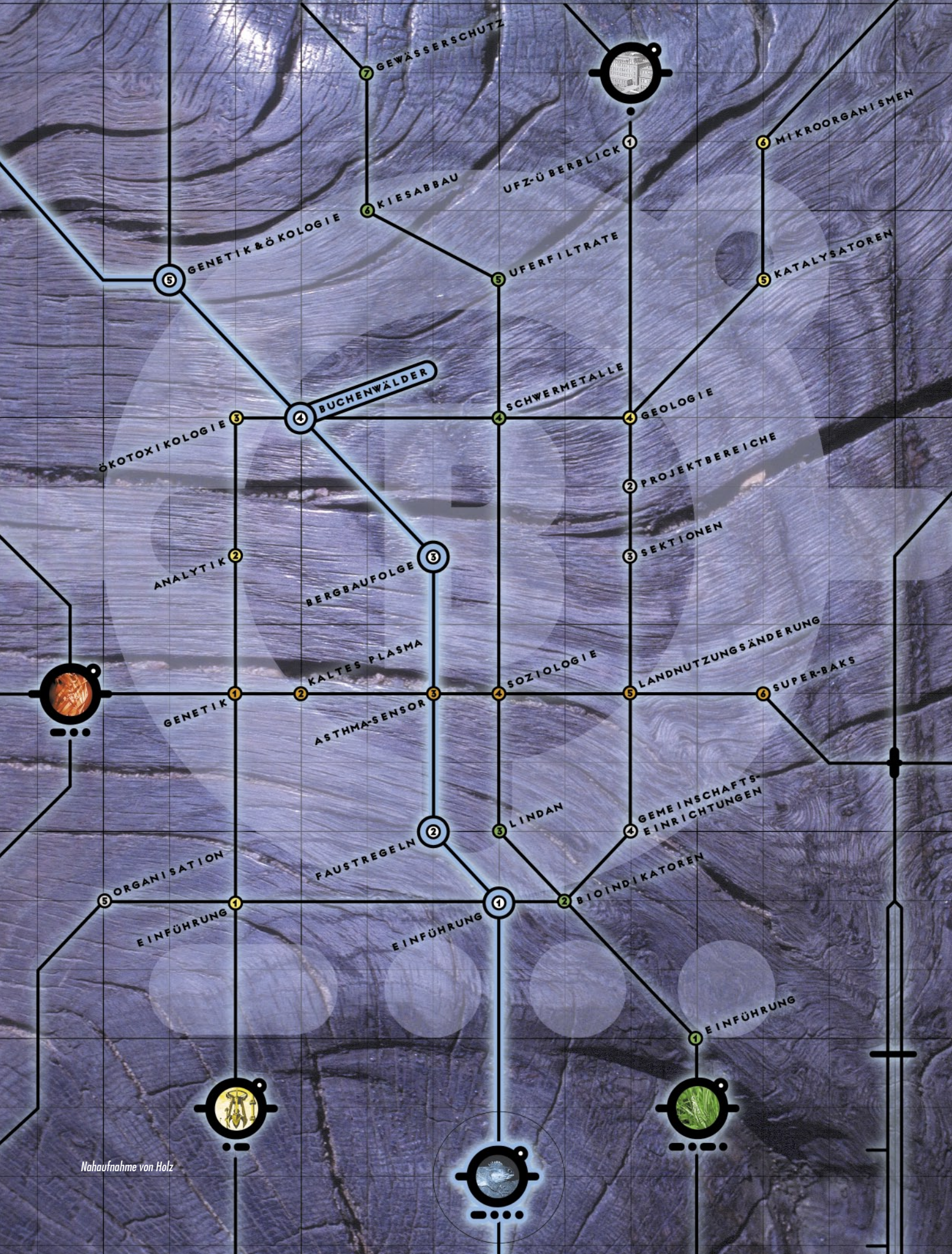


# B I O D I V E R S I T Ä T



Nahaufnahme von Holz



# BUCHENWÄLDER WIE IN DER URZEIT – ABER WIE?

Christian Neuert, Christine Rademacher und  
Volker Grimm

Wie mag Mitteleuropa in der Urzeit ausgesehen haben, bevor der Mensch begann, seinen Lebensraum umzuwandeln? Die Fachleute sind sich einig, dass weite Teile Mitteleuropas von Wäldern bedeckt waren. Auch heute wäre das natürliche Landschaftsbild überwiegend der Wald. Davon kann sich jeder überzeugen, der beobachtet, wie sich Flächen verändern, die nicht mehr landwirtschaftlich genutzt werden: Früher oder später setzt sich ein Baumbestand durch. Auch nach den Eiszeiten sind die Bäume immer wieder zurückgekehrt, wobei aber jeweils unterschiedliche Baumarten großflächig dominierten. Nach der jüngsten Eiszeit begann die große Zeit der Buche, genauer gesagt der Rotbuche (*Fagus sylvatica*). Sie gedeiht unter den unterschiedlichsten Bedingungen und kann sich auf Grund ihrer hohen Schattentoleranz gegenüber anderen Baumarten durchsetzen.

## Was heißt »natürlich«?

Aber wie würden Buchenurwälder heute aussehen? Diese Frage lässt sich empirisch nicht umfassend beantworten, da es abgesehen von einigen Resten in Osteuropa keine Buchenurwälder mehr gibt. Zwar wurden diese Resturwälder intensiv untersucht, aber es ist ungewiss, ob das hieraus abgeleitete Bild eines Buchenurwaldes allgemein gültig ist. Diese Ungewissheit stellt aber Forstwirtschaft und Naturschutz vor erhebliche Probleme. Die moderne Forstwirtschaft hat sich zum Ziel gesetzt, im Rahmen der nachhaltigen Bewirtschaftung einen möglichst naturnahen Zustand zu erzeugen. Aber wie soll Naturnähe beurteilt werden, wenn der "natürliche" Zustand gar nicht bekannt ist? Der Naturschutz steht vor demselben Problem: wie soll er z.B. Forderungen nach großen Schutzgebieten durchset-

zen, wenn er nicht klar vermitteln kann, wie das Ziel eigentlich aussieht, das mit dem Schutzgebiet verfolgt werden soll? Unklar ist vor allem, wie groß Schutzgebiete sein müssten, damit sich die für einen Buchenurwald typischen Strukturen herausbilden können, und welche Strukturen den Urwald von einem naturnah bewirtschafteten Wald unterscheiden.

## Vorhandenes Wissen nutzen

Dabei sind eigentlich genug Informationen vorhanden, die eine theoretische Rekonstruktion von Buchenurwäldern ermöglichen würden. Förster und Forstwissenschaftler wissen fast alles über die Buche als Einzelbaum, so zum Beispiel, wie sie auf Schatten reagiert oder wie sich Kronendachlücken auf die Nachbarschaft auswirken. Bisher fehlte nur ein geeignetes Instrument, das dieses Wissen integriert und auf die großen räumlichen und zeitlichen Skalen extrapoliert, die für die Dynamik von Wäldern entscheidend sind. Ein derartiges Instrument wurde in der Sektion Ökosystemanalyse entwickelt: "regelbasierte", räumlich explizite Simulationsmodelle. Expertenwissen wird hierbei mit Hilfe probabilistischer (wahrscheinlicher) "wenn-dann"-Regeln berücksichtigt. Im Fall des Buchenwaldes repräsentieren diese Regeln das Wissen über Eigenschaften der Buche als Individuum und ihre Reaktionen im Zusammenleben mit ihren Nachbarn.

## Regelbasierte Modelle

So können zum Beispiel junge Buchen, die es noch nicht geschafft haben, sich einen Platz im Kronendach zu erobern, mehrere Jahrzehnte lang in "Lauerstellung" unterhalb des Kronendaches ausharren. Wenn sich während dieser Zeit eine Lücke im Kronendach auftut, weil zum Beispiel ein Kronendachbaum infolge eines Sturms abgebrochen ist, dann füllen entweder die benachbarten Kronendachbäume diese Lücke sehr schnell wieder auf oder es gelingt einer der Jungbuchen in Lauerstellung, ins Kronendach aufzuschließen. Diese und die meisten anderen Modellregeln wurden mit Hilfe von Dr. V. Grundmann, Leiter der Hessischen Landesanstalt für Forsteinrichtung, Waldforschung und Waldökologie, formuliert.

Derartige Regeln lassen sich in Computerprogrammen mit Hilfe von "wenn-dann"-Abfragen formulieren, wobei mit "wenn" bestimmte Bedingungen und Ereignisse abgefragt werden und unter "dann" Konsequenzen mit bestimmten

Wahrscheinlichkeiten auftreten. Um ein weiteres Beispiel zu geben: *Wenn* ein Sturm einer bestimmten Stärke auftritt, *dann* bricht ein Kronendachbaum mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit ab; *wenn* in Windrichtung in der unmittelbaren Nachbarschaft des Baumes eine Kronendachlücke existiert, *dann* erhöht sich diese Wahrscheinlichkeit.

Wichtig für die raum-zeitliche Dynamik des Buchenurwaldes sind zwei Gruppen von Regeln, die beschreiben, wie sich das Geschehen auf benachbarten Baumstandorten gegenseitig beeinflussen kann: Zum einen schädigen vom Sturm umgestürzte Buchen die Bäume in der Nachbarschaft; zum anderen profitieren von dem erhöhten Lichteinfall in Kronendachlücken nicht nur die jüngeren Buchen direkt unterhalb der Lücken, sondern – wenn auch in geringerem Ausmaß – die Jungbuchen in der Nachbarschaft. Das Computerprogramm arbeitet nun in jedem Zeitschritt für alle Baumstandorte oder »Zellen«, in die der Wald eingeteilt wird, und für alle Baum-Individuen den gesamten Regelsatz ab, der das Verhalten der Einzelbuchen beschreibt. Auf diese Weise können fast beliebig große Gebiete über beliebig lange Zeiträume betrachtet werden.

Um das Modell zu überprüfen, wurde es mit den Informationen, die sich aus existierenden Resten von Buchenurwäldern gewinnen lassen, verglichen. Dabei stellte sich auf allen Ebenen eine gute bis sehr gute Übereinstimmung zwischen Modell und Realität heraus.

### *Zyklische Entwicklung auf kleinen Mosaikflächen*

Insbesondere bestätigt das Modell die von Fachleuten vermutete lokale Dynamik. Sie verläuft zyklisch über die drei Stadien Heranwachs-, Optimal- und Zerfallsstadium (Bild 1a, b, c).

Im Stadium des Heranwachsenden ist das Kronendach nicht geschlossen. Es existieren ausgeprägter Buchenunterwuchs sowie vereinzelt Kronendachbäume und Jungbuchen, die sich gerade in der Kronenschicht etablieren. Dieses Stadium dauert im Durchschnitt etwa 100 Jahre. Im Optimalstadium ist das Kronendach völlig geschlossen, und es gibt durch die intensive Übersattung bis auf eine frühjahrsblühende Krautschicht kaum noch Unterwuchs. Diese hallenartige Struktur wird »Buchenhallenwald« genannt und dauert



Bild 1a) Heranwachsstadium



Bild 1b) Optimalstadium

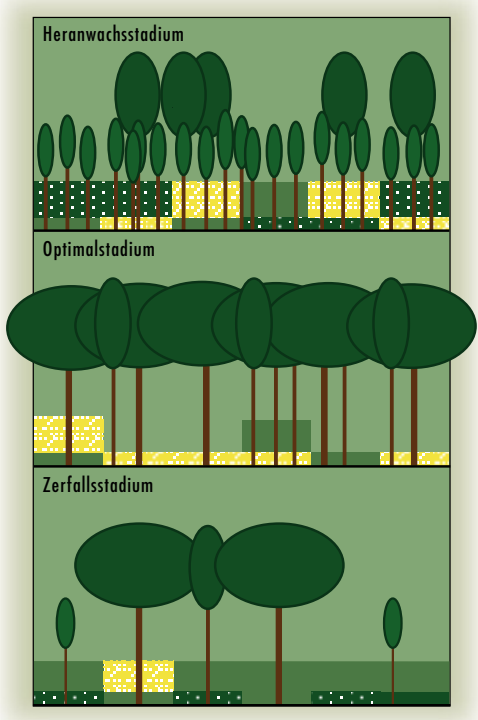


Bild 1c) Zerfallsstadium des Buchenwaldes

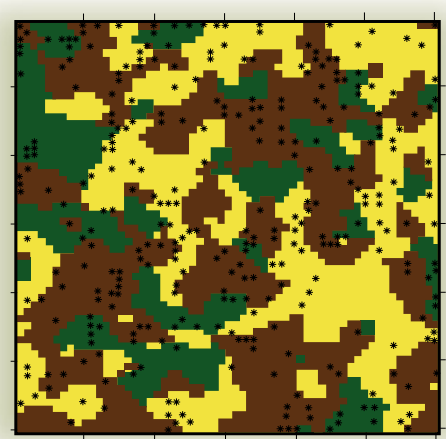
*Bild 1 (a, b, c): Die drei Entwicklungsstadien eines Buchenurwaldes, die auf kleinen Flächen durchlaufen werden. Eine eindeutige Zuordnung der Stadien ist nicht immer möglich. (Fotos: V. Grundmann, Gießen/Hannoversch Münden)*

nur circa 50 Jahre. Dann beginnt das Zerfallsstadium, das durch ein sukzessives Ausfallen und Absterben der Kronendachbäume sowie durch neu aufkommende Verjüngung gekennzeichnet ist. Nach ca. 120 Jahren folgt dann wiederum das Heranwachsstadium (Bild 2).

Diese stark schematisierte Abfolge von Entwicklungssta-



**Bild 2:** Visualisierung der drei Entwicklungsstadien im Modell. Das Modell unterscheidet vier Höhenstufen. In den beiden oberen werden einzelne Bäume betrachtet, in den beiden unteren die prozentualen Flächenbedeckungen (hier angedeutet durch unterschiedliche Grüntöne). Das dargestellte Profil entspricht einer Fläche von ca. 85 mal 25 Metern.



**Bild 3:** Aufsicht auf einen Modell-Buchenwald. Die Farben zeigen die drei Entwicklungsstadien an (gelb: Entwicklungsstadium; grün: Optimalstadium; braun: Zerfallsstadium). Die schwarzen Symbole zeigen Standorte von Baum->Riesen«, d.h. Buchen, die älter als 300 Jahre sind. Die dargestellte Fläche ist circa 75 Hektar groß.

dien kann von Sturm-, Eis-, Schneebruch- und sonstigen Ereignissen mehr oder weniger stark überlagert sein. Entscheidend für die Buchenwalddynamik ist aber, dass die drei genannten Stadien nicht in der Fläche synchron ab-

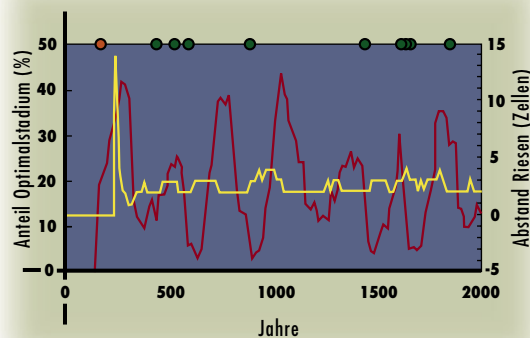
laufen, sondern auf kleinen Mosaikflächen, die überwiegend 0,05 bis 0,5 Hektar groß sind (Bild 3). Die Mosaikstruktur kann allerdings nach extrem starken Stürmen mit großflächigem Windwurf vorübergehend verschwinden, wobei »vorübergehend« durchaus 100 Jahre oder mehr bedeuten kann.

### *Wie würden Buchenurwälder ohne Stürme aussehen?*

Bedeutet dieses Ergebnis nun, dass ein Buchenurwald ohne den Einfluss von Stürmen ein zufälliges Gemisch von Buchen verschiedenen Alters wäre? Interessanterweise ist diese intuitiv naheliegende Vermutung völlig falsch. Ohne Stürme wäre der Wald über große Flächen synchronisiert! Es gäbe z.B. regelmäßig wiederkehrende, ca. 100 Jahre andauernde Phasen, in denen der gesamte Wald ein Hallenwald ist! Dieses Ergebnis zeigt, wie wichtig es ist, die oft so plausibel erscheinenden Gedankenmodelle über Wälder mit Hilfe von Simulationsmodellen zu überprüfen. Dabei soll den Ergebnissen der Simulationen aber nicht blind vertraut werden. Ziel der Modellanalyse ist es vielmehr, die Ergebnisse auch zu *verstehen*. So lässt sich die großflächige Synchronisierung durchaus verstehen: Durch Lücken im Kronendach fällt auch Licht in Nachbarbereiche, die ansonsten völlig überschattet wären. Dadurch können die Jungbuchen der beiden unteren Höhenschichten (Bild 2) länger überleben und die früher oder später entstehende Lücke über ihnen schneller auffüllen, als es ohne den schrägen Lichteinfall aus der Nachbarschaft der Fall wäre. Dieser so unscheinbar erscheinende Mechanismus würde – wenn es keine Stürme gäbe – auf die Dauer dazu führen, dass immer wieder über den ganzen Wald hin geschlossene Kronendächer entstehen, d.h. eine Hallenwaldstruktur.

### *Buchen->Riesen« im Urwald*

Das Modell konnte zwar die Abfolge der Entwicklungszyklen auf kleinen Mosaikflächen bestätigen, aber der Anteil der Mosaikflächen in den drei Stadien und die mittlere Größe dieser Flächen schwanken zyklisch und werden darüber hinaus nach extremen Stürmen besonders stark verändert. Das Urwaldmodell eröffnete aber die Möglichkeit, nach weniger schwankenden Charakteristiken von natürlichen Buchenwäldern zu suchen. Es zeigte sich, dass die räumliche Verteilung der verschiedenen Altersklassen der Bäume ein solches Charakteristikum ist. Dies gilt insbeson-



*Bild 4: Vom Modell berechnete Dynamik zweier Größen, die einen Buchenurwald charakterisieren können: Prozentualer Flächenanteil des Optimalstadiums (rote Kurve), und »Abstand« zwischen Buchen, die 300 Jahre alt oder älter sind (gelbe Kurve). »Abstand« bedeutet hier, in welcher Entfernung von einem dieser »Riesen« mit einer Wahrscheinlichkeit von 80% ein weiterer Riese zu finden ist. Dieser Abstand ist in »Zellen« angegeben, wobei eine räumliche »Zelle« circa 14 mal 14 Meter groß ist. Die Kreise oben auf der Abbildung zeigen das Auftreten von katastrophalen (rot) und extremen (grün) Sturmereignissen an.*

dere für die extrem alten Buchen, die z.B. 300 Jahre oder älter und meist auch eindrucksvoll groß sind. Abgesehen von relativ kurzen Phasen direkt nach extremen »Jahrhundert-Stürmen« ist die mittlere räumliche Verteilung dieser »Riesen« nahezu konstant: Circa 80% der Riesen haben in maximal 70 Metern Abstand einen Riesen als Nachbarn (Bild 4)!

### *Wie groß muss ein Buchenurwald sein?*

Das Modell sagt voraus, dass sich schon auf Flächen von circa 30 Hektar die Urwald-typische Textur aus den drei Entwicklungsstadien einstellen kann. Es hängt allerdings vom Ist-Zustand eines bislang bewirtschafteten Buchenwaldes ab, wie lange es bei einem völligen Verzicht auf Eingriffe dauern würde, bis er diese Textur und somit Urwaldstruktur aufweist. Für eher homogene Bestände, wie sie der heutige Wirtschaftswald oft auf mehreren Hektar bereitstellt, kann es bis zu 1000 Jahre dauern, für altersmäßig und räumlich stark durchmischte Bestände hingegen wenige 100 Jahre.

Man muss bei der Angabe »30 Hektar« allerdings beachten, dass hier nur eine Aussage über die Buche gemacht wird. Natürlich beherbergt ein Wald auch noch eine Vielzahl anderer Arten. Es wird noch weiterer Untersuchungen bedürfen, um verlässliche Angaben über den Flächenbedarf des gesamten Ökosystems »Buchenwald« liefern zu können. Gleichwohl kann jetzt schon gefolgert werden, dass Schutzgebiete, die kleiner als 30 Hektar sind, keine Urwald-typische Dynamik zulassen. Andererseits sind selbst relativ kleine Schutzgebiete von hundert oder tausend Hektar sicherlich schon wertvolle Flächen, die auf jeden Fall weiterhin unter Schutz bleiben sollten.

### *Beitrag zur Biodiversitätsforschung*

Die theoretischen Untersuchungen zu Buchenurwäldern, die am UFZ in der Sektion Ökosystemanalyse durchgeführt werden, leisten einen wichtigen Beitrag zur Biodiversitätsforschung in Deutschland. Zum einen unterstreichen sie einen Aspekt der Biodiversität, der oft vernachlässigt wird: die natürliche strukturelle Vielfalt ökologischer Systeme. Diese strukturelle Diversität – z.B. die kleinflächige Textur der Buchenurwälder – ist oft eng verknüpft mit der natürlichen Artenvielfalt. So bietet ein urwaldähnlicher Buchenwald mit seinen vielen alten Einzelbäumen und zahlreichen Lücken im Kronendach einer ganz anderen und artenreicheren Tier- und Pflanzenwelt Lebensraum als ein auf großen Flächen homogener Wald mit geschlossenem Kronendach.

Zum anderen bietet das Buchenwaldmodell die Möglichkeit, in Zusammenarbeit mit Forstwissenschaftlern die gängigen Bewirtschaftungsformen auf ihre Naturnähe hin zu bewerten oder sogar neue Bewirtschaftungsformen zu entwickeln, die ein Höchstmaß an natürlicher Biodiversität mit nachhaltiger Nutzung verbinden. Auf diese Weise kann das Modell dazu beitragen, die in der Vergangenheit oft scharfen Konflikte zwischen Naturschutz und Forstwirtschaft zu entschärfen.



#### Literatur

Korpel, S. 1995. Die Urwälder der Westkarpaten. Gustav Fischer, Stuttgart.

Leibundgut, H. 1993. Europäische Urwälder – Wegweiser zur naturnahen Waldwirtschaft. Paul Haupt, Bern.

Neuert, C. 1999 : Die Dynamik räumlicher Strukturen in naturnahen Buchenwäldern Mitteleuropas, UFZ-Bericht 20/1999.

Pott, R. 1993. Farbatlas Waldlandschaften: ausgewählte Waldtypen und Waldgesellschaften unter dem Einfluss des Menschen. Ulmer, Stuttgart.

Wissel, C. 1991. A model for the mosaic-cycle concept. In: Remmert, H. (Hrsg.) The mosaic-cycle concept of ecosystems (Ecol. Studies 85). Springer, Berlin, S. 22-45.

## *English Abstract*

Over large areas of Middle Europe, beech forest would be the natural type of vegetation. Therefore, natural beech forests are a decisive reference point for both nature conservation and forestry. However, the structure and, in particular, the dynamics of beech forests are not fully known and understood. On the other hand, foresters know a lot about beech trees and local interactions between beech trees, but up to now there was no tool to integrate this knowledge to larger spatial and temporal scales. Such a tool has now been developed at the Department of Ecological Modelling: a rule-based, spatially explicit simulation model of natural beech forests. The model shows that on a local scale of, say, half an hectare, natural beech forests show a cycle of mainly three stages: the »growing stage« with much understory and only a few, young canopy trees; the »optimal stage« with a closed canopy and almost no understory; and the »decaying stage« with open canopy, single old canopy trees, and re-emerging understory. The whole beech forest consists of a mosaic of such small areas which are in different stages. The main factor responsible for this spatio-temporal structure are wind-falls of canopy trees. Because of the significance of beech forests, the model will significantly contribute to biodiversity research in Middle Europe. It helps to assess area requirements of forest reserves and to assess how »natural« beech forest will be which are managed applying different silvicultural methods.