

Zellulärer Automat zur Simulation der Sukzession auf Niedermoorstandorten bei unterschiedlichen Managementmaßnahmen

Maren Belde und Otto Richter

Synopsis

Simulation of succession at fen sites after different management practices with a cellular automaton

As part of the BMBF compound project »Management of fen ecosystems« the effects of different management practices on four fen sites in Northern Germany are investigated. The present study is about the modelling of succession of fen species based on a cellular automaton, which enables simulation of stochastically clonal and seed dispersal. The cellular automaton consists of a lattice of 4 x 4 m² large cells that are defined by the occurrence and covering of frequently found species. Simulation results for the dispersal of the four species *Elymus repens*, *Glyceria maxima*, *Phalaris arundinacea* and *Urtica dioica* under different management practices are shown. Further studies will combine this model with a geographic information system (GIS) to enable spatial predictions on nature conservation management.

Zellulärer Automat, Modellierung, Simulation, Sukzession, Niedermoor, Nachbarschaft, Konkurrenz

Cellular automaton, modelling, simulation, succession, fen, neighbourhood, competition

Deshalb wird ein Modell entwickelt, das die Auswirkungen der Managementmaßnahmen auf die Sukzession simuliert. Als Modellgrundlage dient ein zweidimensionaler Zellulärer Automat, mit dem sich unter Berücksichtigung von Nachbarschaftsbeziehungen räumliche Zusammenhänge darstellen lassen.

Zelluläre Automaten oder raster- bzw. gitterbasierte Modelle werden in den letzten Jahren vermehrt bei der Modellierung ökologischer Fragestellungen eingesetzt (z.B. JELTSCH 1994, KUMMER & al. 1994, MARSULA & RATZ 1994, RATZ 1994, WIEGAND & al. 1994, WINKLER & al. 1994, WISSEL 1991). Sie finden z.B. Verwendung, um klonales Wachstum einzelner Pflanzenarten (INGHE 1989) sowie die Konkurrenz zwischen Annuellen (WEINER & CONTE 1981), einer einjährigen und einer ausdauernden Pflanzenart (CRAWLEY & MAY 1987) oder mehreren Ausdauernden (SILVERTOWN & al. 1992) zu modellieren.

Mit dem hier vorgestellten Modell wird versucht, die Sukzession von Niedermooren anhand einer Reihe von Pflanzenarten zu modellieren, die in den Untersuchungsgebieten des BMBF-Verbundvorhabens Dominanzbestände ausbilden. In einem weiteren Schritt soll das Modell mit einem Geographischen Informationssystem (GIS) gekoppelt werden, um landschaftsbezogene Aussagen treffen zu können (s. dazu RICHTER & al. 1996).

1 Einleitung

In dem BMBF-Verbundvorhaben »Ökosystemmanagement für Niedermoor« wird an vier Standorten in Norddeutschland (Dümmer, Drömling, Rhinluch und Friedländer Große Wiese) untersucht, inwieweit durch bestimmte Managementmaßnahmen in Niedermooren Torfschwund minimiert oder Torfwachstum erneut initiiert sowie artenreiche Wiesen aufgebaut werden können. Diese Ziele sollen durch weitgehend ganzjährige oder winterliche Vernässung mittels Umsetzung von Pflege- und Entwicklungsplänen oder herkömmlicher Landbewirtschaftung realisiert werden (PFADENHAUER 1995).

Ein besonderes Augenmerk hinsichtlich dieser Zielsetzung verdient die Vegetationsentwicklung.

2 Das Modell – ein rasterbasierter Ansatz

Als Modellansatz wird ein Zellulärer Automat verwendet, mit dem die räumliche Ausbreitung einzelner Pflanzenarten simuliert wird. Dazu wird das Untersuchungsgebiet in rasterartig angeordnete Zellen der Größe 4 x 4 m² aufgeteilt.

Ein Zellulärer Automat besteht aus Zellen, die bestimmte Zustände einnehmen können. Diese Zustände ändern sich in Abhängigkeit von den Zuständen der Nachbarzellen. Der hier verwendete Zelluläre Automat besitzt die folgenden Eigenschaften:

- Er besteht aus regelmäßig angeordneten, quadratischen Zellen.
- Seine Entwicklung vollzieht sich in Zeitschritten von einem Jahr.

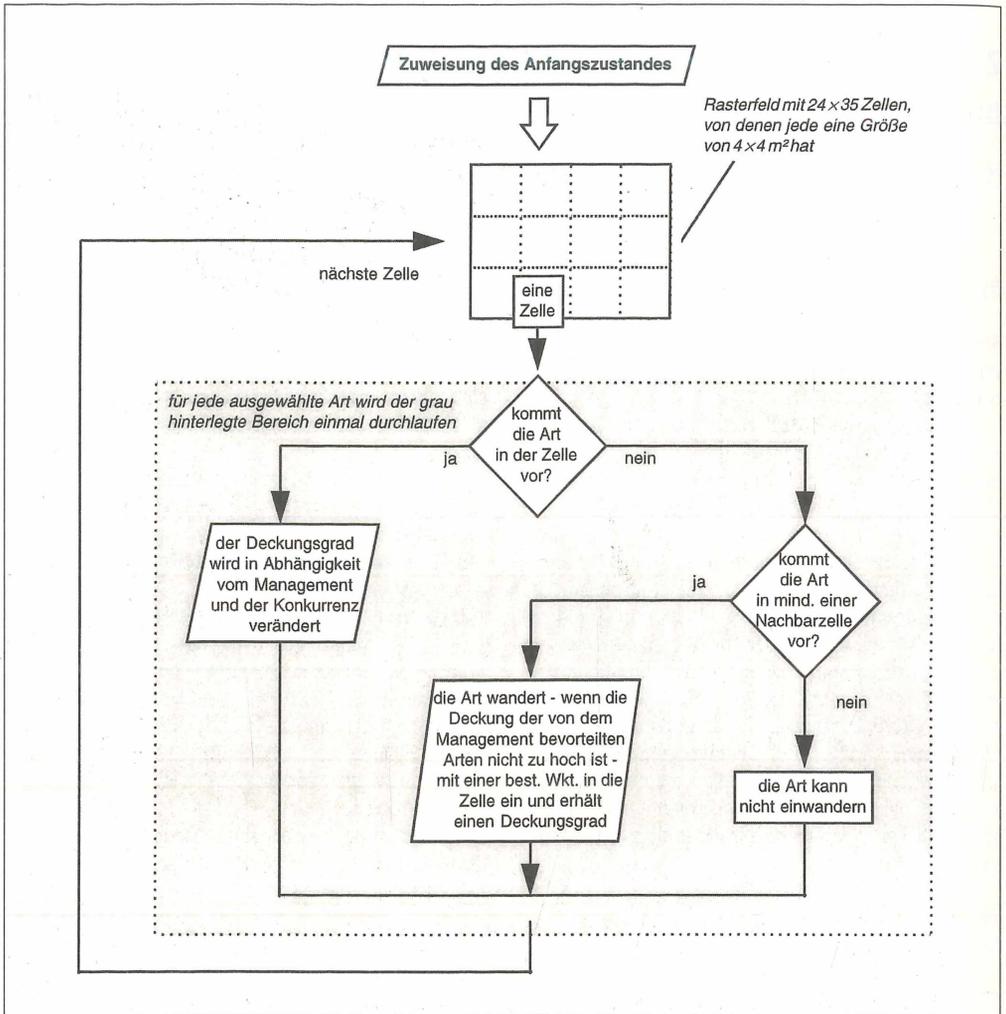


Abb. 1
Schematische Darstellung des Modellablaufes des ersten Zeitschrittes für die vegetative Ausbreitung.

Fig. 1
Schematic description of the model of clonal dispersal for the first time step.

- Jede Zelle besitzt einen definierten Zustand. Der Zustand besagt, mit welchem Deckungsgrad (in sechs Klassen: 0 %, 0–5 %, 5–25 %, 25–50 %, 50–75 %, 75–100 % Deckung) die ausgewählten Pflanzenarten in der Zelle vorkommen.
- Für alle Zellen gelten dieselben Regeln, die den neuen Zustand nach einem Zeitschritt bestimmen. Die Nachbarschaft, die festlegt, welche benachbarten Zellen den neuen Zustand mitbestimmen, ist für alle Zellen gleich, kann jedoch für die einzelnen Arten variieren.

Die Entwicklung erfolgt durch die gleichzeitige Anwendung festgelegter Regeln auf alle Zellen.

Eine Modellübersicht für die vegetative Ausbreitung ist in Abbildung 1 dargestellt. Zu Beginn wird jeder Zelle eines Rasterfeldes ein Anfangszustand zugewiesen. Für jede Zelle und jede Pflanzenart wird überprüft, ob die Art in der Zelle oder in einer Nachbarzelle vorkommt. Ist dies der Fall, wird der Deckungsgrad der Art in Abhängigkeit von den Managementmaßnahmen verändert. Nachdem alle Zellen den neuen Zustand erhalten haben, wird für jede einzelne Zelle der Gesamtdeckungsgrad ermittelt. Beim Überschreiten eines vorgegebenen maximal möglichen Gesamtdeckungsgrades werden die Deckungsgrade der Arten sukzessiv solange verringert bis der maximal mögliche Gesamtdeckungsgrad

<i>Alopecurus geniculatus</i>	Knick-Fuchsschwanz
<i>Carex acuta</i>	Schlanke Segge
<i>Carex acutiformis</i>	Sumpf-Segge
<i>Cirsium arvense</i>	Acker-Kratzdistel
<i>Elymus repens</i>	Kriechende Quecke
<i>Glyceria maxima</i>	Großer Schwaden
<i>Juncus effusus</i>	Flatter-Binse
<i>Phalaris arundinacea</i>	Rohr-Glanzgras
<i>Phragmites australis</i>	Schilfrohr
<i>Ranunculus repens</i>	Kriechender Hahnenfuß
<i>Taraxacum officinale</i> agg.	Löwenzahn
<i>Typha latifolia</i>	Breitblättriger Rohrkolben
<i>Urtica dioica</i>	Große Brennessel

Tab. 1

Ausgewählte Pflanzenarten [Nomenklatur nach WISSKIRCHEN (1993)], deren Ausbreitung modelliert wird.

Table 1

Selection of plant species [nomenclature according to WISSKIRCHEN (1993)]. Dispersal of these species is modelled.

erreicht ist. Die Reihenfolge der Pflanzenarten, mit der ihr Deckungsgrad herabgestuft wird, hängt von den Managementmaßnahmen bzw. den in der Zelle vorliegenden Standortfaktoren ab. Sind die Faktoren für eine Art ungünstig, wird ihr Deckungsgrad – wenn nötig – verringert, während der Deckungsgrad einer anderen Art, die diese Standortfaktoren besser nutzen kann, erhalten bleibt. Durch diese Vorgehensweise wird das Konkurrenzverhalten zwischen den einzelnen Arten in dem Modell berücksichtigt. Ist in allen Zellen der Gesamtdeckungsgrad auf den maximal möglichen Gesamtdeckungsgrad reduziert, ist die Modellierung für einen Zeitschritt abgeschlossen.

3 Ausgewählte Pflanzenarten

Die für das Modell ausgewählten Pflanzenarten (Tab. 1) erfüllen folgende Kriterien:

- Sie bilden in den Untersuchungsgebieten des Verbundprojektes Dominanzbestände aus.
- Sie kommen im Untersuchungsgebiet »Oberes Rhinluch« (Brandenburg, etwa 50 km nordwestlich von Berlin) vor und spielen dort z.T. eine große Rolle.
- Anhand ihres Vorkommens sowie ihrer Abundanz kann auf das Vorkommen weiterer Pflanzenarten geschlossen werden, die für das Niedermoor von Bedeutung sind, jedoch keine Dominanz erlangen.

Zusätzlich weisen faunistische Zielarten, deren Vorkommen ebenfalls innerhalb des Verbundprojektes modelliert wird (SCHRÖDER 1997), eine enge Bindung an einige dieser Pflanzenarten auf.

4 Die Regeln

Wissensakquisition

Um die Regeln aufzustellen, die den neuen Zustand der Zellen bestimmen, sind eine Vielzahl von Informationen notwendig. Die hierfür erforderliche Wissensakquisition erfolgt in Gesprächen mit Expertinnen und Experten. Zusätzlich werden die Ergebnisse aus dem Monitoring des Verbundprojektes ausgewertet. Das Monitoring findet in allen Untersuchungsgebieten für die unterschiedlichen Managementvarianten statt. Dazu wird die Vegetation von 16 bis 25 m² großen Dauerflächen jährlich oder z. T. in jedem zweiten Jahr pflanzensoziologisch aufgenommen. Außerdem gehen autökologische Daten der ausgewählten Arten aus der Literatur in die Regeln ein.

Nachbarschaft

Die Nachbarschaft gibt an, aus welchen benachbarten Zellen ein Einfluß auf die beobachtete Zelle innerhalb eines Zeitschrittes ausgeübt werden kann. In diesem Modell besteht die Möglichkeit, zwischen zwei Nachbarschaftsarten (s. Abb. 2) zu wählen, um so das unterschiedliche »Ausbreitungspotential« der einzelnen Arten zu berücksichtigen. Hier wird die von Neumann-Nachbarschaft bevorzugt verwendet, da sonst die Möglichkeit besteht, daß eine Art ausschließlich »über Eck« in eine Zelle »einwandern« kann.

Für die vegetative Ausbreitung bedarf es bei der gewählten Zellengröße keiner Einführung weiterer Nachbarschaftsradien, da die ausgewählten Arten innerhalb eines Jahres keine größeren Distanzen überwinden können (die Ausweitung der Nachbarschaft auf nicht unmittelbar angrenzende Zellen findet nicht statt).

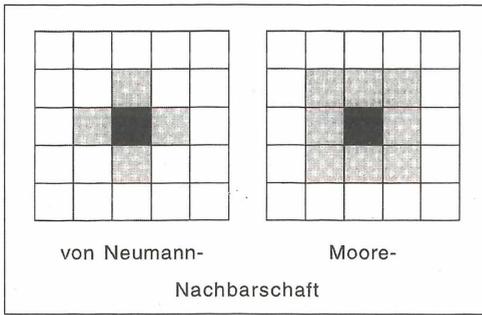


Abb. 2
Beispiele für die von Neumann- und Moore-Nachbarschaft.

Fig. 2
Examples for the von Neumann- and Moore-neighbourhood.

Managementmaßnahmen

Entsprechend der Zielsetzung des Verbundprojektes ist eine Auswahl der Managementmaßnahmen vorgenommen worden (s. Tab. 2), von denen wesentliche Auswirkungen auf die Artenzusammensetzung in den einzelnen Rasterzellen ausgehen. Die Dauer der Vernässung wird in vier Klassen eingeteilt, wobei zwischen den einzelnen Klassen scharfe Grenzen existieren.

Tab. 2
Im Modell integrierte Managementmaßnahmen.

Table 2
Management practices integrated in the model.

Überstau	Mahd
ständig (das ganze Jahr)	zweischürig
lang (mind. bis Frühjahrsanfang)	einschürig
kurz (max. bis Frühjahrsanfang)	keine
keiner	

Regelbildung

Sowohl die Ausbreitungsgeschwindigkeit als auch die Änderung der Deckungsgrade in den einzelnen Zellen werden in diesem Modellansatz über probabilistische Regeln gesteuert.

Diese Übergangswahrscheinlichkeiten hängen u. a. davon ab, wie die einzelnen Arten auf die Managementmaßnahmen reagieren und wie schnell sie sich vegetativ und generativ ausbreiten können. So kann z.B. eine Art mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit in eine Nachbarzelle »einwandern«, wenn die

Konkurrenz nicht zu groß, d. h. die Deckung der schon vorhandenen Pflanzenarten gering genug ist, oder für sie trotz starker interspezifischer Konkurrenz optimale Standortbedingungen vorliegen (vgl. Abb. 1). Eine Auswahl der Regeln für die im Ergebnisteil aufgeführten Beispiele wird im folgenden gegeben (die Zahlen von 0 bis 5, die der »neuen Deckung« zugewiesen werden, entsprechen den sechs Deckungsgradklassen 0, 0–5, 5–25, 25–50, 50–75, 75–100 %):

für jede Zelle

für *Phalaris arundinacea*:

wenn ständiger Überstau, dann

wenn ständiger Überstau im 5. Jahr

hintereinander, dann neue Deckung = 0

sonst wenn alte Deckung = 0, dann

neue Deckung = 0

sonst wenn Überstau im 1. Jahr, dann

mit 50 % Wahrscheinlichkeit

neue Deckung = alte Deckung

und

mit 30 % Wkt. oder wenn alte

Deckung = 1, dann neue

Deckung = alte Deckung – 1 und

mit 20 % Wkt. neue Deckung =

alte Deckung – 2

sonst wenn Überstau im 2. Jahr

hintereinander, dann

mit 35 % Wahrscheinlichkeit

neue Deckung = alte Deckung

und

...

für *Elymus repens*

wenn langer Überstau, dann

wenn alte Deckung = 0, dann

wenn nicht in wenigstens einer

Nachbarzelle vorhanden, dann neue

Deckung = 0

sonst mit 0,5 % Wkt. neue Deckung = 2

und

mit 19,5 % Wkt. neue Deckung = 1

und

mit 80 % Wkt. neue Deckung = 0

sonst mit 50 % Wkt. neue Deckung = alte

Deckung und

mit 30 % Wkt. oder wenn alte

Deckung = 5, dann neue Deckung =

alte Deckung – 1 und

mit 20 % Wkt. neue Deckung = alte

Deckung + 1

...

für *Urtica dioica*

wenn kein Überstau, dann

wenn zweischürige Mahd, dann

wenn alte Deckung = 0, dann

...

5 Ergebnisse

Für unterschiedliche Szenarien wird hier beispielhaft die vegetative Ausbreitung bzw. die Vegetationsentwicklung von *Elymus repens*, *Glyceria maxima*, *Phalaris arundinacea* und *Urtica dioica* gezeigt.

In Abbildung 3 ist die vegetative Ausbreitung einer einzigen Art ohne Konkurrenz dargestellt. Bei einem über 30 Jahre gleichbleibenden Management von einschüriger Mahd und langem Überstau breitet sich *Phalaris arundinacea*, die zu Beginn in einer einzigen Zelle mit einer Deckung unter 5 % vorkommt, auf einer ca. 1 ha großen Fläche aus. Im Zentrum der Fläche liegen die Deckungsgrade zumeist zwischen 50 und 100 %, am Rand ist vorwiegend noch eine Deckung unter 5 % zu verzeichnen. Die Ausdehnung über die Länge und Breite der Fläche beträgt maximal nach 10 Jahren 48 m, nach 20 Jahren 84 m und nach 30 Jahren 128 m.

Das vegetative Ausbreitungsverhalten zweier Arten unter gegenseitiger Konkurrenz ist Abbil-

dung 4 zu entnehmen. In einer Zelle werden *Elymus repens* und *Urtica dioica* mit einer Deckung zwischen 25 und 50 % vorgegeben, alle anderen Zellen sind vegetationsfrei. Die Fläche wird einmal pro Jahr gemäht und ist nie überstaut. Obwohl *Urtica dioica* in den ersten Jahren in der Mehrzahl der Zellen gegenüber *Elymus repens* dominiert, ist das Verhältnis der Zellen, in denen jeweils eine der beiden Arten einen höheren Deckungsgrad aufweist, nach 15 Jahren ausgeglichen. In jeweils 12 Zellen kommen beide Arten gemeinsam sowie jede allein vor. Der Schwerpunkt von *Elymus repens* liegt im rechten unteren Bereich, der von *Urtica dioica* befindet sich auf der linken Seite des von den Pflanzen eingenommenen Zellenbereiches. Die Ausdehnung beträgt über die Länge und Breite maximal 32 m. Die Vegetationsbedeckung ist in den meisten Zellen sehr hoch: 28 der 36 Rasterzellen weisen Deckungsgrade der dominierenden Art von über 50 % auf.

In Abbildung 5 ist die Vegetationsentwicklung einer 140 x 96 m² großen Fläche in drei aufeinander-

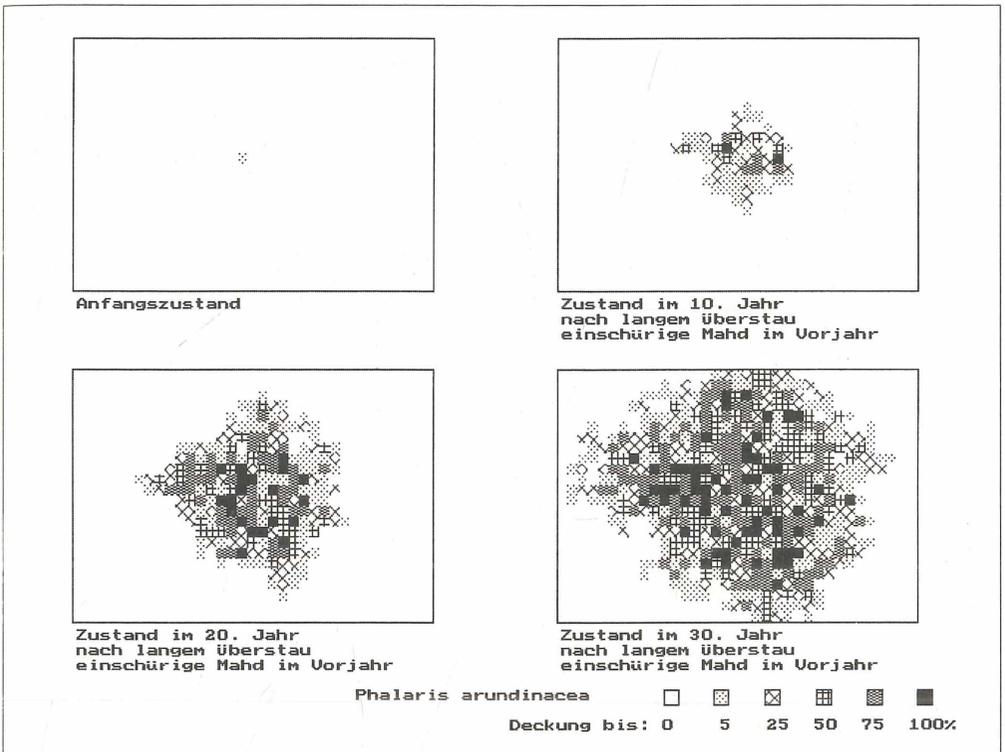


Abb. 3

Vegetative Ausbreitung von *Phalaris arundinacea* ohne Konkurrenz innerhalb von 30 Jahren mit sich jährlich wiederholendem langem Überstau und einschüriger Mahd (von Neumann-Nachbarschaft; Rastergröße: 140 x 98 m² (35 x 24 Rasterzellen)). Ausgangssituation: Deckung max. 5 % in einer Zelle.

Fig. 3

Clonal dispersal of *Phalaris arundinacea* without competition in 30 years under annual repeated long flooding and single mowing (von Neumann-neighbourhood; lattice size: 140 x 98 m² (35 x 24 cells)). Initial arrangement: covering max. 5 % per cell.

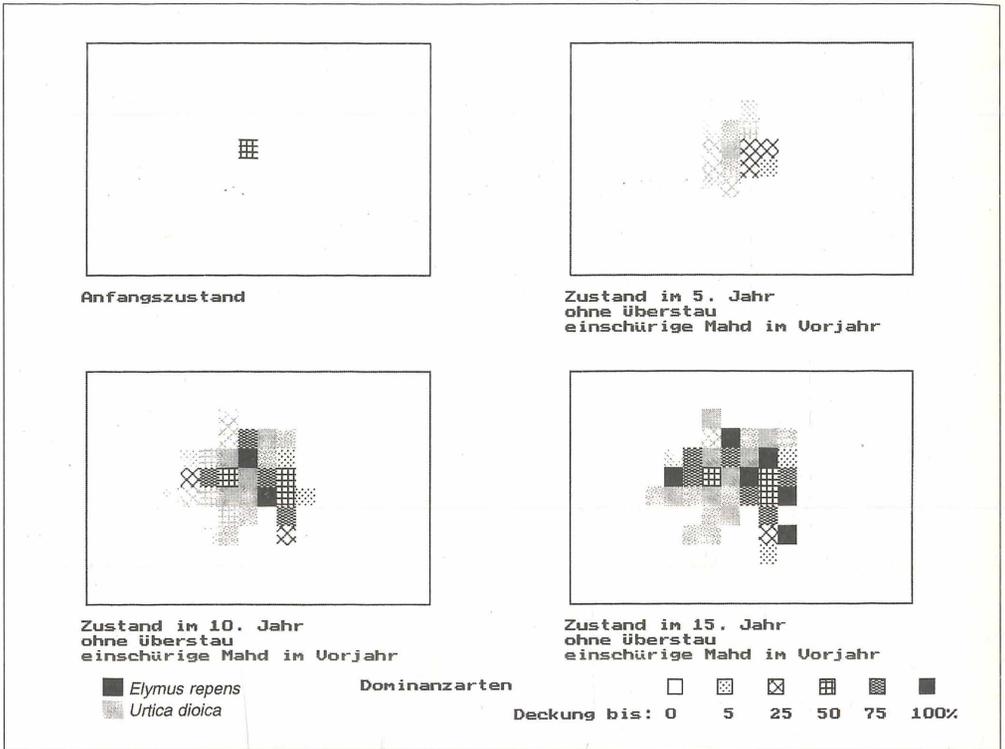


Abb. 4

Konkurrenz von *Elymus repens* und *Urtica dioica* bei der vegetativen Ausbreitung innerhalb von 15 Jahren ohne Überstau und mit jährlicher einschüriger Mahd (von Neumann-Nachbarschaft, Rastergröße: $72 \times 48 \text{ m}^2$ (18×12 Rasterzellen)). Ausgangssituation: Deckung von *Elymus repens* und *Urtica dioica* zwischen 25 und 50% in einer Zelle. Es ist jeweils die Art dargestellt, die in den einzelnen Rasterzellen die höchsten Deckungsgrade aufweist.

folgenden Jahren dargestellt. Die Art der Bewirtschaftung wechselt in jedem Jahr. Auf der Fläche kommen die vier Arten *Elymus repens*, *Glyceria maxima*, *Phalaris arundinacea* und *Urtica dioica* mit unterschiedlichen Deckungsgraden vor. In den gepunkteten Zellen sind einige Arten vertreten, es dominiert jedoch keine von ihnen. Im ersten Jahr nach zweifacher Mahd und ohne winterlichen Überstau nehmen *Elymus repens* und *Urtica dioica* deutlich zu. In einem großen Teil der Rasterzellen, in dem keine Art stärker als eine andere vertreten war, dominiert nun Quecke oder Brennessel. Nachdem die Fläche im 1. Jahr einmal gemäht und im 2. Jahr mindestens bis in das Frühjahr überstaut wird, geht der Anteil der von *Elymus repens* und *Urtica dioica* dominierten Zellen wieder zurück. Dagegen nehmen *Glyceria maxima* und *Phalaris arundinacea* zu. Im 3. Jahr ist die Fläche ständig überstaut und *Elymus repens* und *Urtica dioica* kön-

Fig. 4

Competition of *Elymus repens* and *Urtica dioica* concerning clonal dispersal within 15 years without flooding but annual single mowing (von Neumann-neighbourhood; lattice size: $72 \times 48 \text{ m}^2$ (18×12 cells)). Initial arrangement: covering of *Elymus repens* and *Urtica dioica* from 25 to 50% per cell. In each cell the species with the highest degree of coverage is shown.

nen nur in wenigen vereinzelt Zellen überleben und erlangen in keiner dieser Zellen den höchsten Deckungsgrad. Durch den ständigen Überstau ist in einigen Rasterzellen die Vegetation völlig abgestorben.

6 Diskussion

Für die hier gezeigten Simulationsergebnisse existieren bislang keine langjährigen Untersuchungen auf Rasterbasis, mit denen das Modell validiert werden könnte. Jedoch erlauben die Ausbreitungsgeschwindigkeiten einzelner, das Konkurrenzverhalten zwischen unterschiedlichen Arten und die Veränderung der Vegetation in den beobachteten Dauerflächen bei einer bestimmten Bewirtschaftung sowie das Expertenwissen eine Beurteilung der Modellergebnisse. Danach liefert das Modell realitätsnahe Ergebnisse:

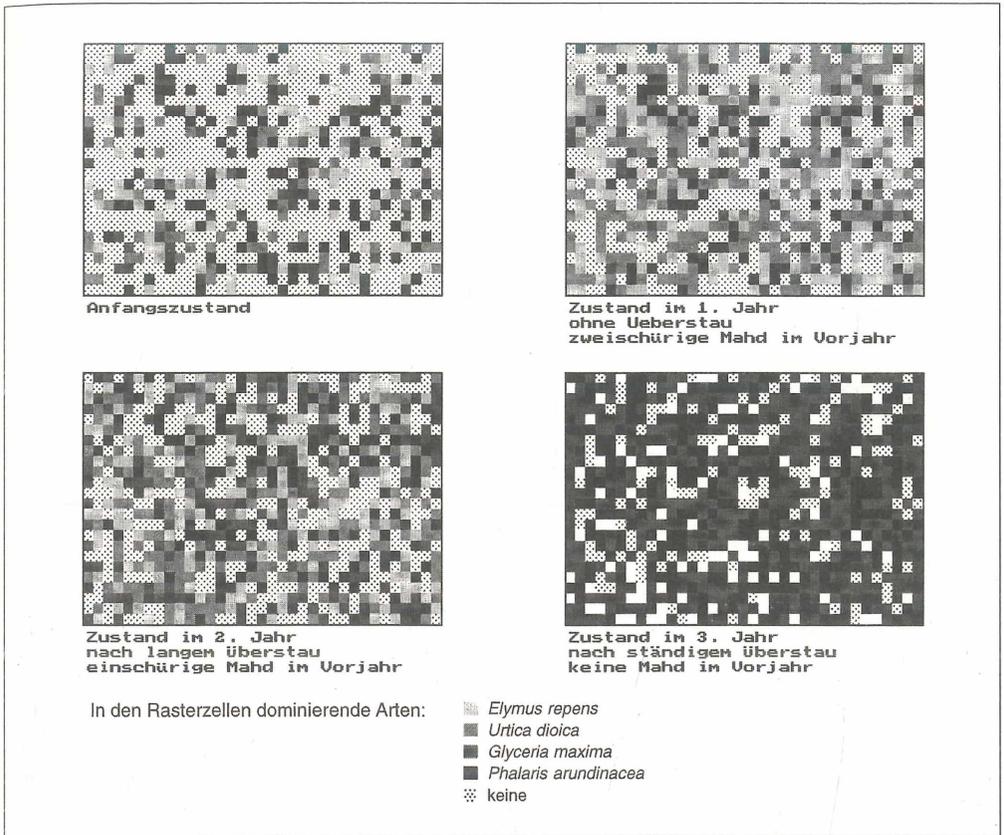


Abb. 5

Einfluß unterschiedlicher Managementmaßnahmen auf das Vorkommen der vier Arten *Elymus repens*, *Glyceria maxima*, *Phalaris arundinacea* und *Urtica dioica* (von Neumann-Nachbarschaft; Rastergröße: 140 x 98 m² (35 x 24 Rasterzellen)). Zufällig erzeugte Ausgangssituation; dargestellt sind die Arten, die in den einzelnen Zellen die höchsten Deckungsgrade aufweisen.

Bei Managementmaßnahmen, die *Phalaris arundinacea* im Gegensatz zu vielen anderen der ausgewählten Arten begünstigen, kann sich die Art ohne Konkurrenz innerhalb von 30 Jahren in eine Richtung um etwa 60 m ausbreiten. Das entspricht einer Ausbreitungsgeschwindigkeit von durchschnittlich 2 m pro Jahr. Für *Elymus repens* und *Urtica dioica* beträgt dieser Wert etwa 1 m pro Jahr, der allerdings unter Konkurrenz der beiden Arten ermittelt wurde. Aus Abbildung 4 ist zu entnehmen, dass beide Arten nach 15 Jahren vorwiegend in dem Zellenbereich dominieren, in dem sie schon nach fünf Jahren die höheren Deckungsgrade aufweisen. Aufgrund ähnlicher Ansprüche erlangen beide Arten vorzugsweise in den Rasterzellen Dominanz, die sie durch vegetative Ausbreitung als erste besiedeln konnten. Obwohl

Fig. 5

Influence of management practices on the occurrence of the four species *Elymus repens*, *Glyceria maxima*, *Phalaris arundinacea* and *Urtica dioica* (von Neumann-neighbourhood; lattice size: 140 x 98 m² (35 x 24 cells)). Random initial arrangement; species with the highest degree of coverage in each cell are shown.

Elymus repens ein größeres vegetatives Ausbreitungspotential besitzt (die Wahrscheinlichkeit für die Besiedlung einer Nachbarzelle ist größer), kann sie erst nach etwa 15 Jahren einen ähnlich großen Bestand aufbauen wie *Urtica dioica*. Ursache hierfür ist sicherlich die hohe Deckung der Brennessel, die relativ schnell erreicht wird und es so der Quecke erschwert, in die Zelle einzudringen und sich dort gegenüber der Brennessel durchzusetzen.

Durch die unterschiedlichen Managementmaßnahmen in aufeinanderfolgenden Jahren wird das Vorkommen bestimmter Arten erheblich beeinflusst. Nach einem »trockenen« Jahr erlangen *Elymus repens* und *Urtica dioica* Vorteile, ständigen Überstau tolerieren beide Arten im Gegensatz zu *Phalaris arundinacea* und *Glyceria maxima* jedoch nicht. Die

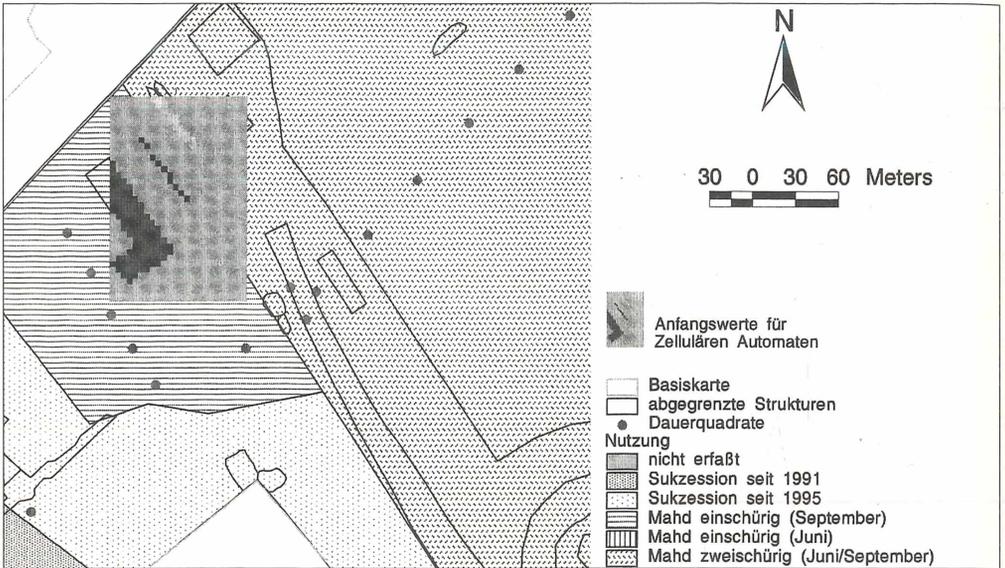


Abb. 6
Ausschnitt von einer Hauptuntersuchungsfläche des »Oberes Rhinluch« mit einer Rasterfläche, aus welcher der Anfangszustand für jede Rasterzelle sowie die Nutzung entnommen werden kann.

Fig. 6
Part of the main study site of »Oberes Rhinluch« with a grid, that gives the initial arrangement for each cell as well as the landuse.

meisten Zellen werden von einer dieser beiden Arten dominiert, *Glyceria maxima* kann aber den ständigen Überstau besser vertragen als *Phalaris arundinacea*.

Mit der großen Anzahl an Zuständen, die eine Zelle einnehmen kann, ist eine hohe Anzahl an Regeln verbunden. Für diese Regeln werden Übergangswahrscheinlichkeiten benötigt, die i. A. nicht aus Versuchen vorliegen, sondern in Abhängigkeit von den ökologischen Ansprüchen der Arten bestimmten Verhältnissen angepasst werden. Aufgrund der Möglichkeit, je nach Bedarf einen Modelllauf für einzelne Arten oder bestimmte Artkombinationen durchzuführen, können diese Übergangswahrscheinlichkeiten mit Hilfe der Simulationsergebnisse kalibriert werden. Ist z.B. die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Art unter bestimmten Standortfaktoren bekannt, kann die Wahrscheinlichkeit für die Besiedlung einer Nachbarzelle so eingestellt werden, dass bei der Simulation unter gleichen Bedingungen dieselbe Ausbreitungsgeschwindigkeit erzielt wird. Auf gleiche Weise können Ergebnisse von Konkurrenzversuchen in die Übergangswahrscheinlichkeiten eingehen.

Die Berücksichtigung einzelner Arten bei der Vorhersage der Vegetationsentwicklung im Grünland mit einem Zellulären Automaten bedingt die Aufstellung einer Vielzahl von Regeln. Dennoch ist zu überprüfen, ob durch eine Vereinfachung des Regelwer-

kes und somit einer besseren Übersichtlichkeit des Modells ähnlich gute Simulationsergebnisse erzielt werden können.

7 Ausblick

In den hier vorgestellten Simulationsergebnissen ist die generative Ausbreitung bislang noch nicht berücksichtigt. Obwohl sie gegenüber der vegetativen Ausbreitung im Niedermoor nur eine untergeordnete Rolle spielt, ist sie nicht zu vernachlässigen. Bei der Mahd oder nach einem längeren Überstau können vegetationsfreie Flächen entstehen, auf denen Keimlinge der ausgewählten Arten auflaufen und diese etablieren können. Mit der Einbeziehung der Ausbreitung durch generative Vermehrung sind u.U. weitere Nachbarschaftsradien einzufügen.

Scharfe in der Natur nur sehr selten auftretende Grenzen innerhalb der Regeln sollen in einem weiteren Schritt durch Anwendung der Fuzzy Logik (s. z.B. BÖHME 1993) natürlicher gestaltet werden. Bislang werden beispielsweise für eine Fläche, die gar nicht überstaut wird, und für eine, die nur sehr kurz überstaut wird, unterschiedliche Regeln angewandt; nicht unterschieden wird jedoch zwischen einem Überstau von einem Tag und einem Überstau von mehreren Monaten, der maximal bis zum Frühjahrsbeginn andauert. Mit Hilfe der Fuzzy Logik sollen

hier über Wasserstandsganglinien Zugehörigkeitsfunktionen für unterschiedliche Feuchtestufen definiert werden. Bestimmte Wasserstandsganglinien entsprechen dann nicht unbedingt genau einer Feuchtestufe, sondern sie können mit bestimmten Erfüllungsgraden mehreren Feuchtestufen angehören.

Zur Vorhersage der Vegetationsentwicklung und Bewertung der Managementmaßnahmen hinsichtlich des Naturschutzes insbesondere der Renaturierung von Niedermooeren müssen räumliche Informationen aus den Untersuchungsgebieten in das Modell einfließen. Zunächst muß dem Modell der Anfangszustand zur Verfügung gestellt werden. Die Daten der in einzelnen Strukturen dominierenden Pflanzenarten stammen aus der innerhalb des Verbundprojektes durchgeführten Strukturkartierung auf Mikrochoren- und Habitatkomplex-Ebene. Über die Auswertung von Luftbildern und von Strukturaufnahmen aus dem Untersuchungsgebiet, die mit Hilfe eines GIS vorgenommen wird, kann der Anfangszustand für jede Zelle des Rasterfeldes ermittelt werden (vgl. Abb. 6). Weiterhin können durch Einbettung in das GIS jeder Zelle räumliche Informationen über Management, hydrologisches Regime sowie bodenkundliche Parameter zugeordnet werden. Als Teil eines Expertensystems zur Bewertung von Managementmaßnahmen gehen die Modellergebnisse als Eingangsgrößen in ein Ertrags- und Futterqualitätsmodell sowie in Habitataignungsmodelle für faunistische Zielarten ein.

Danksagung

Die Arbeit wird vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) aus dem Schwerpunkt »Biotop- und Artenschutz« (Projekträger BEO, Förderungskennziffer 0339559) gefördert. Viel Dank gilt auch den Expertinnen und Experten (insb. Claudia Wagner, Olaf Borkowsky u. Torsten Seeger), die ihr Wissen über die einzelnen Pflanzenarten zur Verfügung stellten.

Literatur

BÖHME, G., 1993: Fuzzy-Logik. – Einführung in die algebraischen und logischen Grundlagen. – Springer, Berlin/Heidelberg: 315 S.
 CRAWLEY, M. J. & R. M. MAY, 1987: Population dynamics and plant community structure: competition between annuals and perennials. – J. Theor. Biol. 125: 475–489.
 INGHE, O., 1989: Genet and ramet survivorship under different mortality regimes – a cellular automata model. – J. Theor. Biol. 138: 257–270.
 JELTSCH, F., 1994: 'Forest dieback' im pazifischen Raum – ein Modellansatz für anthropogen beein-

flußtes Waldsterben. – Verh. Ges. Ökol. 23: 321–328.
 KUMMER, G., JELTSCH, F., BRANDL, R. & V. GRIMM, 1994: Kopplung von Prozessen auf lokaler und regionaler Skala bei der Tollwutausbreitung: Ergebnisse eines neuen Modellansatzes. – Verh. Ges. Ökol. 23: 355–364.
 PFADENHAUER, J., 1995: »Ökosystemmanagement für Niedermooere« – Ausblick auf die zweite Phase des Verbundvorhabens. – Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung 36: 132–137.
 RATZ, A., 1994: Modellierung feuererzeugter räumlicher Strukturen in borealen Wäldern. – Verh. Ges. Ökol. 23: 373–381.
 RICHTER, O., SÖNDGERATH, D., BELDE, M., SCHRÖDER, B. & S. SCHWARTZ, (1997): Kopplung Geographischer Informationssysteme (GIS) mit ökologischen Modellen im Naturschutzmanagement. – In: KRATZ, R. & F. SUHLING (Hrsg.): Geographische Informationssysteme im Naturschutz: Forschung, Planung, Praxis. – Westarp Wissenschaften, Magdeburg: 5–29.
 SCHRÖDER, B., 1997: Fuzzy Logik und klassische Statistik – ein kombiniertes Habitataignungsmodell für *Conocephalus dorsalis* (LATREILLE, 1804), Kurzflügelige Schwertschrecke. – Verh. Ges. Ökol. 27 (dieser Band).
 SILVERTOWN, J., HOLTIER, S., JOHNSON, J. & P. DALE, 1992: Cellular automaton models of interspecific competition for space – the effect of pattern on process. – J. Ecol. 80: 527–534.
 WEINER, J. & P. T. CONTE, 1981: Dispersal and neighborhood effects in an annual plant competition model. – Ecol. Model. 13: 131–147.
 WIEGAND, T., MILTON, S. J. & C. WISSEL, 1994: Ein räumliches Simulationsmodell für eine Pflanzengemeinschaft in der semiariden Karoo, Südafrika. – Verh. Ges. Ökol. 23: 407–416.
 WINKLER, E., KLOTZ, S. & C. WISSEL, 1994: Mathematische Modellierung der Phytozönosedynamik eines Trockenrasens. – Verh. Ges. Ökol. 23: 451–458.
 WISSEL, C., 1991: A model for the mosaic-cycle concept. – In: REMMERT, H. (ed.): The mosaic-cycle concept of ecosystems. – Springer, Berlin/Heidelberg: 22–45.
 WIBKIRCHEN, R., 1993: Standardliste der Farn- und Blütenpflanzen der Bundesrepublik Deutschland. – Flor. Rundbr. Beiheft 3: 1–480.

Adresse

Dipl.-Geoökol. Maren Belde
Prof. Dr. Otto Richter
Institut für Geographie und Geoökologie
TU Braunschweig
Langer Kamp 19c
D-38106 Braunschweig

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1996

Band/Volume: [27_1996](#)

Autor(en)/Author(s): Belde Maren, Richter Otto

Artikel/Article: [Zellulärer Automat zur Simulation der Sukzession auf Niedermoorstandorten bei unterschiedlichen Managementmaßnahmen 189-198](#)