

# Biodiversitätsforschung im Wald

S. Anders, H. Ellenberg, H. Hertel, G. Hofmann, M. Jossen, J. Heuvelop, W. U. Kriebitzsch, G. v. Oheimb, M. Schmidt, F. Scholz

**W**aldökosysteme sind aufgrund ihrer vielfältigen Schutz- und Nutzfunktionen eine unentbehrliche Lebensgrundlage für die Menschen und darüber hinaus ein bedeutendes Reservoir biologischer Vielfalt. In einem bisher nie da gewesenen Ausmaß sind Wälder jedoch weltweit durch Übernutzung, Luftverunreinigungen und globale Klimaveränderungen gefährdet. Die Politik, die Verwaltung und vor allem die forstliche Praxis benötigen wissenschaftliche Erkenntnisse und Entscheidungshilfen, um ihren Aufgaben bei der Erhaltung, Entwicklung und nachhaltigen Nutzung der biologischen Vielfalt von Wäldern nachkommen zu können. Die Bewertung von Veränderungen der Biodiversität in Wäldern ist nur in einem landschaftsbezogenen Kontext möglich.

## Artenvielfalt der Gefäßpflanzen in Wäldern

Das Ordinariat/Institut für Weltforstwirtschaft (Universität Hamburg / Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft) geht der Frage nach, welche Faktoren die Artenvielfalt in Wäldern bestimmen. Ein grundlegendes Problem ist die Definition von typischen Waldarten. Für die Gefäßpflanzen wurde eine Liste mit 634 Taxa erarbeitet. Sie berücksichtigt alle als typisch für Wälder in der norddeutschen Tiefebene anerkannten

Arten (Tab. 1). Der Gültigkeitsbereich der Liste wird naturräumlich und über eine Walddefinition eingegrenzt. Die begonnenen Aktivitäten sollen auch auf den Mittelgebirgsraum sowie auf die Alpen und das Alpenvorland ausgeweitet werden.

Nur wenige Pflanzenarten wachsen in Deutschland fast überall, zum Beispiel Brennnessel oder Eberesche. Die meisten Arten sind selten, das heißt in ihrem Verbreitungsgebiet ungleichmäßig verteilt, oft mit geringen Individuenzahlen pro Einzelvorkommen. Dabei können ver-

**Tab. 1: Gliederung der Liste der typischen Waldarten**

A Arten der Baum- und Strauchschicht	
1	In der Baumschicht von Wäldern, teilweise Wald bildend
2	Vorwiegend in der Strauchschicht von Wäldern, an Waldrändern oder auf Waldverlichtungen
B Arten der Krautschicht	
1	Weitgehend an Wald gebunden
	1.1 Vorwiegend im geschlossenen Wald
	1.2 Vorwiegend an Waldrändern und auf Waldverlichtungen
2	Im Wald und im Offenland
	2.1 Im Wald wie im Offenland
	2.1 Auch im Wald, aber Schwerpunkt im Offenland

schiedene Typen von Seltenheit charakterisiert werden, dies wurde am Beispiel typischer Waldarten unter den Gefäßpflanzen des norddeutschen Tieflandes versucht (Tab. 2).

Seltenheit hat neben der Verteilung von Populationen in einem größeren Gebiet (geographische Verbreitung) noch mindestens zwei weitere Aspekte: die lokale Dichte der Individuen innerhalb einzelner Vorkommen sowie die Bindungsstärke einzelnen Arten an spezielle Habitate

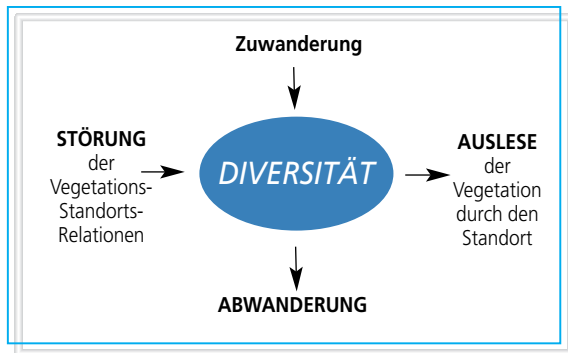


Abb. 1: Artenvielfalt als komplexe Eigenschaft von Ökosystemen in ihrer Abhängigkeit von externen und internen Einflüssen.

tate (Habitatspezifität). Bei der Unterscheidung verschiedener Seltenheits-Typen wurden beachtet

- die geographische Verbreitung: Vorkommen gemessen als Anzahl Mess-tischblätter (MTB = 11 x 11 km, ca. 120 km<sup>2</sup>),
- die lokale Dichte: Anzahl Individuen pro Einzelvorkommen,
- die Habitatspezifität: Zuordnung nach der Einteilung der Arten als pflanzensoziologische Charakterarten.

Über 50% der Waldarten können drei verschiedenen Typen von seltenen Arten zugeordnet werden. Diese Arten haben eine eingeschränkte geographische Verbreitung und eine enge Habitatspezifität bei unterschiedlicher lokaler Dichte bzw. eine breitere Habitatspezifität, aber geringe lokale Dichte. Viele dieser Arten stehen auf den Roten Listen wie die Eibe oder Orchideenarten.

Neben dem Kriterium der „Gefährdung“ spielt das der „Seltenheit“ eine große Rolle in der Arten- und Naturschutzdiskussion. Seltene Arten sind auf den meist kleinen vegetationskundlichen Untersuchungsflächen nur in Ausnahmefällen anzutreffen. Auf seltene Arten muss deshalb besonders geachtet werden. Sie machen einen wesentlichen Anteil der Artenvielfalt auf Landschaftsebene aus.

## Artenvielfalt und ökologischer Waldumbau

Ökologische Probleme und ökonomische Zwänge der Forstwirtschaft erfordern es, den Umbau naturferner Nadelbaumforsten in naturnähere Laub-Nadelbaum-Mischbestände und Laubbaumwälder fortzusetzen. Eine Naturannäherung durch Waldumbau führt jedoch häufig zu einem Verlust an Pflanzenartenvielfalt und reduziert die Vorkommen an „Rote-Liste-Arten“. Dieses Phänomen wurde am Beispiel nordostdeutscher Waldungen ökosystemwissenschaftlich analysiert.

### Abhängigkeit der Pflanzenartenvielfalt von Standort und Vegetation

Die Artenvielfalt von Ökosystemen wird durch verschiedene Umwelteinflüsse und systeminterne Prozesse bestimmt (Abb. 1). Sie ist eine vorhersagbare Eigenschaft von Ökosystemen. Die Vielfalt der Pflanzenarten kann als „mittlere Artenzahl“ bezogen auf eine bestimmte Fläche oder als „Potenzial der Pflanzenartendiversität“ unter Berücksichtigung von Anzahl und Mengenfaltung der Arten gemessen werden. Dieses

Potenzial wird aus einer hinreichenden Anzahl von Vegetationsanalysen eines bestimmten Vegetationstyps berechnet und für praktische Zwecke zwischen 0 und 10 skaliert.

Während der frühen Entwicklungsstadien der Wälder – charakterisiert durch hohe Stammzahlen pro Fläche und großen Konkurrenzdruck – ist die Pflanzenartenvielfalt sehr gering. Im Baumholzstadium lässt der Konkurrenzdruck nach und die Artenzahl steigt deutlich. Allerdings bricht die Forstwirtschaft die Lebenszyklen zum Ende des Baumholzstadiums ab, während sich in natürlichen Wäldern artenreichere Altbaum-Stadien anschließen. Ein ausgesprochenes Maximum wird im natürlichen Zerfallstadium erreicht.

### Erhöhung der Vielfalt durch Forstwirtschaft

Vergleicht man die potenziell-natürliche mit der aktuellen Waldvegetation auf den 1,9 Mio. ha derzeitiger Waldfläche des ostdeutschen Tieflandes, so wird deutlich, welche erhebliche Auswirkungen die Forstwirtschaft auf die Vielfalt und Zusammensetzung der Pflanzenarten hat. Von Natur aus würden auf 92 % dieser

Tab. 2: Geographische Verbreitung, Habitatspezifität und lokale Häufigkeit der typischen Gefäßpflanzenarten des Waldes im Nordwestdeutschen Tiefland (a) und im Nordostdeutschen Tiefland (b).

a) Geographische Verbreitung	Groß (> 50% der MTB)		Eingeschränkt (bis 50% der MTB)	
	Breiter	Enger	Breiter	Enger
Habitatspezifität				
Lokale Häufigkeit: manchmal herrschend bis immer herrschend	28	8	10	15
	RL NDS: /	RL NDS: /	RL NDS: 2	RL NDS: 6
Lokale Häufigkeit: Sehr vereinzelt bis in Gruppen	66	26	103	76
	RL NDS: 1	RL NDS: 3	RL NDS: 49	RL NDS: 35
b) Geographische Verbreitung	Groß (> 50% der MTB)		Eingeschränkt (bis 50% der MTB)	
Habitatspezifität	Breiter	Enger	Breiter	Enger
Lokale Häufigkeit: manchmal herrschend bis immer herrschend	29	11	6	13
	RL MV: /	RL MV: /	RL MV: /	RL MV: 4
Lokale Häufigkeit: Sehr vereinzelt bis in Gruppen	87	37	93	88
	RL MV: 2	RL MV: 1	RL MV: 26	RL MV: 39

RL NDS = Rote Liste von Niedersachsen;  
RL MV = Rote Liste von Mecklenburg-Vorpommern



Abb. 2: Buchen-Unterbau im Himbeer-Drahtschmielen-Kiefernforst auf Standorten mittlerer bis kräftiger Bodennährkraft mit ausdunkelnder Wirkung auf Strauch- und Bodenvegetation.

Fläche Laubbäume wachsen, tatsächlich wurden aber auf 77 % der Fläche Nadelbäume angebaut. Dies führt zwar zu einer Monotonisierung des Waldbildes, ist im Mittel jedoch mit einer Erhöhung der Pflanzenartenvielfalt während der Hauptstadien verbunden. Auf reichen bis kräftigen Standorten ist ein Verlust typischer Laubwaldarten der Bodenvegetation zu verzeichnen, der vor allem von Himbeere, Brombeere und verschiedenen Moosen kompensiert wird. Auf mittleren bis armen Standorten führt die Verdrängung von Laubwäldern durch Nadelbaumforsten auf insgesamt 1,2 Mio. ha Waldfläche zu enormen Zugewinnen vor allem für Moose, Drahtschmiele, Adlerfarn und Zwergsträucher wie Blaubeere, Preiselbeere oder Heidekraut.

**Verlust an Vielfalt durch Buchen-Unterbau unter Kiefer**

Die an den Standort nicht angepasste Forstvegetation hat zu ökologischen und ökonomischen Problemen geführt. Eine auf vielen Standorten des ostdeutschen Tieflandes ökologisch stabile und ökonomisch gewinnbringende Alternative zum Kiefern-Reinbestand ist der Kiefern-Buchen-Mischbestand, der durch Unterbau begründet wird (Abb. 2). Dabei kommt es zu einem deutlichen Verlust an Pflanzenartenvielfalt (Abb. 3). Die typischen, den Nadelwald begleitenden Arten verschwinden schnell mit der Veränderung von Lichtfaktor und Oberbodenzustand, während die den Laubwald begleitenden Arten erst ganz allmählich einwandern bzw. sich wieder entwickeln können.

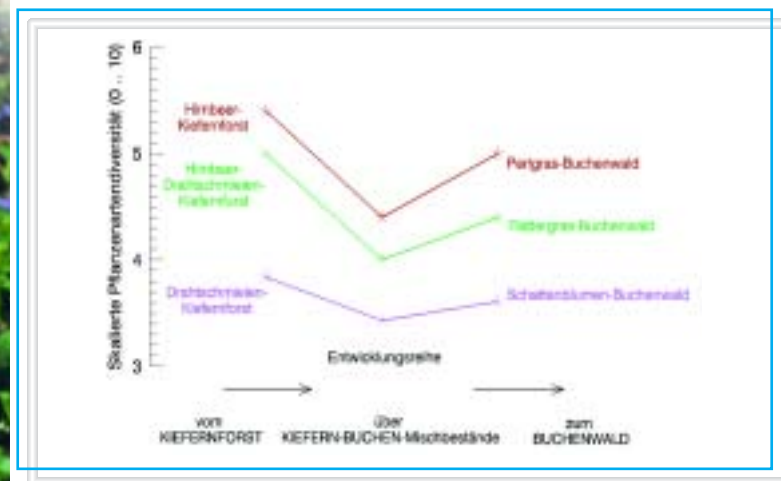
**Wertung**

Naturannäherung durch Waldumbau von Kiefernbeständen führt an vielen Standorten des ostdeutschen Tieflandes zu einem Verlust an Pflanzenartenvielfalt. Auch die Zahl der Arten, die nach der Roten Liste als gefährdet eingestuft werden (Abb. 4), nimmt ab. Dabei muss allerdings beachtet werden, dass sich die Roten Listen nicht auf den potenziellen natürlichen Zustand beziehen, sondern auf einen historischen Zustand, der durch eine starke Entkoppelung der natürlichen Stoffkreisläufe gekennzeichnet war. Sie sind daher für eine vernünftige Gefährdungsbeurteilung nur bedingt brauchbar.

Ökologisch begründete Eichmaße für Vielfalt und Gefährdungsabschätzungen sind die natürlichen Diversitätspotenziale unserer Landschaft. Veränderte Umweltbedingungen führen zu einer neuen Waldnatur. Diese neuen Diversitätspotenziale werden jedoch nicht erreicht, wenn sich Umweltbedingungen sehr schnell ändern, wie beispielsweise bei anthropogenen Klimaveränderungen oder Fremdstoffeinträgen.

Eine vollständige Naturannäherung ist nicht das Ziel eines ökologischen Waldumbaus. So bekräftigen die dargestellten Ergebnisse die Forderung, die Ablösung der Kiefernforsten vorrangig in den Standortbereichen mit besserer Bodennährkraft durchzuführen. Andererseits sollten Baumarten wie die heimischen Eichen in unseren Wirtschaftswäldern auch innerhalb des klimatischen Buchenwaldareals

Abb. 3: Entwicklung der Pflanzenartendiversität als Folge des Buchenunterbaus in verbreiteten Kiefern-Forst-Ökosystemen des ostdeutschen Tieflandes auf Standorten „mittlerer“, „mittlerer bis kräftiger“ und „kräftiger“ Bodennährkraft.



einen deutlich höheren Bauwert bekommen. Dies ist nicht nur ökonomisch sinnvoll, sondern führt auch zu einer im Vergleich mit reinen Buchenwäldern deutlich erhöhten Diversität an Pflanzen- und Tierarten. Nicht zuletzt wird hierdurch auch die Anpassungsfähigkeit der Wälder im Hinblick auf mögliche Klimaänderungen verbessert.

Naturannäherung durch Waldumbau erhöht das Potenzial der Wälder zu selbstorganisierter Entwicklung. Dabei sollten reife Entwicklungsstadien auch in Wirtschaftswäldern integriert werden. Auch mit naturnahen Verjüngungsmethoden, die bei Minimierung der Bodenverwundung und vorsichtiger Öffnung der Kronendächer natürlichen Abläufen nahe kommen, vom Wirtschaftler jedoch viel Zeit und Geduld erfordern, lassen sich natürliche Diversitätspotenziale besser ausschöpfen.

### Zur genetischen Diversität innerhalb von Baumarten

Ausgehend von den eiszeitlichen Refugien in Südeuropa haben die Baumarten in der Nacheiszeit wieder große Verbreitungsgebiete besiedelt und sich dabei an unterschiedliche lokale Gegebenheiten, zum Beispiel an den atlantischen oder kontinentalen Klimabereich und an unterschiedliche Höhenlagen, angepasst. Baumpopulationen müssen sich durch ihre Langlebigkeit mit vielen wechselnden

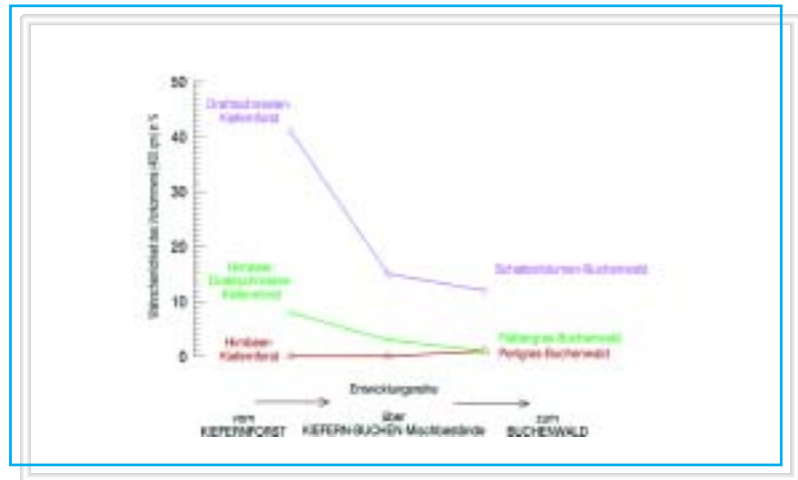


Abb. 4: Entwicklung des Vorkommens von Rote-Liste Arten (Rote Liste BRD 1997) als Folge des Buchenunterbaus in verbreiteten Kiefern-Forst-Ökosystemen des ostdeutschen Tieflandes.

abiotischen und biotischen Umweltbedingungen auseinandersetzen und dabei ihre Stabilität und Anpassungsfähigkeit bewahren.

Bei den Forstbaumarten Mitteleuropas handelt es sich bis auf wenige Ausnahmen (z.B. gezüchtete Pappelklone) weitgehend um Wildpopulationen, obwohl sie durch menschliches Handeln seit Jahrhunderten beeinflusst worden sind. Trotz dieser Beeinflussung ist die Variation innerhalb von Forstbaumpopulationen nicht vergleichbar mit der Homogenität landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturpflanzen-Sorten.

#### Welche Prozesse beeinflussen die genetische Vielfalt?

Bei jeder sexuellen Reproduktion wer-

den die genetischen Informationen der Elterngeneration neu kombiniert. Neue genetische Varianten können aber auch durch Mutationen entstehen. Besonders während der Sämlings- und Jungpflanzentwicklung geht dann die Populationsgröße von mehreren tausend Individuen je Hektar auf wenige hundert zurück. Dabei kann es sich um ein selektives Absterben durch Stressfaktoren oder um selektive Durchforstungsmaßnahmen handeln. Beides kann zu gerichteten Verschiebungen bei Genotypen-Häufigkeiten führen. Zufälliges Absterben oder schematische Durchforstungen dagegen verändern genetische Strukturen kaum.

#### Wie wird die genetische Variation erfasst und bewertet?

Zur Beschreibung der genetischen Variation werden Genmarker eingesetzt, die einen bestimmten Abschnitt aus der gesamten genetischen Information der Zelle markieren. Erste experimentelle populationsgenetische Untersuchungen an Forstgehölzen wurden vor ca. 30 Jahren mit Isozymmarkern begonnen. In den letzten Jahren sind mit molekulargenetischen Methoden viele neue Markertypen zugänglich geworden.

Allein schon die Unterscheidung von Varianten (Allele, Genotypen, Haplotypen) kann zum Beispiel zur Rekonstruktion der Abstammung zwischen Eltern- und Nachkommengenerationen beitragen (Abb. 5). Zahlreiche populationsge-

netische Parameter und weitere mathematisch-statistischen Auswertemethoden basieren auf der Anzahl der Varianten und den relativen Häufigkeiten in Populationen. Bei weitverbreiteten Hauptbaumarten, wie Buche, Eiche, Fichte oder Kiefer, unterscheiden sich die Populationen nur um ca. 5 % ihres Allelbestandes voneinander. Bei der Eibe dagegen, wo die einzelnen Vorkommen relativ stark voneinander isoliert sind, beträgt dieser Unterschied über 15 %.

Über den aktuellen Zustand der populationsgenetischen Struktur hinaus, der nur eine Momentaufnahme darstellt, können durch Vergleich der Strukturen von Generationen (z.B. Elternpopulation und Nachkommenschaft) Schlussfolgerungen über einzelne populationsgenetische Prozesse gezogen werden. Für Aussagen zu größeren Zeiträumen müssen jedoch Modelle geschaffen werden, die die Prozesse in einzelne Schritte wie Rekombination, Selektion, Verbreitung usw. zerlegen.

Gezählte genetische Varianten oder berechnete Parameter allein sind wenig aussagefähig, wenn sie nicht sinnvoll bewertet werden können. Kenntnisse über Mindestpopulationsgrößen gehören dazu ebenso wie die Planung von Gen-Erhaltungsmaßnahmen, zum Beispiel sinnvolles Zusammenführen von Restvorkommen zu Reproduktionseinheiten bei seltenen Baumarten. Ziel ist nicht eine Maximierung der genetischen Vielfalt, sondern die „genetische Nachhaltigkeit“ in dem Sinne, dass die Bedingungen, die zur Erhaltung des Systems erforderlich sind, erhalten bleiben oder geschaffen werden.

## Forschung zur Erhaltung der biologischen Vielfalt der Wälder in Deutschland

Im Übereinkommen über die biologische Vielfalt (CBD), das Deutschland 1992 unterzeichnet hat, wurde die Aufgabe festgeschrieben, Wälder und ihre biologische Vielfalt auch für kommende Generationen zu erhalten. Unter anderem ist vereinbart, dass die Vertragsstaaten Vorgänge und Tätigkeiten bestimmen, die erhebliche nachteilige Auswir-

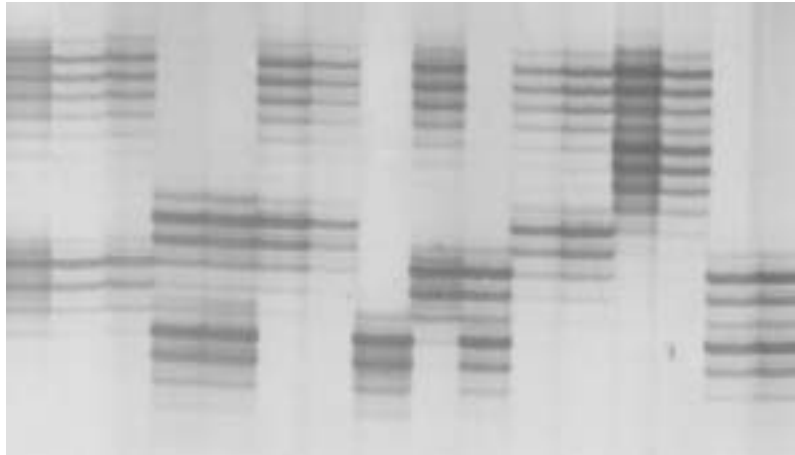


Abb. 5: Mikrosatellitenmarker bei der Nachkommenschaft einer frei abgeblühten Wildkirsche (*Prunus avium*)

kungen auf die Erhaltung und nachhaltige Nutzung der biologischen Vielfalt haben können. Für den Forstbereich sind dabei folgende Fragenkomplexe besonders wichtig:

- Welche Einflüsse haben waldbauliche bzw. forstliche Maßnahmen auf die biologische Vielfalt?
- Welche Folgen haben Maßnahmen anderer direkter (Be-)Nutzungen der Wälder für die biologische Vielfalt?

Das BMVEL hat in den Jahren 1996-1999 ein Verbundprojekt zu diesen Fragen gefördert. Unter Mitwirkung und Koordinierung der BFH wurden in drei Teilprojekten an den Universitäten Hamburg und Göttingen ökologisch-genetische, vegetationskundliche, pflanzengeographische und systemanalytische Untersuchungen sowie Literaturstudien auf der Ebene einzelner Waldbestände durchgeführt.

Nur wenige Waldstandorte sind seit der Eiszeit kontinuierlich bewaldet. In der Regel dürfte – insbesondere im norddeutschen Tiefland – in den heutigen Waldstandorten ein mehrfacher Wechsel zwischen forstlicher und landwirtschaftlicher Nutzung stattgefunden haben. Auf der Landschaftsebene ergibt sich daraus ein räumliches Muster von Waldstandorten mit unterschiedlicher Bestockung, Entstehungs- und Nutzungsgeschichte sowie sich daraus ergebenden verschiedenen Fragmentierungs- bzw. Vernetzungsgraden. Kenntnisse über die Auswirkungen dieser Vorgeschichte auf den gegenwärtigen Zustand der Wälder und ihrer biologi-

schen Vielfalt bilden eine entscheidende Voraussetzung für die Umsetzung der sich aus der CBD ergebenden Forderungen.

Vor diesem Hintergrund wird vom BMVEL seit Beginn des Jahres 2001 ein weiteres Verbundprojekt gefördert zur Entwicklung und Anwendung von Methoden, welche es ermöglichen, die Zielsetzung „Erhaltung und nachhaltige Nutzung der biologischen Vielfalt der Wälder“ auf Landschaftsebene konkret umzusetzen. Die Bearbeitung erfolgt in einem interdisziplinären Verbund von Projekten aus den Bereichen Waldökologie/Artenvielfalt, Ökologische Genetik und Populationsgenetik, Molekularbiologie und Systemanalyse/ Modellierung sowie Ökonomie. ■



S. Anders<sup>1</sup>; H. Ellenberg<sup>2</sup>; H. Hertel<sup>3</sup>; G. Hofmann<sup>4</sup>; M. Jenssen<sup>4</sup>; J. Heuvel-dop<sup>5</sup>; W. U. Kriebitzsch<sup>2</sup>; G. v. Oheimb<sup>6</sup>; M. Schmidt<sup>5</sup>; F. Scholz<sup>3</sup>

1 Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Institut für Forstökologie und Walderfassung, 16225 Eberswalde.

2 Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Institut für Weltforstwirtschaft, 21031 Hamburg.

3 Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Institut für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung, 15377 Waldsiedersdorf.

4 Waldkunde-Institut Eberswalde.

5 Universität Hamburg, Ordinariat für Weltforstwirtschaft.

6 Universität Lüneburg, Institut für Ökologie und Umweltchemie.