

Biodiversität in Agrarlandschaften

Modellierung ökologischer Prozesse

Von Claus Mückschel, Nathalie Steiner, Kerstin Wiegand,
Ute Visser und Wolfgang Köhler



Foto: Partauf

Abb. 1: Ein typischer Landschaftsausschnitt des Lahn-Dill-Berglandes, wo auf kleinräumigem Gebiet verschiedene Nutzungstypen aneinander grenzen: Wald, Acker, Grünland und Brachland.

Über lange Zeiträume bewahrte die Landwirtschaft durch die Schaffung von offenen Landschaften, die sich aus Wiesen, Weiden und Äckern zusammen setzten, die Entwicklung einer Vielfalt an Tier- und Pflanzenarten. In den letzten Jahrzehnten jedoch erfuhr die mitteleuropäische Agrarlandschaft tiefgreifende Wandlungen. Ursache dafür war die moderne, intensiv betriebene Landwirtschaft, die mit Technisierung, Meliorationen und Flurausträumung zu einer Verarmung und Uniformierung der Landschaft in floristischer und faunistischer Hinsicht führte. Nachhaltige Landnutzungskonzepte, die sowohl den ökonomischen und sozialen Bedürfnissen der Menschen als auch dem Erhalt der biologischen Vielfalt Rechnung tragen, werden daher dringend benötigt. Modelle können hierbei ein hilfreiches Mittel zur Darstellung und Risikoabschätzung komplexer Zusammenhänge sein. Am Interdisziplinären Forschungszentrum für biowissenschaftliche Grundlagen der Umweltsicherung (IFZ für Umweltsicherung) der Justus-Liebig-Universität Gießen entwickelt die Arbeitsgruppe „Modellierung“ von Prof. Dr. Wolfgang Köhler, Professur für Biometrie und Populationsgenetik, solche ökologischen Werkzeuge.

Seit Jahrhunderten haben anthropogene Einflüsse das Bild europäischer Landschaften verändert. Dabei ist die Landwirtschaft für einen Großteil dieser Veränderungen verantwortlich. Fanden die Eingriffe anfangs lokal und regional nur eng begrenzt statt, so nahmen sie bis zur Gegenwart ständig an Umfang und Intensität, Schnelligkeit und Reichweite zu. Zunächst bewirkte die Schaffung von offenen Landschaften eine Erhöhung der Vielfalt von Tier- und Pflanzenarten; dies betraf vor allem Arten der Wiesen, Weiden und Äcker und damit Offenlandarten. Ab den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts wirkten jedoch Intensivierung und Expansion der Landwirtschaft, welche die Folge einer verstärkten Nachfrage und Produktion agrarischer Güter waren, diesem positiven Trend entgegen. Bis heute wurden circa 25% der gesamten Erdoberfläche in agrarwirtschaftliche Nutzflächen umgewandelt, und nur 10% der ursprünglichen Landschaften blieben unverändert.

Die Folgen des Landnutzungswandels sind mannigfaltig: Änderungen in der Landschaft wirken sich unmittelbar auf die Struktur und Funktion von Ökosystemen (z.B. Biomasseproduktion) und zum anderen auf die



Foto: NABU/Gross

Abb. 2: Die Feldlerche (*Alauda arvensis*) brütet in jeglicher Art von offener, weiträumiger Landschaft, vor allem auf Acker- und Weideland; höhere vertikale Strukturen (Wald, Waldrand, Hecken) werden von ihr gemieden.

mit ihnen interagierenden Systeme (z.B. Atmosphäre) aus. Diese vielfältigen Prozesse und insbesondere deren Veränderungen und ihre Folgen für das Ökosystem bzw. für die Kulturlandschaft sind oftmals nur unter einem erheblichen zeitlichen und kostenintensiven Aufwand empirisch zu erfassen. Hier kommt der ökologischen Modellierung eine wichtige Rolle zu. Modelle können in vereinfachter Form die Wirklichkeit abbilden und so einen besseren Überblick über komplexe Zusammenhänge aufzeigen. Sukzessive können diese einfachen Modelle dann um weitere Prozesse der natürlichen Systeme ergänzt werden. Modelle in der Biodiversitätsforschung und Populationsökologie können dabei sowohl komplexe Strukturen und Abläufe von Ökosystemen analysieren, als auch ganz konkreten Fragen, wie z.B. der Überlebenswahrscheinlichkeit einzelner Tier- oder Pflanzenarten, nachgehen,

wie beispielsweise der Feldlerche (Abb. 2) oder der Goldammer (vgl. Abb. 5).

Mittlerweile hat sich die Modellierung und Simulation ökologischer Prozesse als ein wertvolles Werkzeug für die wissenschaftliche Arbeit zum Verständnis der Organisationsprinzipien von Ökosystemen etabliert. Vor allem in Verbindung mit Geographischen Informationssystemen (GIS) können Modelle als wichtige Entscheidungshilfen im Umwelt- und Landschaftsmanagement eingesetzt werden. Modelle sind aus der modernen Umweltforschung nicht mehr weg zu denken.

Die Mitarbeiter der Professur für Biometrie und Populationsgenetik beschäftigen sich u. a. mit dem Einfluss von Landnutzungsänderungen und entwickeln Modelle, die die Auswirkungen von Landnutzungsänderungen auf den Artenreichtum einer Landschaft simulieren. Dadurch war es möglich, wichtige Erkenntnisse über die di-

JUSTUS-LIEBIG-
UNIVERSITÄT
GIESSEN

Prof. Dr. Wolfgang Köhler

IFZ für Umweltsicherung
Heinrich-Buff-Ring 26-32
35392 Gießen
Tel.: 0641/99-37541
Fax: 0641/99-37549
Email: Wolfgang.Koehler@agr.uni-giessen.de



Wolfgang Köhler, Jahrgang 1941, Studium in Marburg und Berlin, Dipl.-Mathematiker, Promotion und Habilitation in Genetik und Biometrie, seit 1980 Professor für Biometrie und Populationsgenetik am Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökotoxikologie und Umweltmanagement der Justus-Liebig-Universität Gießen.

rekten und indirekten Folgen von Landnutzungsänderungen zu gewinnen.

Wie verhalten sich Tierarten bei Änderungen der Landnutzung?

Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs „Landnutzungskonzepte

für periphere Regionen“ (SFB 299, vgl. Spiegel der Forschung, Mai 2000) wurden für das Lahn-Dill-Bergland die Verteilung und Überlebenswahrscheinlichkeiten von Tierarten wie Fuchs, Feldlerche und Goldammer unter verschiedenen Landnutzungsszenarien simuliert (Weber et al. 1999, Weber et al. 2001). Grundlage dafür waren je-

weils digitale Landnutzungskarten, die aus Satellitenaufnahmen abgeleitet wurden (Abb. 3, vgl. Nöhles 2000). Durch die Verknüpfung von digitalen Karten aus Geographischen Informationssystemen mit Computermodellen wurden ein räumlicher Bezug zur Landschaft hergestellt und für die betrachteten Landschaftsausschnitte Prognosen

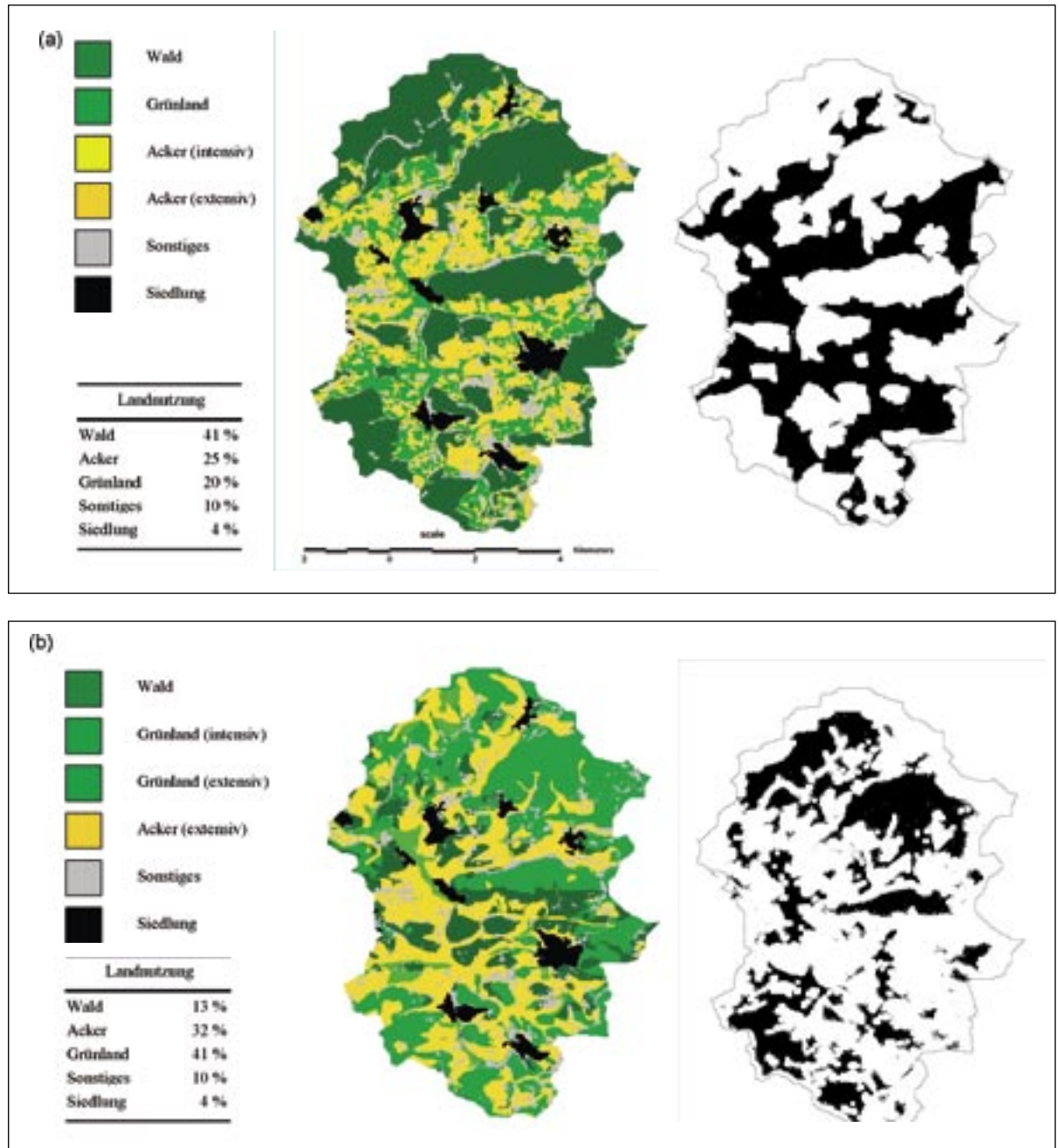


Abb. 3: Simulierte Verteilung der potentiellen Bruthabitate der Feldlerche (*Alauda arvensis*) im Lahn-Dill-Bergland; die schwarz schraffierten Flächen (rechts) weisen eine Auftrittshäufigkeit von über 5% aus. (a) Landnutzungskarte aus einer Satellitenbildauswertung (vgl. Nöhles 2000), (b) Grünland-Szenario (vgl. Weinmann 2002): Der Waldanteil wird zugunsten von Acker- und Grünlandflächen verkleinert, trotzdem verminderte sich der potentielle Brutrevieranteil in der Region.



Graphik: Institut für Landeskultur

Claus Mückschel, Jahrgang 1969, Studium der Biologie an der Johannes-Gutenberg Universität Mainz. Diplomarbeit am Institut für Spezielle Botanik zur Vegetationsökologie aufgelassener Steinbrüche. 2001 wurde er an der Justus-Liebig-Universität mit einer Arbeit zur Plastizität populationsbiologischer Merkmale von Pflanzenarten unter Beweidungseinfluss promoviert. Seit August 2001 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Rahmen des SFB 299, Teilprojekt E 1 (Aufbau eines Umweltinformationssystems) tätig.

abgeleitet. Landnutzungsänderungen wurden simuliert und die sich daraus jeweils ergebende potentielle Verbreitung der Tierarten berechnet, so etwa von Bruthabitaten der Feldlerche (Abb. 3, vgl. Weber et al. 1999).

Landnutzungsänderungen ergeben sich in der Praxis meist durch die agrarpolitischen Rahmenbedingungen, etwa die Förderung bestimmter Nutzungsformen (Intensivierung/Extensivierung). Bei der Feldlerche, einer Charakterart des Offenlandes, wurden die potentiellen Folgen einer Erhöhung des Grünlandanteils (Grünland-Szenario) auf die Populationsgröße simuliert (Abb. 3). Die potentiellen Vorkommen der Feldlerche wurden dabei als Funktion der Habitatsprüche modelliert; deshalb zeigt der modellierte Landschaftsausschnitt ein annähernd vollständiges Bild der möglichen Verbreitung der Feldlerche. Allerdings zeigten die Simulationen des Grünland-Szenarios auch überraschende Ergebnisse. Obwohl der Anteil des Waldes – dieser wird von der Feldlerche gemieden – zugunsten von Acker- und Grünlandflächen verkleinert wurde, verminderte sich insgesamt der potentielle Brutrevieranteil in der untersuchten Region. Offensichtlich hatten andere landschaftsstrukturelle Faktoren, wie hier die Zergliederung des Waldes, für die Feldlerche einen größeren Einfluss auf die Brutrevierwahl, als die blo-



Abb. 5: Trade off-Beziehungen zwischen ökonomischen und ökologischen Landschaftsfunktionen im Einzugsgebiet der Aar (60 km²), Pro Land-Szenarioberechnungen (vgl. Fohrer et al. 2002).

ße Zunahme des Offenlandanteils. Für eine andere Vogelart, die Goldammer, wurde die Brutbestandsdichte mit einer Sequenz unterschiedlicher Landnutzungsszenarien berechnet und in Relation zur land- und forstwirtschaftlichen

Wertschöpfung gesetzt (Fohrer et al. 2002). Als Landschaftsgrundlage dienten hierbei von Agrarökonomen entworfene Landnutzungsszenarien, die aufgrund variierender Schlaggrößen und den daraus resultierenden Arbeiterledigungskosten jeweils eine Veränderung in den Anteilen und der räumlichen Anordnung der Landnutzungen erfuhren (Abb. 4).

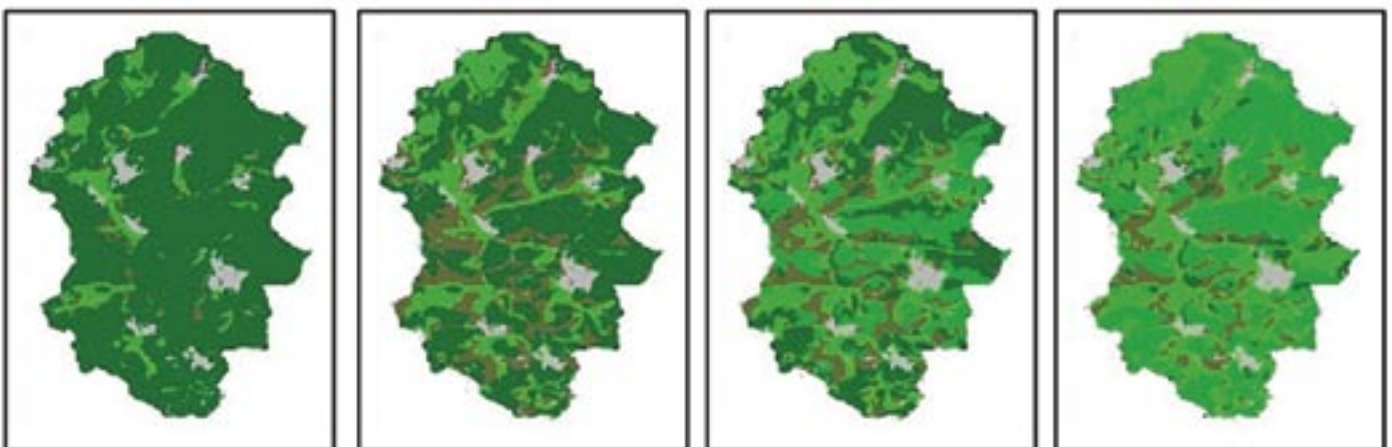


Abb. 4: Landnutzungsszenarien mit unterschiedlich großen Grünland- und Ackerbauschlägen. Die Schlaggröße nimmt von links (0,5 ha) nach rechts (2 ha) um jeweils 0,5 ha zu. Dunkelgrün = Wald, hellgrün = Grünland, braun = Acker, grau = Siedlung, lila = Brache (vgl. Weinmann 2002).



Nathalie Steiner, Jahrgang 1970, hat Biologie und Geographie mit Schwerpunkt Ökologie an der Universität Gießen studiert. In ihrer Diplomarbeit untersuchte sie den Einfluss der Bewirtschaftung und landschaftstypischer Elemente auf die Heuschreckenfauna im Lahn-Dill-Bergland. Mehrere Forschungsaufenthalte führten sie nach Madagaskar und Kreta. Seit Februar 2000 arbeitet sie im Sonderforschungsbereich „Landnutzungskonzepte für periphere Regionen“, Teilprojekt A3, an ihrer Dissertation über den Zusammenhang von räumlichen Mustern und Artenreichtum in Landschaften.

Durch die Koppelung ökonomischer Kenndaten land- und forstwirtschaftlicher Produktion und der Brutbestandsdichte der Goldammer konnten sowohl win-win-Situationen als auch trade off-Situationen zwischen ökonomischer Wertschöpfung und Goldammerbestand identifiziert und quantifiziert werden (Abb. 5).

Artenvielfalt und räumliche Anordnung von Habitaten

Ökologen vermuten seit langem, dass die Zusammensetzung und das räumliche Muster einer Landschaft von hohem Stellenwert für Artenvielfalt und Biodiversität eines Gebietes sind. Die räumliche Anordnung von Habitaten oder Lebensräumen ist von großer Bedeutung für die Stabilität, also die Überlebenswahrscheinlichkeit, von Populationen sowie für deren Ausbreitung in der Landschaft. Wie sich die Artenvielfalt von Tier- und Pflanzengruppen insgesamt in un-

terschiedlich räumlich konfigurierbaren Landschaften entwickelt ist allerdings noch weitgehend ungeklärt.

Diesem versucht Nathalie Steiner mit ihrem Modell ANIMO auf die Spur zu kommen. Das Grundgerüst des Modells besteht aus virtuellen Landschaften, die 100x100 Zellen umfassen. Jede Zelle entspricht dabei in der Natur einem Landschaftsausschnitt von jeweils 25x25 m. Diese Landschaften setzen sich aus den drei Nutzungen Acker, Grünland und Brache zusammen, die die Hauptnutzungstypen der Offenlandschaft im Lahn-Dill-Bergland darstellen. Durch Variation der Flächenanteile und der räumlichen Verteilung der drei Nutzungstypen wurden mit dem Computer verschiedene unterschiedlich konfigurierte Landschaften generiert und ihr jeweiliger Einfluss auf die Artenvielfalt untersucht. Die Landschaften unterschieden sich dabei bezüglich ihrer Zusammensetzung. Dazu wurde der relative Flächenanteil der drei Nutzungstypen vari-

iert, ausgehend von einem gleichen Anteil aller drei Typen bis hin zur Dominanz eines der Nutzungstypen. Bezüglich der räumlichen Nutzungsmuster wurde von einer relativ gleichmäßigen bis zu einer stark geklumpten Anordnung der einzelnen Nutzungen unterschieden (Abb. 6).

Jedem Nutzungstyp wurde hinsichtlich der Tier- und Pflanzenwelt ein spezifisches Artenspektrum zugewiesen mit einem Anteil an ‚Generalisten‘, also weit verbreiteten und häufigen Arten, und einem Anteil an ‚Spezialisten‘, also auf diesen Lebensraum oder Nutzungstyp spezialisierte Arten. Dieser Anteil der sogenannten Habitatspezialisten und -generalisten wurde für verschiedene Simulationsläufe variiert. In späteren Simulationsläufen wurden dazu auch die empirisch erhobenen Daten der ökologisch ausgerichteten Teilprojekte im SFB 299 einbezogen, um eine Realitätsnähe der prognostizierten Ergebnisse zu gewährleisten.

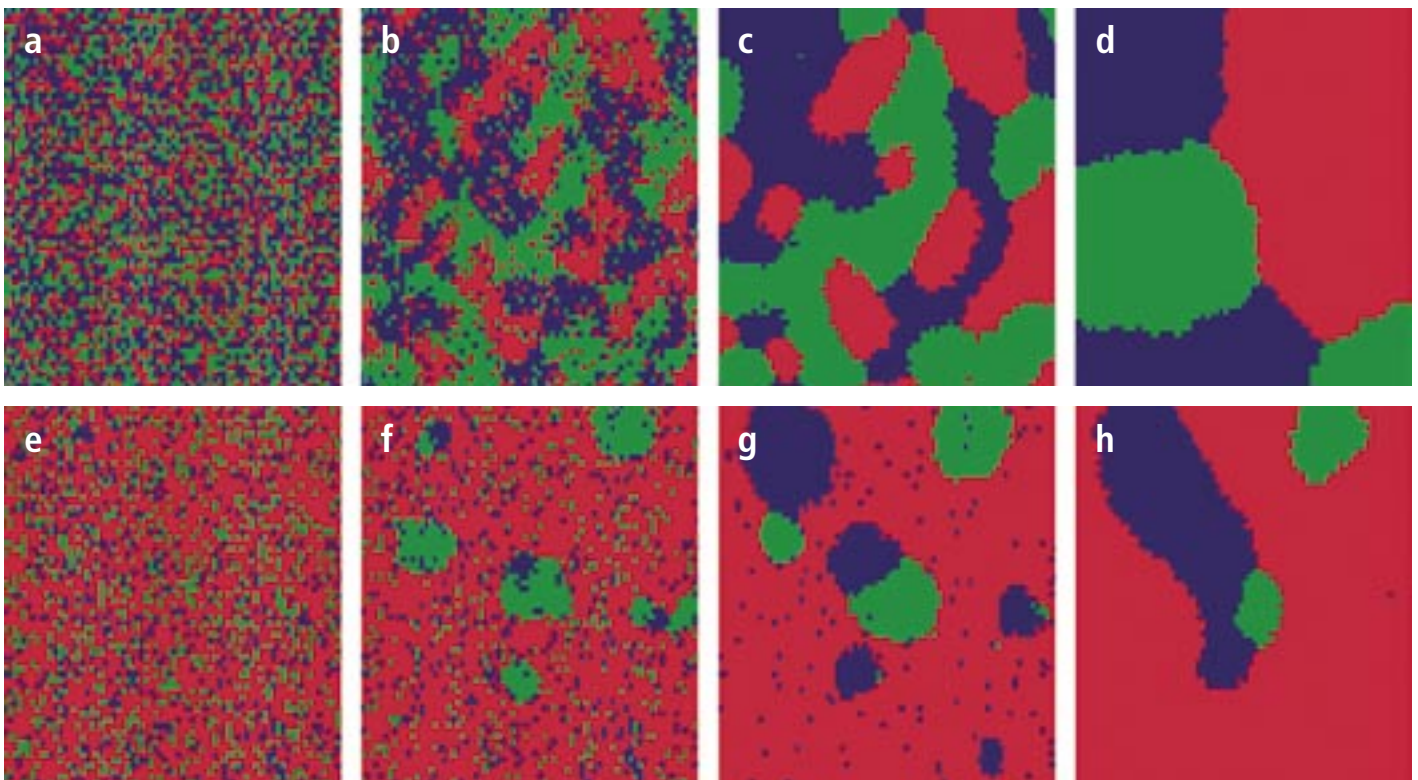


Abb. 6 a-h: Verschieden aggregierte, virtuell erzeugte Landschaften. Jede virtuelle Landschaft beherbergt drei Nutzungstypen (Brache = blau, Wiese = grün, Acker = rot) zu gleichen (a-d) und ungleichen Flächenanteilen (e-h; Ackernutzung dominiert). Die Aggregation der Landschaft nimmt von a-d und von e-h zu (33%-95%).



Es zeigte sich, dass die Anordnung und Verteilung der drei verschiedenen Nutzungstypen einen entscheidenden Einfluss auf die Artenvielfalt in der Landschaft ausübt: Je großräumiger die einzelnen Nutzungstypen in einer Landschaft auftraten, das heißt je mehr benachbarte Zellen zu einer Nutzungsform gehörten (Abb. 6d und 6h), desto niedriger waren die Artenzahlen pro Zelle und desto ähnlicher waren die angrenzenden Zellen in ihrem Arteninventar (Zusammensetzung und Zahl). Zusätzlich war das Verhältnis von Habitatgeneralisten zu Spezialisten relevant: Mit steigender Anzahl an Habitatgeneralisten in einer Landschaft nahm erwartungsgemäß die Artenvielfalt pro Zelle zu.

Zudem wurden Daten der Flora und Fauna eines Testgebietes als Ausgangsbasis für die Simulationen genommen. Entscheidend für die Artenvielfalt waren – neben der räumlichen Anordnung der verschiedenen Nutzungen – insbesondere auch der relative Flächenanteil der jeweils artenreichsten Nutzungsform.

Während der gesamten Untersuchung war es stets wichtig, das Spezialwissen aus den verschiedenen Disziplinen (hier: Modellierung, Tier- und Landschaftsökologie sowie die entsprechenden Modelle aus der Ökonomie) zusammen zu führen, um die komplexen Wechselwirkungen in der Natur möglichst realistisch abbilden und einordnen zu können. In einem

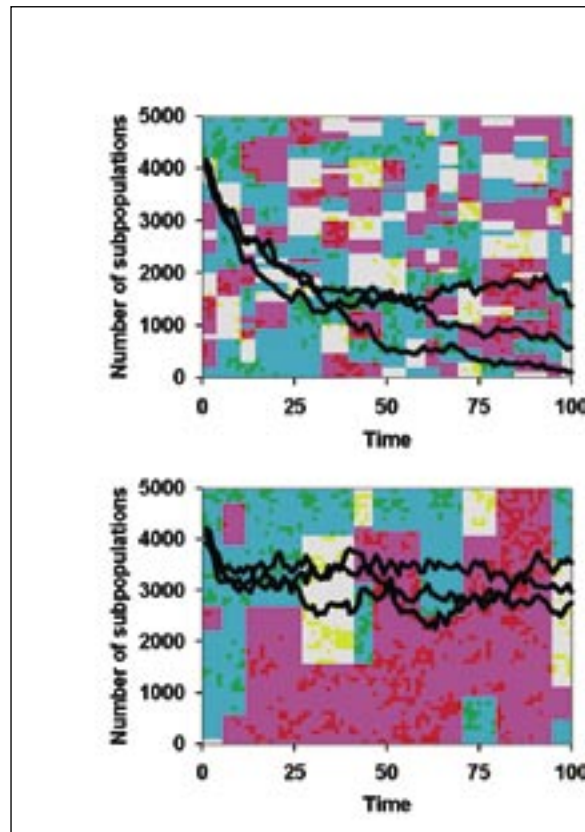


Abb. 7: Zwei mit dem Model MOBILE erzeugte Landschaften unterschiedlicher Landschaftskomplexität und das Vorhandensein von Subpopulationen von drei imaginären Arten. Die drei Arten haben enge Habitatspezifitäten und unterscheiden sich dadurch, dass sie jeweils einen anderen der drei Habitatstypen bevorzugen. Pink: leere Ackerzellen, rot: besetzte Ackerzellen, weiß: leere Brachezellen, gelb: besetzte Brachezellen, türkis: leere Wiesenzellen, grün: besetzte Wiesenzellen. („Besetzt“ bedeutet: besetzt durch mindestens eine Art.) Schwarz: simulierte Zahl der Subpopulationen dieser imaginären Arten über der Zeit. Man sieht, dass die Arten in der komplexeren Landschaft allmählich aussterben. Dies kann durch die kleinere Größe und höhere Isolation der Patches erklärt werden.

Kerstin Wiegand, Jahrgang 1969, Studium der Physik und Theoretischen Ökologie an der Philipps-Universität Marburg und der Università degli Studi di Milano, Italien. Diplom- und Doktorarbeit (1999) am Umweltforschungszentrum (UFZ) Leipzig/Halle über die Überlebenschancen von Reptilien in stark fragmentierten Lebensräumen und die Populationsdynamik von Akazien in der israelischen Wüste Negev. Zwei Jahre lang war sie als Postdoktorandin an der Princeton University, USA. Seit 2001 ist sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin im Rahmen von BIOPLEX (Biodiversität und räumliche Komplexität in Agrarlandschaften) tätig.



Ute Visser, Jahrgang 1976, Studium der Biologie von 1995 bis 2001 an der Philipps-Universität Marburg und der Universidad de Extremadura, Badajoz, Spanien, mit den Schwerpunkten Theoretische Ökologie, Mykologie und Phytopathologie, Diplomarbeit in theoretischer Ökologie zum Ausbreitungsverhalten von Lupinen in Naturschutzgebieten; seit 2001 Entwicklung eines Simulationsmodells zu phytopathogenen Insekten und Gegenspielerpopulationen in Abhängigkeit von agrarischer Landschaftsstruktur an der Justus-Liebig-Universität Gießen.

weiteren Schritt soll nun das Modell um verschiedene Module ergänzt und auf reale Landschaften angewendet werden.

Raumzeitliche Dynamik von Populationen

In dem Modell MOBILE, das Kerstin Wiegand entwickelt, wird neben der räumlichen Konfiguration verschiedener Habitattypen auch die raumzeitliche Dynamik von Tierpopulationen, so etwa von Laufkäfern (Carabidae) und anderen Gliederfüßern (Arthropoda), modelliert. Das heißt, es wird berücksichtigt, dass lokale Populationen einer Art aussterben können und dass unbewohnte, aber prinzipiell geeignete Flächen neu kolonisiert werden können. Kolonisierung ist möglich, wenn Tiere aus anderen Räumen abwandern, die Wanderung durch möglicherweise für die betreffende Art ungeeignete Gebiete überleben und nach ihrer Ankunft eine neue lokale Population gründen können. Da man nicht exakt vorhersagen kann, wann Tiere aussterben und welchen Weg sie auf ihrer Wanderung einschlagen, werden diese Prozesse stochastisch, also zufallsabhängig, modelliert. Hierzu wird im Modell festgelegt, wie groß die Überlebenswahrscheinlichkeit einer Laufkäferart in bestimmten Situationen ist, z.B. bei Aufenthalt in einem bestimmten Habitat. Das heißt, dass man mit

Hilfe von computergenerierten Zufallszahlen über das Überleben bzw. die eingeschlagene Richtung entscheidet. Das Ziel der Untersuchungen mit MOBILE (vgl. Abb. 7) ist es herauszufinden, wie Tiere mit bestimmten Eigenschaften (Habitatpräferenz, Mobilität, Überlebensfähigkeit lokaler Populationen) in unterschiedlich konfigurierten Landschaften überleben können. Also werden auch in diesem Projekt mittels Computermodellen ökologische Felduntersuchungen mit theoretischen Untersuchungen zusammengeführt.

Die angeführten Beispiele zeigen, wie wichtig es bei dem gegenwärtigen Stand der Forschung ist, die Daten verschiedener Wissenschaftsdisziplinen – in unserem Fall Landschaftsökologie, Tierökologie, Ökonomie und Modellierung – in integrativen Ansätzen zu kombinieren. Hierdurch kann ein tieferes Verständnis des Einflusses der komplexen und dynamischen Agrarlandschaft auf die Biodiversität erzielt werden, als dies durch ausschließliche Felduntersuchungen möglich wäre. Modelle können brauchbare Hypothesen für weitere Feldaufnahmen entwickeln und dabei helfen, aus dem komplexen Informationsgefüge einfache Strukturen herauszuarbeiten. So werden sie in Zukunft dazu beitragen, den Erfassungsaufwand erheblich zu reduzieren. Simulationsmodelle bieten zudem eine wichtige Entscheidungsgrundlage für die Verab-

schiedung zukünftiger agrarpolitischer Rahmenbedingungen. So lassen sich die potentiellen Folgen von Förderprogrammen im Agrarbereich und die sich daraus ergebenden Landnutzungsänderungen über Modelle simulieren. Mögliche Schwächen im System können somit vorab ermittelt werden. Mittels verschiedener Szenarien können dabei die Wirkungen auf Ökonomie oder die Tier- und Pflanzenwelt prognostiziert werden.

Weitere Informationen sowie Links zum Thema ‚Modellierung‘ erhalten Sie auf der Homepage der Professur für Biometrie und Populationsgenetik unter www.uni-giessen.de/biometrie.

LITERATUR

- [1] Steiner, N., Dauber, J., Hirsch, M., Knecht, C., Otte, A., Purtauf, T., Simmering, D., Waldhardt, R., Wolters, V. & Köhler, W. (2002): Modellierung der Artenvielfalt in Abhängigkeit vom Landschaftsmuster. - Berichte über die Landwirtschaft Bd.80(03):468-481.
- [2] Weber, A., N. Fohrer & Möller, D. (2001): Longterm land use changes in a mesoscale watershed due to socio-economic factors - effects on ecological landscape functions. - Ecological Modelling 140: 125-140.
- [3] Weber, A., Hoffmann, M., Wolters, V. & Köhler W. (1999): Ein Habitateignungsmodell für die Feldlerche (*Alauda arvensis*) basierend auf einem zellulären Automaten. - Verh. Ges. Ökologie 29: 329-336.
- [4] Wiegand, K., Henle, K. & Sarre, S. (2002): Extinction and spatial structure in simulation models. - Conservation Biology 16: 117-128.