Je genauer die Beschreibung eines Einzelfalls erfolgt, umso weniger können die Resultate verallgemeinert werden. Konsequenterweise führt die "realistische" Modellierung eines Ökosystems mit möglichst vielen Details dazu, daß die so erhaltenen Ergebnisse auf keinen anderen Fall übertragbar sind. Doch wird es vielfach als Ziel jeder Naturwissenschaft angesehen, daß man Aussagen erhält, die innerhalb eines gewissen Anwendungsbereiches (s.o.) generelle Gültigkeit besitzen und nicht nur einen singulären Einzelfall

beschreiben.

- Ein Naturwissenschaftler (EULER?) soll einmal gesagt haben: "Gib mir 5 Parameter und ich fitte dir einen Elefanten. Gib mir 6 Parameter und er wackelt mit dem Schwanz". Dies soll besagen, daß sich durch ein Modell mit hinreichend vielen anpaßbaren Parametern so ziemlich alles fitten läßt. Damit haben diese Modelle praktisch keine Aussagekraft. Hochkomplexe Modelle besitzen zwangsläufig eine Vielzahl solcher Fitparameter.
- "Realistische" Modelle, die sehr viele Einzelheiten enthalten, sind schwierig darzustellen. Gerade weil viele Details im Modell beschrieben werden und diese Beschreibungen immer idealisierend und abstrahierend sind, müssen viele dabei benutzte Annahmen und Einschränkungen erläutert werden. In der Regel reicht der Raum für schriftliche Veröffentlichungen nicht aus, um das Modell umfassend mit allen Details darzulegen. Oft werden nur Graphen, die einige Grundstrukturen des Modells verdeutlichen, angegeben. Die genaueren Einzelheiten bleiben oft unklar. Damit entziehen sich diese Modelle einer genauen Überprüfung und sind somit kaum offen für Kritik. In diesem Fall sind sie dann auch von wenig Nutzen für die Wissenschaft.
- Das größte Problem, das hochkomplexe Modelle haben, ist die Tatsache, daß sie offenkundig ungeeignet sind, ein Verständnis für die Zusammenhänge und Vorgänge zu vermitteln. Bei so vielen berücksichtigten Einzelheiten ist es unmöglich zu sagen, welches Detail des Modells auf welche Weise für einen bestimmten Teil der Ergebnisse verantwortlich ist. Nur wenn man alle Teile und Parameter eines Modells systematisch variiert, kann man ein Verständnis für das Funktionieren des Modells erhalten. Dieses systematische Variieren aller Teile ist aber nur bei relativ einfachen Modellen mit einer geringen Zahl an Parametern möglich.

Bisher ist noch gar nicht über den Zweck solch hochkomplexer Modelle gesprochen worden. Meist wird er auch gar nicht angegeben. Das "realistische" Modellieren wird zum Selbstzweck. Um ein wissenschaftliches Verständnis zu bekommen, sind diese Modelle, wie eben dargelegt, ungeeignet. Mitunter glaubt man durch die Berücksichtigung möglichst vieler Details eine genaue Beschreibung zu erhalten, was dann diese Modelle für Prognosezwecke geeignet machen soll. Doch vergißt man dabei, daß ein Aussuchen von Details ohne ein rationales Kriterium zu keinem verläßlichen Modell führen kann.
Was bleibt also? Man kann solche hochkomplexen Modelle nicht verstehen, sie lassen sich meist nicht überprüfen und die Verläßlichkeit ihrer Ergebnisse ist nicht einzuschätzen. Damit bleibt nur blindes Vertrauen, was ja wohl nicht Ziel eines wissenschaftlichen Vorgehens sein kann. Modelle sind intellektuelle Werkzeuge für denkende Leute und nicht Krücken für Gedankenlose. Die entscheidende Frage ist nicht, wie realistisch ein Modell ist, sondern wie gut es den Zweck erfüllt, für den es gemacht ist.

3.2.2 Konzeptionelle Modelle

Wesentliches Ziel aller naturwissenschaftlichen Überlegungen ist es, ein Verständnis für die Mechanismen und die funktionellen Zusammenhänge in dem jeweiligen Fachgebiet zu erlangen. Doch auch für die praktischen Belange im Ökosystemmanagement ist ein gutes Verständnis der Abläufe wesentlich (STARFIELD & BLELOCH 1986).
Um ein Verständnis mit Hilfe mathematischer Modelle in den Naturwissenschaften zu erlangen, ist es unumgänglich, eine Fragestellung in den Mittelpunkt der Untersuchung zu stellen. Da, wie oben dargelegt, nie ein System mit allen seinen Einzelheiten im Modell erfaßt werden kann, ist der Versuch, ein System als solches zu modellieren, aussichtslos. Wird hingegen eine Fragestellung modelliert, so kann man alle Details, die für diese Frage nicht essentiell sind, weglassen und nur Schlüsselfaktoren berücksichtigen. Das heißt, daß man aus der Not eine Tugend macht, in dem man die ohnehin notwendigen Idealisierungen und Abstraktionen an der konkreten Fragestellung orientiert. Man kann in einzelnen Fällen ganz bewußt eine Reihe von Faktoren nicht berücksichtigen, um das Wirken eines einzelnen oder einiger weniger unverfälscht ergründen zu können (WISSEL 1989).
Durch die Konzentration auf die wesentlichen Schlüsselfaktoren einer Fragestellung werden in vielen Fällen die Idealisierungen und Abstraktionen sehr weitgehend sein. Dies hat zur Folge, daß das Modell übersichtlich und handhabbar bleibt. Und das ist natürlich die Voraussetzung, um ein gutes Verständnis zu erlangen (WISSEL 1989). Außerdem werden durch dieses Weglassen von Einzelheiten, durch die sich gewisse ökologische Situationen unterscheiden, allgemeingültige Ergebnisse erzielt. Es werden auf Fragen, die in verschiedenen Systemen in gleicher Weise gestellt werden können, Antworten gegeben. Natürlich gibt es keine Modelle, die überall anwendbar sind. Wie schon bei den deskriptiven Modellen gibt es auch hier endliche Gültigkeitsbereiche, die durch die Modellannahmen, die Idealisierungen und Abstraktionen festgelegt werden.
Nun wird man zu recht fragen, woher man wissen kann, was die für eine Fragestellung entscheidenden Schlüsselfaktoren sind. Und in der Tat, das kann niemand mit Sicherheit sagen. Dies ist darin begründet, daß alle Modelle auf Annahmen aufbauen. Über diese sowie auch über die Idealisierungen und Abstraktionen kann man sich streiten. Hier wird die Analogie zu den verbalen Diskussionen wieder offenkundig. Doch hier

zeigt sich auch der Vorteil der Benutzung der Mathematik. Wenn man jene Modellannahmen akzeptiert, so muß man auch ihre mit Hilfe der Mathematik gefundenen logischen Konsequenzen anerkennen. Also sind Modelle immer vom Typ "Wenn - dann". Wie in den verbalen Diskussionen liefern sie auch nur Schlußfolgerungen. Doch sind diese hier logisch unanfechtbar, sofern die Modellannahmen gültig sind.

Damit ist auch klar, daß Modelle nie einen absoluten Wahrheitsanspruch erheben können. Manchmal hat man den Eindruck, als ob die Sprache der Mathematik nur deshalb benutzt wird, um den Ergebnissen das "Mäntelchen der Exaktheit umzuhängen". Es ist immer zu bedenken, daß Modelle auf Annahmen basieren, deren Gültigkeit nie bewiesen werden kann. Nur die mathematischen Schlußfolgerungen sind exakt. Dies hat dann auch Konsequenzen für die Verläßlichkeit der Vorhersagen mit diesen Modellen. Auch die sind an die Unsicherheiten der Modellannahmen gebunden.

Sogar in der Physik, in der die Benutzung von mathematischen Beschreibungen eine jahrhundertelange Tradition hat, gibt es bei der genauen Vorhersage Probleme. In der Physik kann man zwar im Unterschied zur Ökologie versuchen, die idealisierte Situation der Modelle auch im Experiment im Labor herzustellen. Doch um einen fairen Vergleich durchzuführen, sollte man wie in der Ökologie Vorgänge in der freien Natur betrachten. Deshalb denke man an einen Felsblock, der einen Abhang hinunterrollt. Die Physik ist bis heute nicht in der Lage vorherzusagen, welchen Weg er nehmen und wo er liegen bleiben wird. Doch war die Physik mit Hilfe der Mathematik in der Lage zu zeigen, welche Mechanismen, welche funktionellen Zusammenhänge und welche generellen Prinzipien bei diesem Vorgang eine Rolle spielen. Ganz ähnliche Aufgaben kann auch die Mathematik in der Ökologie erfüllen. Sie kann mithelfen, entscheidende Mechanismen und Zusammenhänge und wichtige Trends aufzudecken.

Literatur

v. GLEICH, A. & E. SCHRAMM, 1992: Mathematische Modelle und ökologische Erfahrung.- Verh. Ges. Ökol. 21: 15-21 (dieser Band).

HALL, C. A. S. & D. L. DEANGELIS, 1985: Models in ecology: paradigms found or paradigms lost.- Bull. Ecol. Soc. Am. 66:339-346.

MCINTOSH, R. T., 1987: Pluralism in Ecology.- Ann. Rev. Ecol. Syst 18: 321-341.

ENGELS, M. & H. T. RATTE, 1992: Randomisierte Ähnlichkeitsanalyse von Biozönosen am Beispiel von Mesokosmos-Versuchen in der Ökotoxikologie.- Verh. Ges. Ökol. 21: 303-308 (dieser Band).

PUTMAN, R. J. & S. O. WRATTEN, 1984: Principles in ecology. - Croom Helm, London.

REMMERT, H., 1984: Ökologie. Ein Lehrbuch. - Springer, Berlin: 334 S.

SCHMIDT, E. & C. WISSEL, 1991: Modelle zur Klassifizierung und Quantifizierung ökologischer Stabilität. - Verh. Ges. Ökol. 19: 709-718.

STARFIELD, A. M. & A. L. BLELOCH, 1986: Building models for conservation and wildlife management. - Collier Macmillan, London.

WILDI, O., 1992: Rolle und Perspektiven statistischer Analytik in der Pflanzenökologie. - Verh. Ges. Ökol. 21: 339-346 (dieser Band).

WIEGLEB, G., 1992: Räumliche Skalierung und explorative Datenanalyse - eine kritische Evaluation. - Verh. Ges. Ökol. 21: 327-338 (dieser Band).

WISSEL, C., 1988: Ziele und Möglichkeiten der theoretischen Ökologie, verdeutlicht am Beispiel der Inseltheorie. - Verh. Ges. Ökol. 18: 483-490.

WISSEL, C., 1989: Theoretische Ökologie. Eine Einführung. - Springer, Berlin: 229 S.

WISSEL, C. & I. A. W. MACDONALD, 1991: Ein Modell zur Optimierung der Bekämpfung von eingewanderten Fremdpflanzen im Fynbos. - Verh. Ges. Ökol. 20: 769-776.

Adresse

Prof. Dr. Ch. Wissel
Fachbereiche Physik und Biologie
Philipps-Universität
Renthof 6

D-3550 Marburg/Lahn

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie

Jahr/Year: 1992

Band/Volume: 21_1992

Autor(en)/Author(s): Wissel Christian

Artikel/Article: Mathematik - Nur eine andere Sprache? 43-47