



**ZUKUNFTSORIENTIERTE
WALDWIRTSCHAFT**



Bundesland Brandenburg

Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
in Zusammenarbeit mit Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg,
Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Sachsen

Abschlußbericht

zu den F/E –Verträgen vom 23./27.04.1999 (Ergänzungsvertrag vom 22.12.1999)

und vom 23./29.04.2002

im Rahmen des BMBF – Forschungsvorhabens 0339731

„Ökologische Voraussetzungen und Wirkungen des Waldumbaus im nordostdeutschen Tiefland“

(Projektleiter: Dir. u. Prof. Dr. habil. S. Anders)

Laufzeit: 01.03.1999 bis 28.02.2003

- **Teilvorhaben B: Raumzeitliche Strukturbildung durch Selbstorganisation in Waldbeständen des nordostdeutschen Tieflands (01.03.1999 – 28.02.2002)**
- **Teilvorhaben C: Die Entwicklung der Pflanzenartenvielfalt im Verlauf und Ergebnis der Umwandlung von Kiefernforsten in naturnahe Waldökosysteme (01.03.1999 – 28.02.2002)**
- **Aufgaben der wissenschaftlichen Koordinierung des BMBF-Projektverbundes „Nordostdeutsches Tiefland“ (01.03.2002 – 28.02.2003)**

Waldkunde-Institut Eberswalde

Walther-Rathenau-Str. 6a

D-16225 Eberswalde

Bearbeiter: Prof. Dr. habil. Gerhard Hofmann

Dr. Martin Jansen

Dipl.-Ing. Ralf Schlehahn

INHALTSVERZEICHNIS

Teilvorhaben B: Raumzeitliche Strukturbildung durch Selbstorganisation in Waldbeständen des nordostdeutschen Tieflands

B1	Aufgabenstellung und Arbeitshypothesen	<i>1</i>
B2	Stand der Forschung zu Beginn des Vorhabens	<i>3</i>
B3	Ausführliche Beschreibung des methodischen Ansatzes, des zum Projektabschluß erreichten Arbeitsstandes und der Ergebnisse	<i>4</i>
B3.1	Erhebung von Grundlagendaten zu Wuchs- und Konkurrenzpotentialen natürlicher Begleitbaumarten der Rotbuche mit hohem Bauwert für künftige Mischbestände	<i>4</i>
B3.2	Aufbau einer digitalisierten Datenbank der Wald- und Forstvegetation	<i>7</i>
B3.3	Modellierung der Wechselbeziehungen zwischen Standortzustand und Baumartenmischung	<i>8</i>
B3.3.1	Ableitung des Teilmodells eines ökologischen Zustandsraumes	<i>8</i>
B3.3.2	Darstellung der Waldtypen im Ökogramm	<i>12</i>
B3.3.3	Darstellung der Forsttypen und Quantifizierung des Baumarteneinflusses auf den Standortzustand	<i>14</i>
B3.4	Modellierung des Höhenwachstums der untersuchten Baumarten in Abhängigkeit vom Standortzustand	<i>17</i>
B3.4.1	Der Höhenwachstumsgang der untersuchten Baumarten	<i>17</i>
B3.4.2	Bestandeshöhenmodelle für verbreitete Wald- und Forsttypen	<i>19</i>
B3.4.3	Kopplung des Höhenwachstumsmodells mit dem ökologischen Zustandsmodell	<i>21</i>
B3.5	Modellierung interspezifischer Wechselwirkungen der Baumarten im Mischbestand in Abhängigkeit vom Standortzustand	<i>25</i>
B4	Diskussion der erzielten Ergebnisse und Ableitung forstpraktisch verwertbarer Informationen	<i>25</i>

B5	Zusammenfassung und Schlußfolgerungen aus dem erreichten Bearbeitungsstand	27
B6	Veröffentlichung und Verwertung der bisherigen Ergebnisse, Zusammenarbeit mit anderen Teilprojekten	29
B7	Möglichkeiten der Überführung von Ergebnissen in die forstliche Praxis	30
B8	Zitierte Literatur	31

Teilvorhaben C: Die Entwicklung der Pflanzenartenvielfalt im Verlauf und Ergebnis der Umwandlung von Kiefernforsten in naturnahe Waldökosysteme

C1	Aufgabenstellung	34
C2	Stand der Forschung zu Beginn des Vorhabens	35
C3	Forschungsansatz, Material und Methoden	35
C4	Ergebnisse	
C4.1	Ableitung von Maßzahlen der Pflanzenartenvielfalt zur flächenhaften Erfassung und Vorhersage von Diversitätszuständen auf der Basis von definierten Vegetationseinheiten	36
C4.2	Beziehungen zwischen der Pflanzenartenvielfalt der Wälder und Forsten im nordostdeutschen Tiefland und den ökologischen Zustandsbedingungen	43
C4.3	Die Entwicklung von Pflanzenartenvielfalt und Vorkommen geschützter Arten in Kiefernforsten des nordostdeutschen Tieflands im Ergebnis eines Buchenunterbaus	46
C4.4	Die flächenhafte Kartierung und Prognose der Pflanzenartenvielfalt, beispielhaft dargestellt für das NSG Hinrichshagen und das Dauerwaldrevier Bärenthoren	49
C4.5	Die Quantifizierung der Ökosystemtypenvielfalt: Phytodiversität auf der chorischen Ebene	55
C5	Zusammenfassung und Schlußfolgerungen aus dem erreichten Bearbeitungsstand	56

C6 Veröffentlichung und Verwertung der bisherigen Ergebnisse, Zusammenarbeit mit anderen Teilprojekten	58
C7 Möglichkeiten der Überführung von Ergebnissen in die forstliche Praxis	60
C8 Zitierte Literatur	61

Aufgaben der wissenschaftlichen Koordinierung des BMBF-Projektverbundes „Nordostdeutsches Tiefland“ (01.03.2002-28.02.2003)

K1 Zielstellung	63
K2 Aufgabenstellung	64
K3 Ergebnisse	64

Teilvorhaben B

„Raumzeitliche Strukturbildung durch Selbstorganisation in Waldbeständen des nordostdeutschen Tieflands“

B1 Aufgabenstellung und Arbeitshypothesen

Das zukünftige Waldbild im nordostdeutschen Tiefland soll durch möglichst vielfältig strukturierte und stabile Mischbestände geprägt sein, die eine hohe Fähigkeit zu selbstorganisierter Entwicklung besitzen, so dass sie über lange Zeiträume mit möglichst niedrigen Aufwänden bewirtschaftet werden können, gleichzeitig jedoch auch eine hohe ökonomische Wertschöpfung und zahlreiche weitere multifunktionale Wirkungen und Leistungen gewährleisten. Das Teilvorhaben zielt auf die Erkundung von Potentialen struktureller Selbstorganisation bei der Begründung und Bewirtschaftung von solchen Mischbeständen.

Aus waldbaulicher und naturschutzfachlicher Sicht besitzt die Frage nach der Etablierung von Buchen-Mischbeständen, die über längere Zeiträume eine Beteiligung anderer Waldbaumarten an der herrschenden Kronenschicht bei möglichst weit gehender Minimierung der Notwendigkeit permanenter, gezielter Eingriffe zur Freistellung der Mischbaumarten gewährleisten, eine ganz besondere Bedeutung. Die Rotbuche besitzt in weiten Standortbereichen der mitteleuropäischen Waldfläche eine derartige Konkurrenzüberlegenheit gegenüber anderen Baumarten, dass sie hier in naturnahen Wäldern über lange Zeiträume hinweg einschichtige Hallenbestände ohne nennenswerte Beteiligung anderer Baumarten bildet (ELLENBERG 1996, JENSSEN und HOFMANN 1996, LEUSCHNER 1998). Neuere Erkenntnisse zur potenziell-natürlichen Vegetation legen den Schluss nahe, dass die Rotbuche als natürliche bestandesbildende Baumart auch in Brandenburg einen größeren Flächenanteil einnehmen würde, als bisher angekommen wurde (Abb. 1.1). Ausgehend von der derzeitigen Kenntnis der natürlichen Waldgesellschaften, kann im Bereich der grundwasserfernen Standorte unter natürlichen Verhältnissen vor allem in den folgenden beiden standörtlichen Grenzbereichen eine dauerhafte und nennenswerte Beteiligung anderer Baumarten an der herrschenden Kronenschicht in Mischung mit der Rotbuche angenommen werden (HOFMANN 1997a):

- 1) **Rotbuche in Mischung mit Traubeneiche und Kiefer** im subatlantisch getönten natürlichen Buchenwald-Klimagebiet (Klimastufen f und m) auf nährstoffärmeren Sanden (Standortsgruppe Z2). Die Konkurrenzkraft der Rotbuche wird hier vor allem durch die Nährkraft der Standorte begrenzt.
- 2) **Rotbuche in Mischung mit Winterlinde und Hainbuche** im klimatischen Übergangsgebiet zu eher subkontinental getönten Klimaverhältnissen (Klimastufen m/t) auf nährkräftigen und nährstoffreichen lehmigen Böden (Standortsgruppen K2 bis R2). **Beimischungen von Esche, den heimischen Ahornarten, Elsbeere und Vogelkirsche** sind im reichen Standortsbereich möglich. Die Konkurrenzkraft der Rotbuche wird hier vor allem durch mangelnde Niederschläge und Luftfeuchte begrenzt.

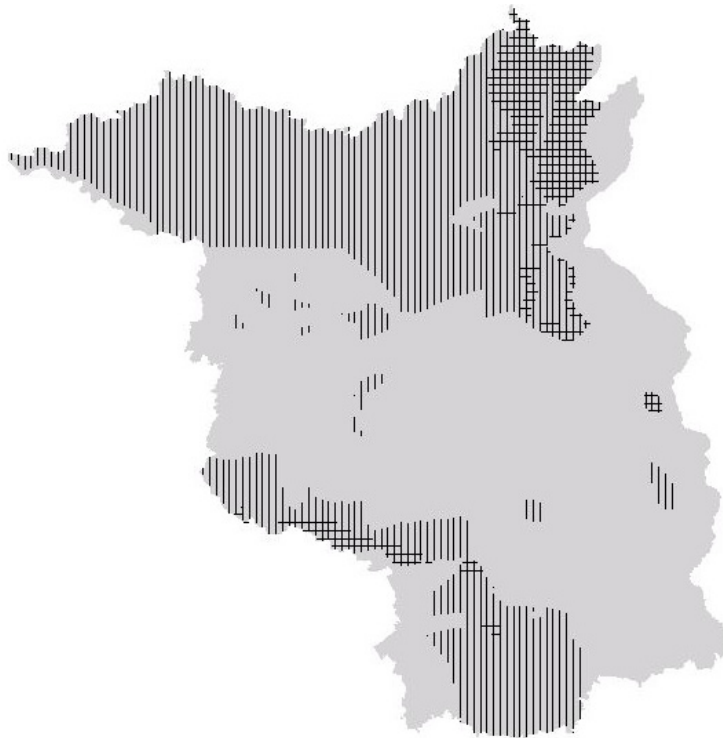


Abb. 1.1: Potenzielle Verbreitung buchenreicher Waldbestände in Brandenburg nach HOFMANN und POMMER (nicht veröffentlichter Entwurf für die Karte der potenziell-natürlichen Vegetation Deutschlands im Auftrag des BFN). Reine Buchenwälder sind senkrecht schraffiert, Buchen-Mischwälder mit Hainbuche, Winterlinde und weiteren Begleitbaumarten im klimatischen Übergangsgebiet sind zusätzlich waagrecht schraffiert.

In dem Teilvorhaben werden die Konkurrenzpotentiale der genannten Baumarten in Bezug auf die Rotbuche in diesen Standortbereichen untersucht. Es wird zunächst als **erste**

Teilhypothese geprüft, ob selbstorganisierte Prozesse tatsächlich zur Ausbildung solcher raumzeitlicher Strukturmuster führen, die eine langfristige Beteiligung der genannten Mischbaumarten am Bestandaufbau gewährleisten. Insbesondere sollen diejenigen Standortbereiche, in denen dies ohne regulierende Eingriffe möglich ist, in ihrer ökologischen Amplitude genau ausgewiesen werden. Als **zweite Teilhypothese** wird postuliert, dass die in den natürlichen Waldgesellschaften des nordostdeutschen Tieflandes sich möglicherweise in relativ engen Standortbereichen selbst organisierenden Buchen-Mischwald-Strukturen als Vorbild für waldbaulich zu begründende und mit vertretbarem Regulierungsaufwand zu erhaltende Mischbestands-Strukturtypen auch in solchen, weiter gefassten Standortbereichen dienen können, in denen von Natur aus bereits eine Entmischung des Oberbestandes zu Gunsten der Rotbuche zu erwarten wäre. Unter den im Untersuchungsgebiet ausgebildeten Bedingungen der relativen Niederschlagsarmut besitzen diese Waldstrukturen gegenüber den reinen Buchenwäldern eine erhöhte Standortsplastizität im Hinblick auf sich möglicherweise in Richtung trocken-warm verändernde Umweltbedingungen. Die Beimischung der genannten, derzeit auf der Waldfläche eher selten anzutreffenden Baumarten besitzt aufgrund der erhöhten Arten- und Strukturvielfalt einen erheblichen naturschutzfachlichen Wert. Insbesondere die Einbringung der Edellaubhölzer und der Eiche kann waldbaulich für eine gezielte Erhöhung der Wertleistung der Bestände genutzt werden.

B2 Stand der Forschung zu Beginn des Vorhabens

Die Konkurrenzpotentiale der Baumarten sind in starkem Maße abhängig sowohl von den standörtlichen Bedingungen als auch von ihrer genetischen Disposition. Beide Aspekte werden in der einschlägigen waldbaulichen Literatur erwähnt und teilweise qualitativ beschrieben, jedoch fehlt es auch im Untersuchungsraum an reproduzierbaren quantitativen Erkenntnissen zu den standortsabhängigen Konkurrenzbeziehungen zwischen den Baumarten, die für die Begründung und Bewirtschaftung von Mischbeständen auf weiten Teilen der Waldfläche erforderlich sind. Während die genetischen Aspekte auch in diesem Teilvorhaben keine Berücksichtigung finden können, werden die Wechselbeziehungen zwischen dem Standortzustand (Oberbodenzustand und Bestandesklima) und dem Baumbestand in seiner jeweiligen Artenmischung über einem neuartigen methodischen Ansatz in die Untersuchungen einbezogen. Der Kerngedanke besteht darin, Baumartenmischungen in einem abstrakten Raum, dem sogenannten ökologischen Zustandsraum oder Ökogramm zu

analysieren und zu modellieren. Damit wird ein bereits in den biologischen, ökonomischen und Sozialwissenschaften erfolgreich beschrittener Weg zur Analyse und Modellierung von Entwicklungsprozessen komplexer Systeme (EBELING et al. 1999) in die forstliche Wissenschaft eingeführt.

B3 Ausführliche Beschreibung des methodischen Ansatzes, des zum Projektabschluß erreichten Arbeitsstandes und der erzielten Ergebnisse

Die Bearbeitung des Teilvorhabens geht aus von der experimentellen Untersuchung der Konkurrenzpotentiale natürlicher Begleitbaumarten der Rotbuche in den im Abschnitt B1 ausgewiesenen edaphischen und klimatischen Grenzbereichen des natürlichen bestandesbildenden Vorkommens der Rotbuche. Dabei werden Struktur-, Zuwachs-, Vegetations und Oberbodenanalysen an denselben einmaligen Probestellen miteinander kombiniert. Aus diesen Untersuchungen und unter Nutzung bekannter Beziehungen zu Wachstum und Ökologie der Baumarten Rotbuche und Waldkiefer, die insbesondere während der neunziger Jahre im Rahmen des BMBF-Verbundprojekts „Waldökosystemforschung Eberswalde“ entwickelt wurden, werden Modelle der raumzeitlichen Strukturbildung von Buchen-Mischbeständen abgeleitet. Diese Modelle berücksichtigen die dynamischen Wechselbeziehungen zwischen den Wuchs- und Konkurrenzpotentialen der Baumarten und der Bestandesökologie (Standortszustand im erweiterten Sinn) durch Kopplung von Teilmodellen der Höhen- und Standraumentwicklung der Baumarten mit dem Modell des ökologischen Zustandsraumes, das in der Projektlaufzeit in seinen Grundzügen entwickelt wurde. Unter Nutzung dieser Modelle werden Aussagen zu Möglichkeiten und Grenzen von längerfristig stabilen Mischungen verschiedener Baumarten mit der Rotbuche in Abhängigkeit vom standörtlichen Ausgangszustand abgeleitet und die für ihre Erhaltung notwendigen Regulierungsaufwände abgeschätzt.

B3.1 Erhebung von Grundlagendaten zu Wuchs- und Konkurrenzpotentialen natürlicher Begleitbaumarten der Rotbuche mit hohem Bauwert für künftige Mischbestände

Die Erhebung noch fehlender Grundlagendaten erfolgte nach den Standardmethoden waldwachstumskundlicher und vegetationsökologischer Forschung in folgenden Arbeitsschritten:

- **Auswahl von einmaligen Versuchsfächen** mit möglichst längerfristig selbst organisierten Bestandesstrukturen

Entsprechend der ausgewiesenen Zielstellung erfolgte die Auswahl der Versuchsfächen schwerpunktmäßig im Bereich der Standortgruppen K2 und R2 des klimatischen Übergangsbereichs (Klimastufe m/t) sowie der Standortgruppe Z2 (Klimastufen f und m). Es wurden Untersuchungen auf insgesamt 57 Versuchsfächen durchgeführt. Auf 8 Versuchsfächen auf mittleren bis kräftigen Standorten wurden Untersuchungen in Kiefern-Buchen-Mischbeständen durchgeführt, die von DANNROTH (1970) bereits Ende der sechziger Jahre erstmalig aufgenommen worden waren. Zu allen Flächen wurden vorliegende Daten der Forsteinrichtung und Standortserkundung erfasst. Während vor allem der Bereich der Kiefern- Buchen- Mischbestände mit dem derzeitigen Arbeitsstand hinreichend abgedeckt ist, bestehen Defizite insbesondere noch bei der Untersuchung von Beständen mit Elsbeere, Vogelkirsche, Hainbuche, Winterlinde und Traubeneiche.

Auf den Versuchsfächen wurden geeignete Baumgruppen ausgewählt und folgende Analysen durchgeführt:

- **Analyse der Vegetation** nach vorkommenden Pflanzenarten, Schichtung, Mengenfaltung (prozentuale Bodenbedeckung) auf dem Minimalareal der Vegetationseinheit, Ansprache der Humusform

Die Vegetationsanalysen erfolgen in enger Kooperation mit dem Teilvorhaben C nach der dort ausgewiesenen Methodik. Die Untersuchungen dienen der Bestimmung der ökologischen Koordinaten der Versuchbestände (Position im ökologischen Zustandsraum, s. Abschn. B3.3). Es wurden insgesamt 112 Vegetationsanalysen durchgeführt.

- Entnahme von **Oberbodenproben** (Auflagehumus, Mineralboden 0 bis 5 cm) an ausgewählten Probefächen, an diesen Proben Bestimmung von pH-Wert und C/N-Verhältnis im Labor nach BZE

Die Oberbodenanalysen erfolgten nach der gültigen BZE-Anleitung. Diese Analysen dienen der Weiterentwicklung der Zeigerwertmodelle der Vegetation, insbesondere zur Ableitung einer Beziehung zwischen der ökologischen Koordinate Oberbodentrophie und dem C/N-Verhältnis des Oberbodens. Es wurden insgesamt 40 Bodenmisch- und 23 Humusmischproben entnommen und im Labor auf C- und N-Gehalte analysiert.

➤ Strukturanalyse der Baumgruppen

Die Strukturanalyse umfaßt die Ansprache der Baumarten, der soziologischen Stellung der Bäume (Stammklassen nach KRAFT), die visuelle Ansprache der Kronenform und Kronentransparenz (in Prozent nach Verfahren der Waldschadenserhebung, die Vermessung der Stammfußkoordinaten, die Datierung evtl. vorhandener Baumstubben, die Messung von Brusthöhdurchmesser und Baumhöhe, die Anfertigung einer Lageskizze der Bäume (Abb. B3.1 links) sowie die Fotodokumentation der Baumgruppe (Abb. B3.1 rechts). Strukturanalysen wurden an 112 Baumgruppen bzw. insgesamt 1201 einzelnen Bäumen durchgeführt.

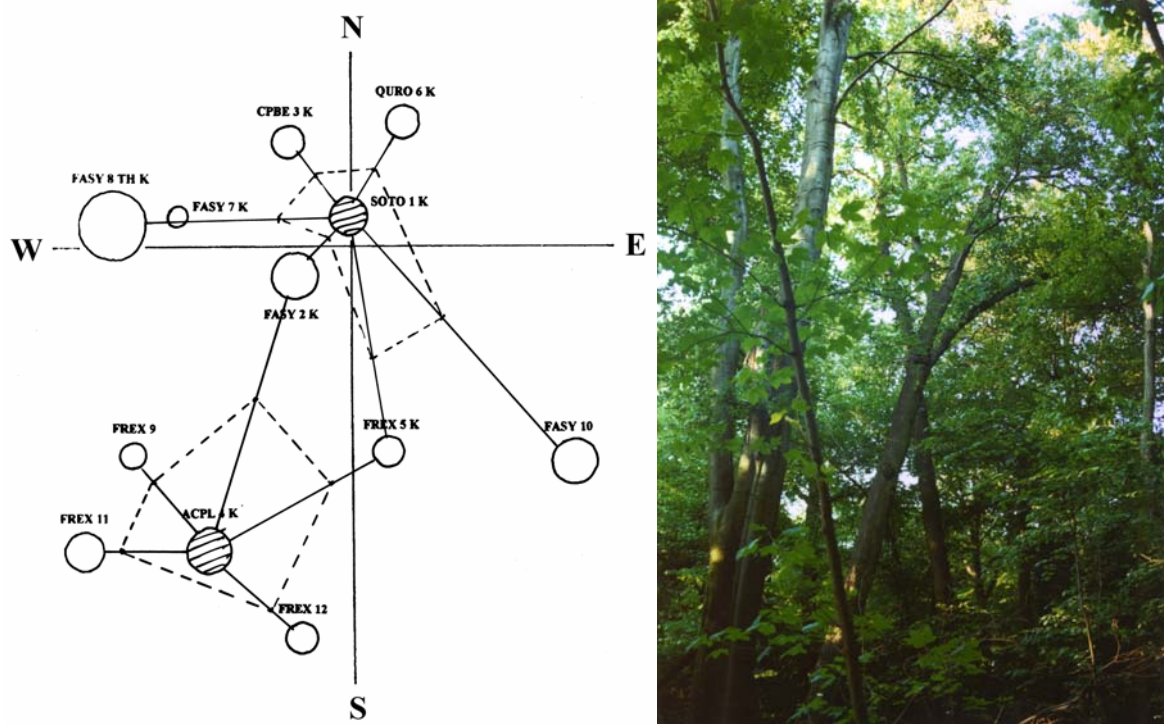


Abb. B3.1: Baumgruppenaufmaß (links) und Fotodokumentation (rechts) zur Untersuchung der Konkurrenzpotentiale von Elsbeere (links oben schraffiert, rechts im Foto mit gebogenem Stamm) und Spitzahorn (links unten schraffiert) im NSG Zichower Forst. Die Kreise symbolisieren die maßstäblich überhöhten Brusthöhdurchmesser der Bäume, die schraffierten Polygone die konstruierten Standräume. Diese Informationen werden zur Berechnung abstandsabhängiger Konkurrenzindizes benötigt. Die in SW-Richtung benachbarte Buche übt einen starken Seitendruck auf die Elsbeere aus, dem die Elsbeere durch Einwachsen in die benachbarte Kronendachlücke ausweicht.

➤ **Alters- und Zuwachsanalyse** an ausgewählten Bäumen

Diese Analyse umfaßt die Entnahme von Bohrspänen, die Vermessung sowie die Fotodokumentation der analysierten Bäume, getrennt nach Kronen- und Stammraum. Die Bohrspäne werden präpariert und dann am Jahrringmeßplatz vermessen und datiert. Die Altersbestimmung ist erforderlich für die Parametrisierung der Alters-Höhen-Relationen. Die Jahrringanalysen werden darüber hinaus für die modellmäßige Rekonstruktion der Standraumentwicklung und die Ableitung von Konkurrenzindizes benötigt (s. Abschn. B3.5). Es wurden insgesamt 319 Bohrspäne entnommen, vermessen und archiviert.

B3.2 Aufbau einer digitalisierten Datenbank der Wald- und Forstvegetation

Die Erarbeitung von Modellen der raumzeitlichen Strukturentwicklung von Buchen-Mischbeständen basiert auf einem umfangreichen Datenmaterial, das zu einem großen Teil von den vegetations- und ertragskundlichen Arbeitsgruppen am Institut für Forstwissenschaften Eberswalde zwischen 1950 und 1990 sowie nach 1991 im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes „Waldökosystemforschung Eberswalde“ erarbeitet wurde und durch die im Teilvorhaben erarbeiteten Daten insbesondere zu den bisher unzureichend untersuchten Baumarten ergänzt wird. Die am Waldkunde-Institut Eberswalde vorliegende, im Rahmen der Projektbearbeitung gemeinsam mit dem Teilvorhaben C weiter entwickelte Datenbank umfaßte zum Projektabschluß ca. 6 000 Vegetationsanalysen sowie ca. 1 500 Datensätze zu Bestandes- bzw. Baumgruppen-bezogenen holzmeß- bzw. waldwachstumskundlichen Daten und einige hundert Einträge zu C/N-Verhältnissen und pH-Werten des Oberbodens. Die Erfassung und Aufbereitung dieses Datenmaterials in digitalisierter Form war eine entscheidende Voraussetzung für die weitere Bearbeitung des Teilvorhabens.

B3.3 Modellierung der Wechselbeziehungen zwischen Standortzustand und Baumartenmischung

B3.3.1 Ableitung des Teilmodells eines ökologischen Zustandsraumes (Ökogramm)

Der neuartige Ansatz im Rahmen des Teilvorhabens besteht in der Analyse und Modellierung von Mischbeständen in einem abstrakten ökologischen Zustandsraum, dem Ökogramm. Ökogramme werden häufig eingesetzt, um Wald- und Forstgesellschaften in Abhängigkeit von den sie determinierenden ökologischen Faktoren schematisch darzustellen (ELLENBERG 1964, 1996, HOFMANN 1965, ELLENBERG und KLÖTZLI 1972, SCHMIDT 1999). Im Gegensatz zu diesen qualitativen Darstellungen wurden im Rahmen des Teilvorhabens erstmalig Ökogramme mit systemanalytischen Methoden aus einer repräsentativen Stichprobe der Wald- und Forstvegetation des nordostdeutschen Tieflands berechnet (JENSSEN 2001a).

Die zum Projektabschluß ca. 6 000 Vegetationsanalysen umfassende Datenbank der Wälder und Forsten des nordostdeutschen Tieflands weist etwa 1 000 verschiedene Pflanzenarten aus. Aufgrund des hohen Indikatorwertes der Waldvegetation und ihrer flächenrepräsentativen Erfassung wurden die Deckungswerte x_i ($i=1, \dots, p$) der $p = 1\,000$ verschiedenen Pflanzenarten als Primärvariablen eines hochdimensionalen ökologischen Merkmalsraumes gewählt. Jede Vegetationsanalyse kann als ein Punkt in diesem abstrakten Raum aufgefaßt werden. Dabei sind die Deckungswerte x_i der meisten der $p = 1\,000$ verschiedenen Variablen für jede einzelne Analyse gleich 0, da tatsächlich nur eine relativ geringe Anzahl von Pflanzenarten auf einer Probefläche gemeinsam vorkommt. Wenn diese Pflanzenarten an einem bestimmten Ort nicht rein zufällig zusammentreffen, sondern sich zu standörtlich ausgelesenen Pflanzengemeinschaften zusammenfinden, so kann der p -dimensionale Merkmalsraum nicht gleichmäßig besetzt sein, sondern muß bestimmte Lokalisationszentren aufweisen, die diesen Pflanzengemeinschaften entsprechen. Die zwischen den Deckungswerten der Pflanzenarten vorhandenen Korrelationen können dann für eine Reduzierung der $p = 1\,000$ Primärvariablen genutzt werden. Eine Auswertung des Datenmaterials zeigt, dass die Verteilungen der Deckungswerte x_i der meisten Pflanzenarten nicht symmetrisch sind, sondern als positiv schiefe, linkssteile Verteilungen rechts, d.h. zu höheren Werten hin flach auslaufen, wie dies für viele komplexe Systeme typisch ist. Um zu annähernd normalverteilten Werten zu gelangen, wurde eine logarithmische Transformation

$$x'_i = \ln(x_i + 0.01) \quad (\text{B3.1})$$

auf den ursprünglichen Datensatz angewandt. Für den logarithmierten Datensatz wurde die Stichproben-Kovarianzmatrix

$$S = (s_{ik}) \quad (\text{B3.2})$$

berechnet, wobei die Kovarianzen s_{ij} durch

$$s_{ik} = \langle (x_i - \langle x_i \rangle)(x_k - \langle x_k \rangle) \rangle \quad (\text{B3.3})$$

gegeben sind und die Indizes i und j von 1 bis $p = 1000$ laufen. Die Klammern $\langle \rangle$ symbolisieren die Mittelwertbildung über alle Vegetationsanalysen, wobei zunächst nur etwa 2 500 Analysen aus naturnahen Wäldern einbezogen wurden, in denen die Baumartenzusammensetzung nach heutigem Kenntnisstand der potenziell-natürlichen Waldvegetation entspricht. Die Stichproben-Kovarianzmatrix S enthält die gesamte Information über die Soziologie der Pflanzenarten, d.h. darüber, welche Arten innerhalb der natürlichen Waldvegetation des nordostdeutschen Tieflandes gemeinsam auftreten, ein ähnliches Schwergewicht ihrer Massenentfaltung entwickeln oder gemeinsam fehlen. Die Kovarianzmatrix S kann daher genutzt werden, um die Dimensionalität des Merkmalsraumes zu reduzieren. Hierzu werden die p Eigenwerte λ_i und die zugehörigen Eigenvektoren \underline{E}_i der Kovarianzmatrix S ermittelt, die der Eigenwertgleichung

$$S \underline{E} = \lambda \underline{E} \quad (\text{B3.4})$$

genügen. Im Ergebnis erhalten wir neue unkorrelierte Variablen y_i , $i=1, \dots, p$, aus den Eigenvektoren \underline{E}_i der Kovarianzmatrix S über die Transformation

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_p \end{bmatrix} = T^{-1} \begin{bmatrix} x'_1 \\ \vdots \\ x'_p \end{bmatrix} \quad (\text{B3.5})$$

als Linearkombinationen der ursprünglichen Variablen x'_i . T^{-1} bezeichnet die inverse Transformationsmatrix T . Die Spalten i der Transformationsmatrix T sind die Eigenvektoren \underline{E}_i gemäß Gleichung (B3.4).

Die neuen Variablen y_i spannen einen geometrischen Raum mit senkrecht aufeinander stehenden Koordinatenachsen auf, weshalb die Transformation (B3.5) in der Geometrie auch als Hauptachsentransformation bezeichnet wird. In der Statistik ist das Verfahren als Hauptkomponentenanalyse bekannt und in gängigen statistischen Programmpaketen

implementiert. Es ist eine allgemeine Eigenschaft der Hauptachsentransformation, dass die Diagonalelemente ($i=k$) der zu den **neuen** Variablen y_i gehörenden Kovarianzmatrix mit den Eigenwerten λ_i der ursprünglichen Kovarianzmatrix S gemäß Gleichung (B3.4) identisch sind, während alle Nicht-Diagonalelemente ($i \neq k$) gleich Null sind. Dies bedeutet, dass die abgeleiteten Variablen y_i untereinander nicht mehr korreliert sind. Jeder Eigenwert λ_i (normalisiert mit der Summe aller Eigenwerte) ist gleich dem Anteil an der Gesamtvarianz der Vegetation, die mit der abgeleiteten Variable y_i beschrieben wird.

Die Ergebnisse belegen, dass zwischen den Deckungswerten verschiedener Pflanzenarten außerordentlich starke Korrelationen bestehen (Abb. B3.2). Nur 5 der aus den Deckungswerten von knapp 1 000 Pflanzenarten abgeleiteten neuen (unkorrelierten) Variablen beschreiben etwa zwei Drittel, nur 10 knapp die Hälfte und 100 Variablen 85 % der Gesamtvarianz der Waldvegetation.

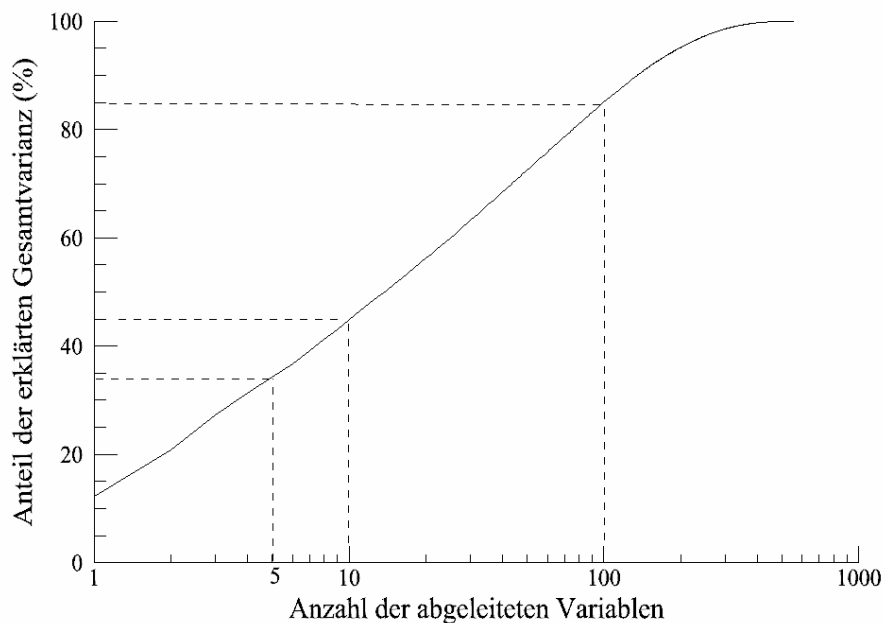


Abb. B3.2: Anteil der Gesamtvarianz $\frac{\sum_{i=1}^k \lambda_i}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} * 100$ der naturnahen Waldvegetation des nordostdeutschen Tieflandes, der mit den über eine Hauptkomponentenanalyse berechneten unkorrelierten Variablen nach Gl. (B3.5) beschrieben wird. Die Hauptkomponentenanalyse wurde auf einen Datensatz von 2 500 Vegetationsanalysen angewandt, der die Deckungswertprozentage von $p = 1\ 000$ verschiedenen Arten der Waldvegetation enthält.

Von entscheidender Bedeutung für das Teilvorhaben ist es, dass den Hauptachsen des Merkmalsraumes eine ökologische Bedeutung zugeordnet werden kann, dass sie also gewissermaßen „ökologische Koordinaten“ definieren, die einen Zeigerwert für den Zustand der Ökosysteme besitzen. Wuchsbestimmende ökologische Faktoren, die für die Differenzierung der Pflanzengemeinschaften nach Art und Mengenerfaltung wie auch – was im Abschnitt B3.4 nachgewiesen wird – für die Differenzierung der Wachstums- und Konkurrenzpotentiale der Baumarten im Rahmen der Wald- und Forstvegetation verantwortlich zeichnen, sind die Trophie, die Feuchte, die Wärme und – in einem globaleren Kontext – der Strahlungsgewinn. Im Rahmen des Teilvorhabens sind Trophie, Feuchte und Wärme von Bedeutung, da diese drei Faktoren innerhalb des nordostdeutschen Tieflandes das Konkurrenzverhalten der Rotbuche und ihrer natürlichen Begleitbaumarten steuern.

In der bisherigen Projektbearbeitung wurden die Hauptachsen des Merkmalsraumes auf die ökologischen Zustandskoordinaten Oberbodentrophie und Feuchte abgebildet. Hierzu wurden für über 500 Pflanzenarten Amplituden dieser Zustandsgrößen auf einer Skala zwischen 0 (extrem arm bzw. extrem trocken) und 10 (sehr reich bzw. sehr nass) ermittelt. Grundlage für die Ermittlung dieser Kennziffern waren die Einträge zu Humusform, pH-Werten und C/N-Verhältnissen in der Datenbank sowie in früheren Arbeiten nachgewiesene Beziehungen zu weiteren physikalisch meßbaren Kenngrößen des Trophie- und Feuchtehaushalts (ANDERS et al. 1988). Aus den für die Pflanzenarten ausgewiesenen Amplituden dieser komplexen ökologischen Faktoren wurde für jede Vegetationsaufnahme ein resultierendes Intervall berechnet, wobei die untere Grenze dieses Intervalls gleich dem Maximum aller unteren Grenzen der vorkommenden Pflanzenarten und die obere Grenze des resultierenden Intervalls gleich dem Minimum aller oberen Grenzen der in der jeweiligen Vegetationsanalyse vorkommenden Einzelarten gesetzt wurde. Die Mittelwerte dieser resultierenden Werte wurden als abhängige Variable genutzt, um Oberbodentrophie und Feuchte als multiple lineare Regressionsfunktion über den Hauptachsenkoordinaten y_i abzubilden. Auf diese Weise wurde ein zunächst 2-dimensionales Ökogramm-Modell mit den ökologischen Hauptachsen Trophie und Feuchte abgeleitet. Dieses Modell gestattet es, für einen beliebigen Waldbestand auf der Grundlage einer Analyse der Vegetation nach Art und Menge eine eindeutige Position im Ökogramm in den Koordinaten Oberbodentrophie und Feuchte zu berechnen.

B3.3.2 Darstellung der Waldtypen im Ökogramm

Stellt man im Ökogramm die Häufigkeitsverteilung der Analysen der natürlichen Waldvegetation des nordostdeutschen Tieflandes dar, so erkennt man eine vielfältige abstrakte „Landschaft“ mit „Bergen“ und „Tälern“ (Abb. B3.3). Sofern die durch Einbringung standortsfremder oder nichtheimischer Baumarten entstandene sekundäre Forstvegetation aus dieser Stichprobe ausgeschlossen wurde, entsprechen die „Berge“ – also die Maxima der Häufigkeitsverteilung – den durch Selbstorganisationsprozesse ausgelesenen natürlichen Mustern der Waldvegetation, den Waldtypen. Die Herleitung von Waldtypen kann somit im Prinzip ganz ohne Bezug auf bestimmte pflanzensoziologische Gliederungsprinzipien, auf streng empirischer Grundlage mit allgemeinen systemanalytischen Methoden erfolgen.

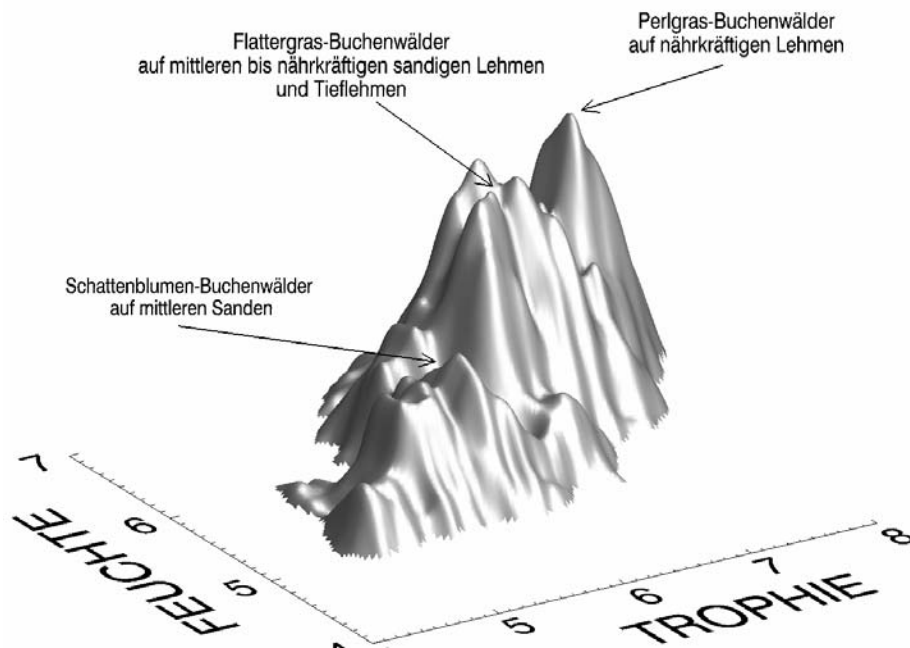


Abb. B3.3: Häufigkeitsverteilung einer Stichprobe von etwa 650 Vegetationsanalysen aus Buchenwäldern des Tieflands, dargestellt als abstrakte Landschaft im ökologischen Zustandsraum. Die „Gipfel“ entsprechen den Schwerpunkten der Waldtypen, die durch deutliche „Täler“ voneinander getrennt sind.

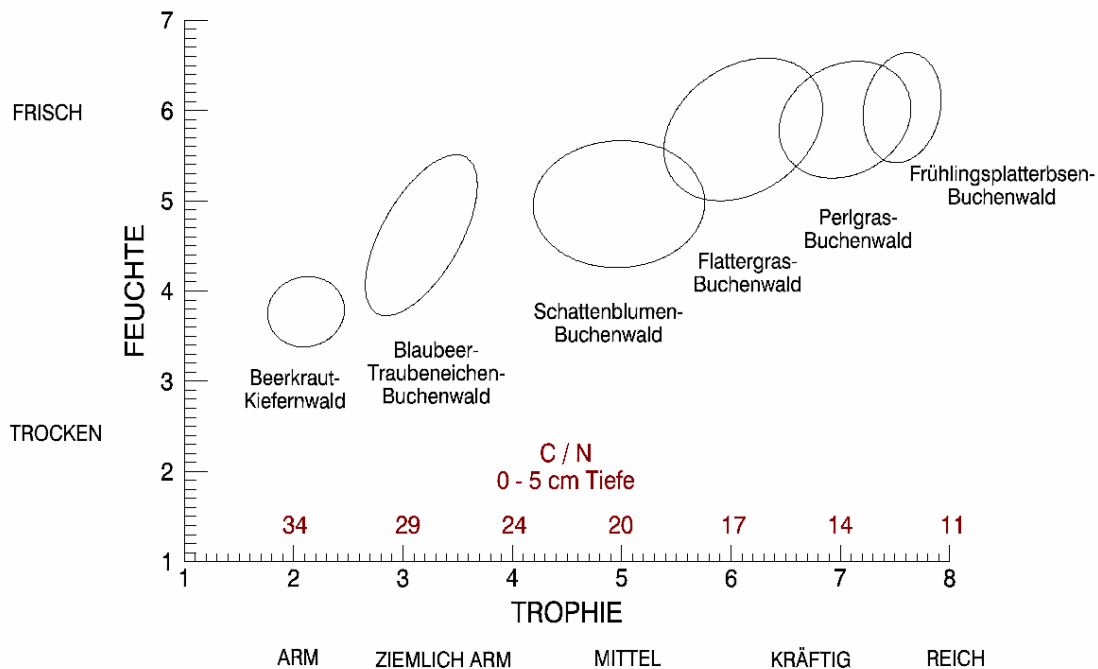


Abb. B3.4: Ökogramm wichtiger Waldtypen im natürlichen Buchenwaldgebiet des ostdeutschen Tieflandes (grundwasserferne Standorte). Die Ellipsen umfassen knapp zwei Drittel der Ausbildungen.

In einem weiteren Arbeitsschritt wurden die den verschiedenen Waldtypen entsprechenden Maxima der Häufigkeitsverteilungen mit 2-dimensionalen elliptischen Gaussfunktionen modelliert. Auf diese Weise wurden Ökogramme wichtiger Waldökosystemtypen berechnet sowohl für das klimatische Buchenwaldgebiet (Abb. B3.4) als auch für das Gebiet, in dem aufgrund mittlerer Jahresniederschläge unter 580 mm Eichen- und Hainbuchenmischwälder das Waldbild von Natur aus prägen würden (Abb. B3.5). Die aus der Vegetation abgeleitete Zustandskoordinate Trophie zeigt eine sehr enge Beziehung zum C/N-Verhältnis des Oberbodens, das auf der oberen Abszisse der Ökogramme aufgetragen wurde. Beide Ökogramme sind im ökologischen Zustandsraum über eine dritte Dimension, die dem Zustandsfaktor Wärme entspricht, miteinander verbunden. Aufgrund der hohen Bedeutung des klimatischen Übergangsgebietes zwischen reinen Buchenwäldern und Hainbuchenwäldern ist eine Erweiterung des ökologischen Zustandsmodells um diese dritte Koordinate im weiteren Projektverlauf unbedingt erforderlich.

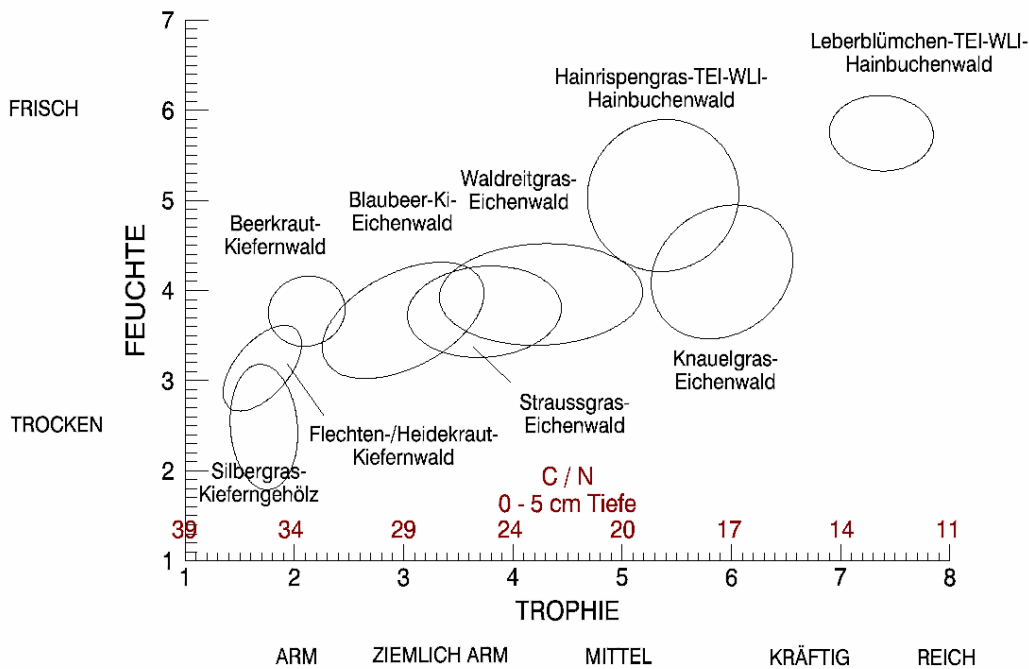


Abb. B3.5: Ökogramm wichtiger Waldtypen im natürlichen Verbreitungsgebiet der Eichen- und Hainbuchen-Mischwälder des ostdeutschen Tieflandes auf grundwasserfernen Standorten. Die Ellipsen umfassen knapp zwei Drittel der Ausbildungen.

B3.3.3 Darstellung der Forsttypen und Quantifizierung des Baumarteneinflusses auf den Standortzustand

Die sich im Ergebnis des Anbaus standortsfremder und nichtheimischer Baumarten ausbildenden Forstökosystemtypen können ebenso wie die Waldökosystemtypen nach den in den Abschnitten B3.3.1-2 dargestellten Arbeitsschritten in Ökogrammen dargestellt werden. Da in diesen Fällen nur die Bodenvegetation, nicht jedoch die künstlich eingebrachte Baumart als Ergebnis selbstorganisierter Prozesse einen Indikatorwert für den tatsächlichen ökologischen Zustand besitzt, müssen die Forstökosystemtypen in Ökogrammen modelliert werden, die für die jeweilige Baumart einzeln berechnet werden (Abb. B3.6).

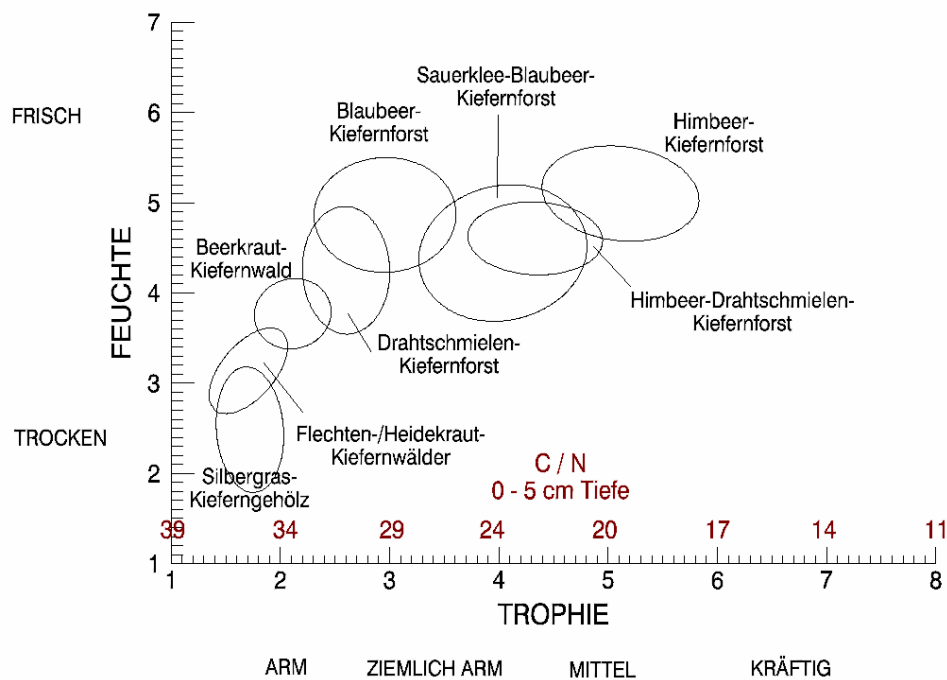


Abb. B3.6: Ökogramm wichtiger Wald- und Forstökosystemtypen der Baumart Kiefer im ostdeutschen Tiefland. Die Ellipsen umfassen knapp zwei Drittel der Ausbildungen des jeweiligen Typs.

Trifft man nun eine Zuordnung von potenziell-natürlichen Waldtypen und sekundären Forsttypen, die sich auf gleichem Standort ausbilden und berechnet für beide die Position im ökologischen Zustandsraum, so stellt man fest, dass sie nicht übereinstimmen. So führt der Kiefernanbau im Bereich natürlicher Buchenwälder zu einer Degradation der Oberbodenzustände und einer Veränderung des Waldinnenklimas in Richtung trocken-warm, die sich in einer entsprechenden Erniedrigung der Trophie- und Feuchte-Koordinaten äußert (Abb. B3.7).

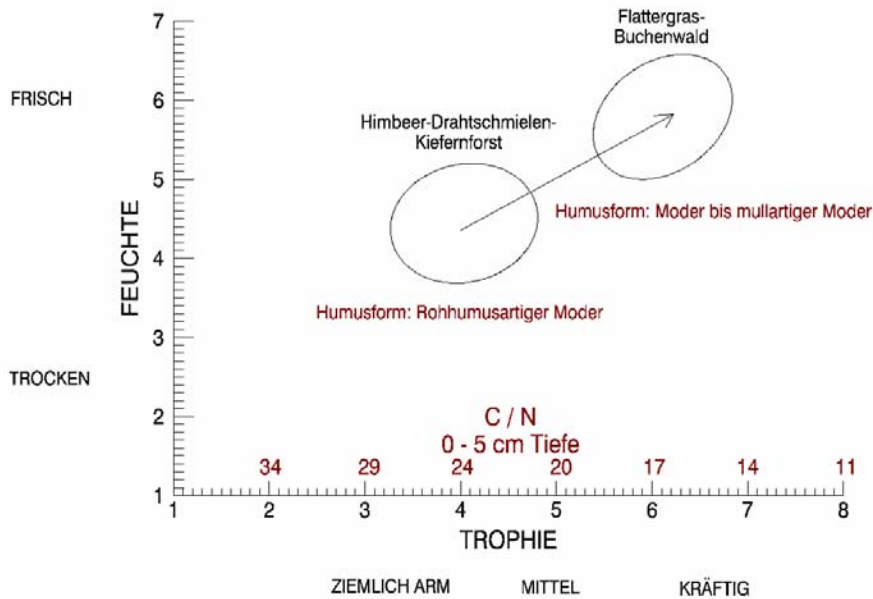


Abb. B3.7: Degradierender Einfluss des Kiefernbaus auf den Standortzustand im Bereich natürlicher Fluttergras-Buchenwälder. Durch Buchenunterbau wird ein in seiner Richtung im ökologischen Zustandsraum umgekehrter Prozess initiiert, der über eine Chronosequenz von Versuchsflächen im Teilvorhaben A im Detail untersucht wurde.

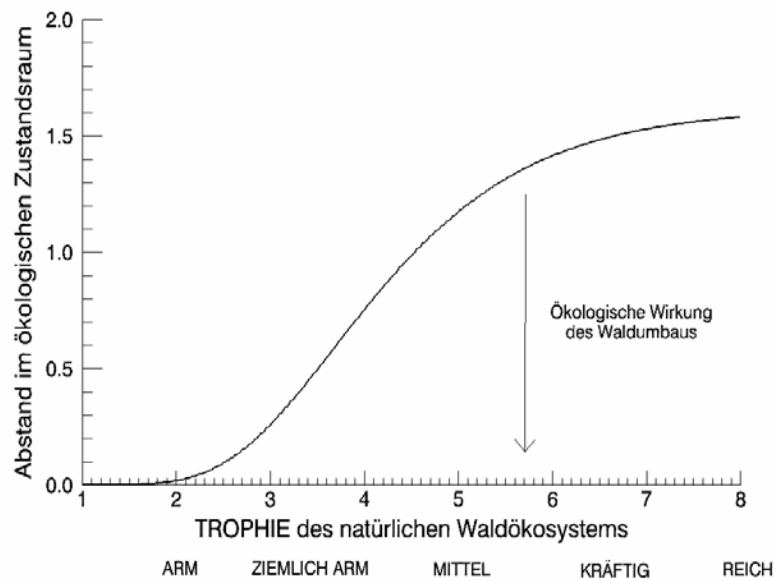


Abb. B3.8: Degradierender Einfluss der Kiefer auf den Standortzustand dargestellt als geometrischer Abstand im Ökogramm zwischen den natürlichen Buchenwaldtypen und ihren Kiefern-Ersatzgesellschaften über dem natürlichen Standortpotential.

Der geometrische Abstand zwischen den ökologischen Zustandskoordinaten der Wald- und Forsttypen auf jeweils vergleichbaren Ausgangsstandorten ist ein quantitativer Ausdruck des Baumarteneinflusses auf den Standortzustand. Berechnet man diese Abstände für eine Reihe natürlicher Buchenwaldtypen und die zugehörigen Kiefernreinbestände und trägt sie über der natürlichen Bodennährkraft auf, so stellt man fest, dass der degradierende Einfluss der Kiefer auf den Standort mit zunehmender Trophie zunimmt (Abb. B3.8). Der Abstand im ökologischen Zustandsraum kann auch als ein ökologisches Maß für die Naturabweichung der aktuellen Vegetation interpretiert werden (JENSSEN und HOFMANN 2001).

B3.4 Modellierung des Höhenwachstums der untersuchten Baumarten in Abhängigkeit vom Standortzustand

Die Konkurrenzpotentiale der Baumarten in Buchen-Mischbeständen werden maßgeblich von den unterschiedlichen Potentialen des Höhenwachstums bestimmt, die vom Standortzustand abhängig sind. Veränderungen der Standortbedingungen können über die Verschiebung der Wuchsrelationen zwischen den Baumarten zu drastischen Verschiebungen der Mischungsanteile bis hin zu vollständigen Entmischungen der Oberbestände führen. Um diese Zusammenhänge in der wechselwirkenden Einheit von Standortzustand und Mischbestand richtig zu beschreiben, ist es nötig, Höhenwachstumsmodelle für die Baumarten zu entwickeln und mit dem im Abschnitt B3.3 vorgestellten Modell des ökologischen Zustandsraumes zu koppeln. Der erreichte Arbeitsstand erlaubt es, diese Vorgehensweise für die Baumarten Buche und Kiefer darzustellen.

B3.4.1 Der Höhenwachstumsgang der untersuchten Baumarten

Das Höhenwachstum wird mit dem von MENDE (1985) entwickelten universellen phänomenologischen Wachstumsmodell EVOLON beschrieben, das von MENDE und ALBRECHT (2001) erstmals auch für die Beschreibung und Vorhersage des Höhenwachstums von Waldbeständen genutzt wurde:

$$\frac{dH}{dt} = cH^\kappa (B - H)^\lambda \quad (\text{B3.6})$$

Dabei bezeichnet H die Höhe, t die Zeit bzw. das Alter, c , B , κ und λ sind die Modellparameter. Die nichtlineare Differentialgleichung (B3.6) beschreibt den Höhenzuwachs. Die Verwendung von Differentialgleichungen zur Modellierung der

Zuwächse von Wachstumsgrößen ist für den Modellansatz wesentlich, da hierdurch Veränderungen von Wachstumsparametern im Laufe der Entwicklung der Mischbestände selbst Berücksichtigung finden können. Eine explizite analytische Darstellung der Höhe H über dem Alter t ist nur für spezielle Parameterwerte möglich, so dass eine numerische Integration von Gleichung (B3.6) erforderlich ist. Der erste der beiden multiplikativ miteinander gekoppelten Terme H^k beschreibt den Anstieg des Höhenzuwachses in den Jugendstadien, der zweite Term $(B-H)^\lambda$ die Abnahme desselben in den späteren Entwicklungsstadien, wobei der Parameter B einen oberen Grenzwert der Höhe darstellt. Ein wesentlicher Vorteil des Modells besteht in seiner Universalität, die es gestattet, z.B. das Höhenwachstum verschiedener Baumarten mit qualitativ unterschiedlichem Wachstumsverhalten, wie Kiefer und Buche, mit derselben anstatt üblicherweise mit verschiedenen Modellgleichungen zu beschreiben.

Die numerische Integration der Gleichung (B3.6), d.h. die Berechnung der Höhenwerte H über dem Alter t erfordert neben den 4 Modellparametern einen Startwert $H_0 = H(t_0)$. Zur Anpassung des Modells an einen gegebenen Datensatz müssen also insgesamt 5 Parameter geschätzt werden. Für eine gegebene Parameterschätzung erfolgte die numerische Integration von Gleichung (B3.6) mit Hilfe eines RUNGE-KUTTA-Verfahrens 4. Ordnung mit konstanter Schrittweite (ABRAMOWITZ und STEGUN 1984). Als Anfangszeitpunkt der Integration wurde $t_0 = 100$ Jahre gewählt, die Modellwerte der Höhe H zu beliebigen früheren oder späteren Zeitpunkten wurden durch Rückwärts- bzw. Vorwärtsintegration mit der Integrationsschrittweite $\Delta t = 0,5$ Jahre errechnet. Die Schätzung der Modellparameter im 5-dimensionalen Parameterraum erfolgte iterativ durch Minimierung der Summe der absoluten Abstandsquadrate zwischen Modell- und Meßwerten nach der Abwärts-Simplex-Methode von NELDER und MEAD (PRESS et al. 1992).

Zur Ermittlung des Höhenwachstumsganges der Baumarten Buche und Kiefer wurden die im Rahmen des Verbundprojektes „Waldökosystemforschung Eberswalde“ zwischen 1992 und 1998 von BECK (1999) durchgeführten stammanalytischen Untersuchungen auf insgesamt 48 Probeflächen der beiden Baumarten sowie die Höhenrahmen von WIEDEMANN und SCHWAPPACH ausgewertet, auf denen die Kiefern-Ertragstafel von LEMBCKE et al. (1975) und die Buchen-Ertragstafel von DITTMAR et al. (1985) basieren. Aus dem vorliegenden experimentellen Material wurden solche Zeitreihen ausgewählt, für die eine relative Konstanz der Standortverhältnisse über möglichst lange Zeiträume der Bestandesentwicklung unterstellt werden konnte. Durch Anpassung der Modellgleichung (B3.6) wurde zunächst ermittelt, welche der Modellparameter nur geringe Variationen

zwischen den verschiedenen Ökosystemtypen einer Baumart zeigen (Baumarten-spezifische Parameter). Die auf diese Weise ermittelten Baumarten-spezifischen Parameter c , κ und λ sind in der Tabelle B3.1 dargestellt.

Tab. B3.1: Parameter des Evolon-Modells nach Gleichung (B3.6) zur Beschreibung des Höhenwachstumsganges von Buche und Kiefer.

	C	κ	λ
Buche	$3,5 \cdot 10^{-5}$	0,20	2,17
Kiefer	$4,5 \cdot 10^{-6}$	0,48	2,98

B3.4.2 Bestandeshöhenmodelle für verbreitete Wald- und Forsttypen

Anstelle der traditionellen Bonität wird im folgenden der die Position im Ökogramm beschreibende ökologische Zustandsvektor als standörtliche Führungsgröße des Höhenwachstums eingeführt. Der Parameter B in Gleichung (B3.6) wird dabei als Funktion der ökologischen Koordinaten Trophie und Feuchte modelliert.

Für die Untersuchung der Konkurrenzpotentiale wird im Teilvorhaben die über die stärksten Bäume eines Bestandes definierte Oberhöhe verwandt, die von der Bestandesbehandlung weniger abhängig ist als die üblicher Weise verwandte Grundflächenmittelhöhe (KRAMER 1988, WENK et al. 1990). Da die Mehrzahl der aus vorhergehenden Untersuchungen stammenden Datensätze nur Angaben zur Grundflächenmittelhöhe enthielten, wurde aus diesen Datensätzen zunächst die Grundflächenmittelhöhe modelliert. Für die im Abschnitt B3.4.3 beschriebenen Untersuchungen wurden die Grundflächenmittelhöhen nach den in den Ertragstafeln von LEMBCKE et al. (1975) und DITMAR et al. (1985) verwandten Beziehungen in Oberhöhen umgerechnet.

Die in der Datenbank erfaßten 1 200 Datensätze zu Alter und Grundflächenmittelhöhe aus Reinbeständen der Baumarten Kiefer und Buche wurden in insgesamt 30 Gruppen aufgeteilt, die den jeweiligen Forst- und Waldökosystemtypen entsprechen. Für jede dieser Gruppen wurde nach dem im Abschnitt B3.4.1 beschriebenen Verfahren der nichtlinearen Parameteroptimierung eine Schätzung des Parameters B und des Integrations-Startwertes H_0 durchgeführt. Zum Nachweis statistisch signifikanter Unterschiede zwischen den verschiedenen, standörtlich determinierten Ökosystemtypen wurde die Streuung innerhalb der

Gruppen berechnet und ggf. zur Zusammenfassung verschiedener der ursprünglichen Gruppen genutzt. Für jeden untersuchten Ökosystemtyp wurden weiterhin die mittleren ökologischen Koordinaten (Trophie und Feuchte) über das ökologische Zustandsmodell berechnet. Ausgewählte Ergebnisse sind in Tabelle B3.2 dargestellt.

Tab. B3.2: Parameter zur Modellierung der Grundflächenmittelhöhe des Kiefern- und Buchenbestandes nach Gleichung (B3.6) für ausgewählte Kiefern- und Buchenökosystemtypen. Für jeden Typ sind die aus dem Ökogramm-Modell berechneten ökologischen Koordinaten Oberbodentrophie und Feuchte angegeben.

Ökosystemtyp	Baumart	Ökologische Koordinate Trophie	Ökologische Koordinate Feuchte	Parameter B nach Gl. (3.6)	Grundflächen- mittelhöhe im Alter 100
Buchenwälder					
Blaubeer-TEI-Buchenwald	Rotbuche	3,8	4,5	57,9	21,5
Schattenblumen-Buchenwald	Rotbuche	4,9	4,9	63,1	25,4
Flattergras-Buchenwald	Rotbuche	6,0	5,5	66,8	28,3
Perlgras-Buchenwald	Rotbuche	6,7	5,7	69,4	30,6
Eschen-Buchenwald	Rotbuche	7,4	7,2	73,1	33,7
Kiefernwälder und Kiefernforsten					
Flechten- und Heidekraut- Kiefernwälder	Kiefer	1,7	3,1	32,8	14,6
Beerkraut-Kiefernwald	Kiefer	2,1	3,9	35,9	18,1
Heidekraut-Kiefernforst	Kiefer	2,9	3,0	35,5	17,7
Schafschwingel- und Flechten- Kiefern-Forsten	Kiefer	3,0	3,1	36,4	18,6
Drahtschmielen-Kiefernforst	Kiefer	3,0	4,2	38,8	21,3
Blaubeer-Kiefernforst	Kiefer	3,1	4,8	40,7	23,5
Pfeifengras-Blaubeer-Kiefernforst	Kiefer	2,9	6,1	41,0	23,8
Pfeifengras-Kiefernforst	Kiefer	2,9	7,5	41,6	24,7
Sandrohr-Kiefernforst	Kiefer	4,1	4,0	42,1	25,2
Himbeer-Drahtschmielen-Kiefernforst	Kiefer	4,2	4,7	43,8	27,3
Adlerfarn-Kiefernforst	Kiefer	4,0	7,8	45,0	28,6
Himbeer-Kiefern-Forst	Kiefer	5,3	5,3	44,4	28,0
Wurmarn-Kiefernforst	Kiefer	5,3	6,5	44,4	28,0

B3.4.3 Kopplung des Höhenwachstumsmodells mit dem ökologischen Zustandsmodell

Nachdem die standortsabhängigen Parameter des die Höhenentwicklung beschreibenden EVOLON-Modells nach Gleichung (B3.6) für insgesamt 30 Wald- und Forstökosystemtypen der Baumarten Buche und Kiefer ermittelt waren, wurden diese Parameter an den über das ökologische Zustandsmodell ermittelten Positionen im Ökogramm „verortet“. Zwischen diesen als Stützstellen fungierenden Punkten wurde für jede Baumart eine stetige Oberfläche interpoliert. Im Ergebnis erhält man Parameterwerte des EVOLON-Modells (B3.6) für beliebige Konstellationen der ökologischen Koordinaten Oberbodennährkraft und Feuchte innerhalb des untersuchten Parameterbereichs. Aus diesen Werten können Höhenentwicklungen der beiden Baumarten über dem Ökogramm visualisiert werden (Abb. B3.9). Es ist dann möglich, die Höhenwachstumsverläufe der Baumarten über dem Ökogramm, d.h. für jeweils denselben Standortzustand zu verschneiden und solche Standorts- und Altersbereiche auszuscheiden, in denen sie sich – ggf. nach zeitlicher Versetzung ihrer Wachstumsgänge – durch gleichwüchsiges Verhalten auszeichnen (Abb. B3.10).

Es wird deutlich, dass das Höhenwachstum der Rotbuche von den ökologischen Grenzstandorten auf ziemlich armen bis armen, mäßig trockenen Sandböden hin zu den nährstoffreichen und grundfeuchten Standorten enorm ansteigt (Abb. B3.9 links). Im Vergleich mit der Buche erstreckt sich die ökologische Amplitude der Kiefer wesentlich weiter in Richtung arm und trocken, der Anstieg des Höhenwachstums flacht jedoch bereits auf mittelmäßig nährstoffversorgten Standorten ab und erreicht im Bereich mittlerer bis nährkräftiger Böden ein breites Plateau, nur im feuchten Bereich wird er wieder etwas angehoben (Abb. B3.9 rechts). Mit diesem standörtlich unterschiedlichen Verhalten des Höhenwachstums der beiden Baumarten variieren auch die Bedingungen für ihre gegenseitige Mischbarkeit. Ein weit gehend gleichwüchsiges Verhalten von Kiefer und Buche bis in ein hohes Alter selbstorganisierter Bestandesentwicklung ist lediglich an der ökologischen Grenze des bestandesbildenden Auftretens der Rotbuche, auf ziemlich armen bis armen Sandböden im Übergangsbereich zum klimatischen Eichenwaldgebiet zu beobachten (Abb. B3.10 A). Auf mittelmäßig nährstoffversorgten Sandböden mit mäßig frischem Wasserhaushalt, im Bereich der Schattenblumen-Buchenwälder, zeigt die Kiefer etwa bis zum Alter 100 ein vorwüchsiges Verhalten, bleibt dann jedoch im Höhenwachstum zunehmend hinter der Buche zurück (Abb. B3.10 B). Die Überlegenheit der Buche im Höhenwachstum mit zunehmendem Bestandesalter und die Verkürzung der Phase relativer Vorwüchsigkeit der

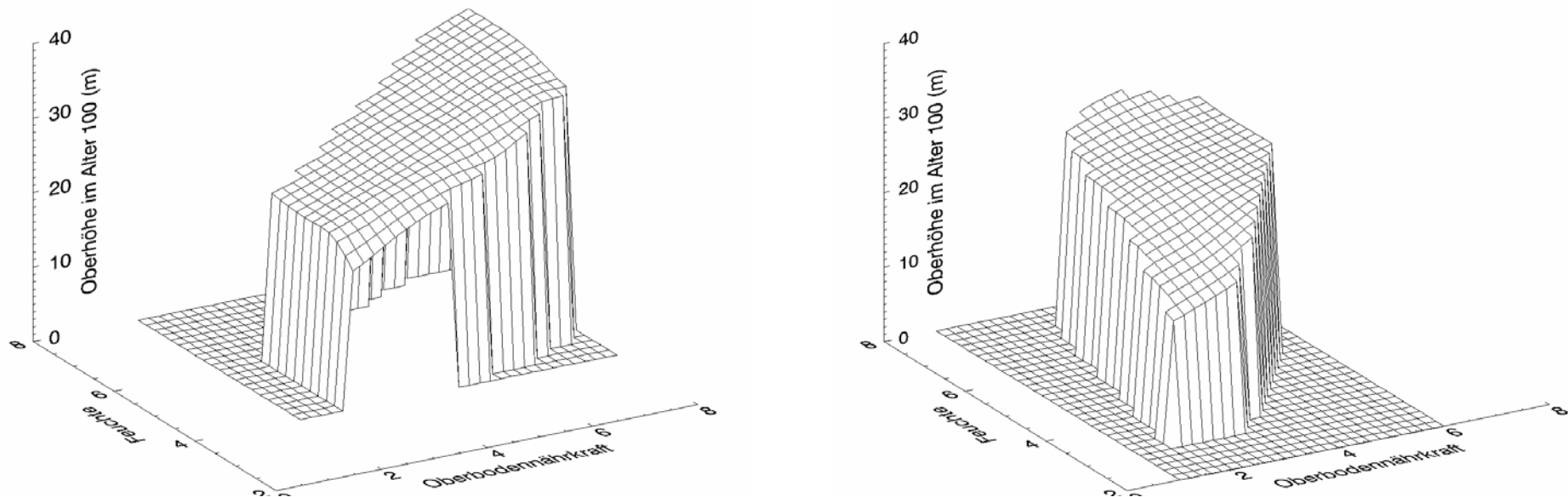
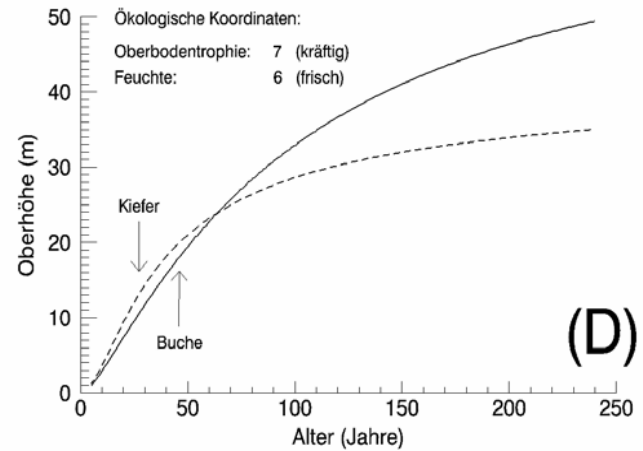
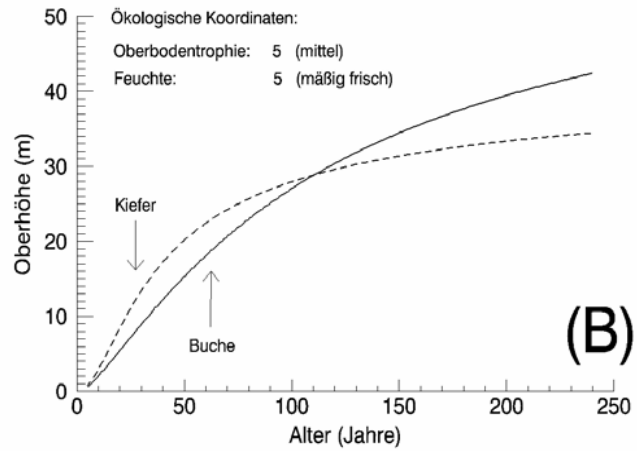
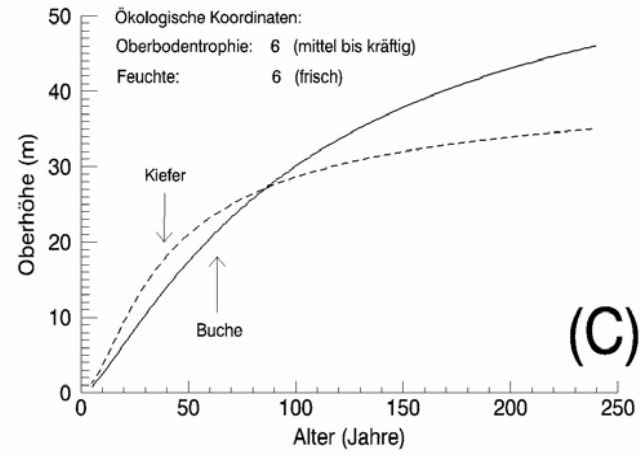
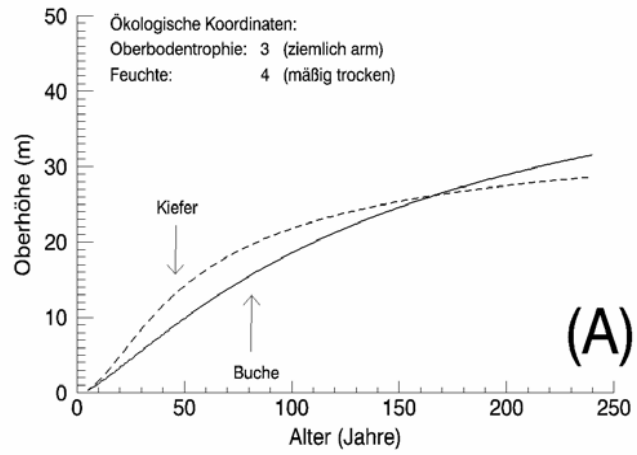


Abb. B3.9: Oberhöhen der Baumarten Buche (links) und Kiefer (rechts) im Alter 100 in Abhängigkeit von den ökologischen Koordinaten Oberbodentrophie und Feuchte, dargestellt über das mit dem ökologischen Zustandsmodell gekoppelte Höhenwachstumsmodell.

NÄCHSTE SEITE:

Abb. B3.10: Vergleich der Oberhöhenentwicklung der Baumarten Buche und Kiefer jeweils für den denselben Standortzustand:

- (A)** an der ökologischen Grenze des bestandesbildenden Auftretens der Rotbuche, auf ziemlich armen bis armen, mäßig trockenen Sandböden bei Jahresniederschlägen um 580 mm (Übergangsbereich zum klimatischen Einchenmischwaldgebiet), Humusform Rohhumus bis rohhumusartiger Moder, C/N-Verhältnis knapp unter 30
- (B)** auf Sandböden mittlerer Nährkraft mit mäßig frischem Wasserhaushalt und Jahresniederschlägen über 600 mm, Humusform Moder, C/N-Verhältnis um 20
- (C)** auf lehmigen Sandböden und Tieflehmen mittlerer bis kräftiger Nährkraft und Jahresniederschlägen über 600 mm, Humusform Moder bis mullartiger Moder, C/N-Verhältnis um 17
- (D)** auf nährkräftigen Lehmböden mit Jahresniederschlägen über 600 mm, Humusform mullartiger Moder, C/N-Verhältnis um 14



Kiefer nehmen mit weiter ansteigendem Nährkraftpotential des Standortes dramatisch zu (Abb. B3.10 C und D).

Der Zeitpunkt, zu dem die Oberhöhe der Buche diejenige der Kiefer zu übersteigen beginnt, also der Zeitpunkt des Schnittpunkts der Oberhöhenkurven beider Baumarten, ist eine wesentliche Information zur Beurteilung der Konkurrenzverhältnisse zwischen der Lichtbaumart Kiefer und der stark schattenden Buche. Dieser Zeitpunkt kann im Ökogramm in seiner standörtlichen Abhängigkeit dargestellt werden (Abb. B3.11). Solche Darstellungen sind eine wesentliche Grundlage zur Ableitung waldbaulich verwertbarer Informationen zur Begründung und Bewirtschaftung von Mischbeständen in Abhängigkeit von den Standortpotentialen (siehe Abschnitt B4).

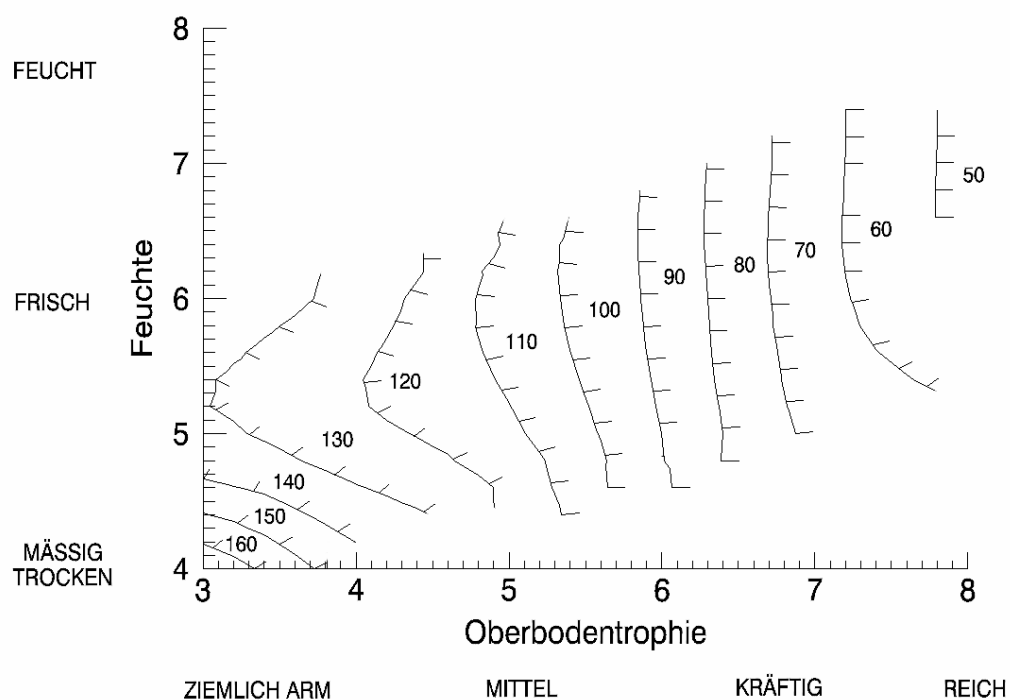


Abb. B3.11: Schnittpunkte der Oberhöhenkurven von Kiefer und Buche, dargestellt als Isolinien des Alters über dem ökologischen Zustandsraum. In dem angegebenen Alter erreichen beide Baumarten in Abhängigkeit von der jeweiligen ökologischen Koordinate dieselbe Oberhöhe.

B3.5 Modellierung interspezifischer Wechselwirkungen der Baumarten im Mischbestand

In einem weiteren Schritt der Modellentwicklung sollen die in den gemischten Baumgruppen ermittelten Daten genutzt werden, um sich aus der räumlichen Struktur des Mischbestandes ergebende und die Konkurrenzbeziehungen wesentlich beeinflussende interspezifischen Wechselwirkungen zu parametrisieren.

Der Schwerpunkt der Untersuchungen ist dabei die Quantifizierung der Wechselwirkungen zwischen den nächsten Nachbarn im herrschenden Bestand. Hierzu sind folgende Arbeitsschritte vorgesehen:

- Ableitung von baumartenspezifischen Beziehungen zwischen Kreisfläche und Standraum
- Anfertigung gebietstypischer Jahrringchronologien für verschiedene Baumarten
- Quantifizierung konkurrenzbedingter Modifikationen des Kreisflächenwachstums und modellmäßige Rekonstruktion der Standraumentwicklung anhand der in den Baumgruppen durchgeführten Jahrringanalysen
- Ableitung abstandsabhängiger Konkurrenzindizes (TOME und BURKHART 1989) für die Baumarten in Abhängigkeit von der Position im ökologischen Zustandsraum (ökologische Koordinate)

Auf dieser Grundlage soll ein weiteres Teilmodell zur Beschreibung der Standraumentwicklung in Abhängigkeit von Art und Dimension der benachbarter Bäume und der ökologischen Koordinate entwickelt werden. Angestrebt wird eine Kopplung aller drei erarbeiteten Teilmodelle der Höhenentwicklung, der Standraumentwicklung und des ökologischen Zustandsraumes, so dass eine Modellierung der wahrscheinlichen Entwicklung räumlicher Bestandesstrukturen in Abhängigkeit vom Standortzustand möglich wird. Ziel ist es, die Stabilität verschiedener Mischungsformen (Einzelmischung, trupp-, gruppen- oder horstweise Mischung) abzuschätzen.

B4. Diskussion der erzielten Ergebnisse und Ableitung forstpraktisch verwertbarer Informationen

Aus erzielten Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass der Kiefern-Buchen-Mischbestand im Rahmen der potenziell-natürlichen Vegetation, d.h. in vollständig selbstorganisierter Entwicklung nur an der ökologischen Grenze des bestandesbildenden Vorkommens der

Rotbuche, auf ziemlich armen bis armen Sandböden unter mäßig trockenen Wasserhaushaltsbedingungen auftreten kann. Nur in diesem ökologischen Grenzbereich ist eine kleinflächige gleichaltrige Mischung beider Baumarten ohne forstliche Steuerung dauerhaft stabil, da das Höhenwachstumspotential der Buche so stark reduziert ist, dass sie es bis in hohe Bestandesalter nicht vermag, die Kiefer zu überwachsen (Abb. B3.10 A und B3.11). Insbesondere das niedrige Wertschöpfungspotential in Verbindung mit hohen Risiken lassen den Buchenanbau in diesem ökologischen Grenzbereich jedoch aus forstlicher Sicht wenig interessant erscheinen.

Auf mittelmäßig nährstoffversorgten Sandböden mit mäßig frischer Wasserversorgung sichert der Kiefer ihre Vorwüchsigkeit eine Beteiligung an einer gleichaltrigen Mischung bis in Bestandesalter von etwa 100 bis 120 Jahren, darüber hinaus sind jedoch gezielte Freistellungen erforderlich (Abb. B3.10 B und B3.11). Dies muss insbesondere dann beachtet werden, wenn das Entwicklungsziel die Schaffung von Altwaldstrukturen beinhaltet.

Im ökologischen Bereich des natürlichen Flattergras-Buchenwaldes, d.h. auf mittleren bis nährkräftigen Standorten und mittleren Jahresniederschlägen über 600 mm, zeigt die Buche eine starke Konkurrenzüberlegenheit gegenüber der Kiefer, so dass die Kiefer in der Selbstorganisation im Baumholzstadium vollständig ausgedunkelt wird. Im Alter 140 beträgt die Oberhöhendifferenz zwischen Buche und Kiefer bereits mehr als 5 m (Abb. B3.10 C). Der Erhalt eines nennenswerten Kiefernanteils über das Alter 100 hinaus erfordert starke Eingriffe in den einwachsenden Buchenbestand und führt daher auch zu erheblichen Minderleistungen.

In diesem, einen hohen Anteil der Waldfläche einnehmenden Standortsbereich kann daher eine Begründung von Kiefern-Buchen-Mischbeständen nur auf dem Wege eines Buchen-Unterbaus erfolgen, d.h. es muß durch forstliche Maßnahmen eine zeitliche Versetzung der Wachstumsgänge beider Baumarten organisiert werden, um langfristig stabile Mischbestände mit minimierten Regulierungsaufwänden zu schaffen.

Darüber hinaus ermöglichen die erarbeiteten Ergebnisse eine Abschätzung der Zeitpunkte, zu denen - in Abhängigkeit von der jeweiligen ökologischen Koordinate - ein Unterbau erfolgen muss, um tatsächlich langfristig stabile Mischbestände zu erzeugen (Abb. B3.11). So sollte in dem diskutierten Standortsbereich mittlerer bis nährkräftiger Standorte hierfür ein Entwicklungsvorlauf des Kiefernbestandes von mindestens 50 Jahren gewährleistet werden. Erfolgt der Unterbau zu früheren Zeitpunkten, so muss der Kiefernschirm lange relativ dicht gehalten werden, um einem zu raschen Einwachsen des Buchenbestandes und einer vorzeitigen Entmischung des Oberbestandes entgegenzuwirken. Der gegenwärtige

Erkenntnisstand erlaubt es jedoch noch nicht, Aussagen zur Verlangsamung des Höhenwachstums der Buche in Abhängigkeit vom Schlußgrad des Kiefern-Kronendaches zu treffen, die eine gezieltere Steuerung des Zeitpunktes des Einwachsens des Oberbestandes erlauben würden.

Ähnliche Aussagen, wie sie für die Mischungen der Buche mit Kiefer abgeleitet wurden, sollten im Verlauf weiterführender Projekte auch für Mischungen mit anderen forstlich und/oder naturschutzfachlich relevanten Baumarten erarbeitet werden. Im Rahmen des Teilvorhabens konnten wesentliche, hierzu benötigte Modellbausteine und experimentelle Grundlagen bereits erarbeitet werden. Der verwandte Modellansatz ist insbesondere auch dazu geeignet, über eine Variation der Ökogrammkoordinaten Wärme, Feuchte oder Trophie auch Aussagen zur Plastizität verschiedener Bestandesstruktur-Zieltypen im Hinblick auf mögliche Standortsveränderungen (Änderung von Klimakomponenten oder Nährstoffeinträge) abzuleiten.

B5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen aus dem erreichten Bearbeitungsstand

Zusammenfassend kann nach Abschluß der dreijährigen Projektlaufzeit der folgende Arbeitsstand ausgewiesen werden:

- Durchführung von insgesamt 112 Vegetationsanalysen auf Versuchsflächen in NSG, Dauerwaldrevieren und weiteren bewirtschafteten Revieren, Humusansprache, Erfassung von Daten der Forsteinrichtung und Standorterkundung auf diesen Flächen, Entnahme und Analyse (C und N) von insgesamt 40 Bodenmisch- und 23 Humusmischproben, Strukturanalyse lt. Arbeitsplan an insgesamt 1201 Bäumen durchgeführt; Entnahme, Vermessung, Datierung und Archivierung von insgesamt 319 Bohrspänen (Alters- und Zuwachsanalyse)
- Aufbau einer digitalisierten Datenbank der Wald- und Forstvegetation des nordostdeutschen Tieflandes mit ca. 6 000 Vegetationsanalysen (Zusammenarbeit mit Teilprojekt C) und 1 500 holzmeß- sowie waldwachstumskundlichen Datensätzen
- Entwicklung des Teilmodells eines zweidimensionalen ökologischen Zustandsraumes (numerisches Ökogramm)
- Modellierung und grafische Darstellung der durch Selbstorganisationsprozesse ausgelesenen natürlichen Baumartenkombinationen (Waldtypen) sowie der durch

künstliche Einbringung der Kiefer auf vergleichbaren Standorten entstandenen Kunstbestände (Forsttypen) im Ökogramm

- Quantifizierung des Baumarteneinflusses auf den Standortzustand mit Hilfe des Ökogramm-Modells
- Entwicklung von Höhenwachstumsmodellen für Wald- und Forstökosystemtypen der Baumarten Buche und Kiefer
- Modellierung des Höhenwachstums von Rotbuche und Kiefer in Abhängigkeit vom Standortzustand durch Kopplung mit ökologischem Zustandsmodell (Ökogramm), grafische Darstellung der Höhenentwicklung von Rotbuche und Kiefer über dem Ökogramm, Verschneidung der Wachstumsverläufe beider Baumarten
- Ableitung waldbaulich verwertbarer Informationen zur Begründung von Kiefern-Buchen-Mischbeständen mit sich über lange Zeiträume hinweg weit gehend selbst regulierenden Oberbeständen in Abhängigkeit von der Standortkonstellation

Mit der Entwicklung des Modells des ökologischen Zustandsraumes und der Kopplung von Zustandsmodell und Wachstumsmodell wurde ein auch im internationalen Maßstab neuartiger Modellansatz entwickelt, auf dessen Grundlage waldbaulich relevante Informationen zur Begründung von Mischbeständen mit geringen forstlichen Steuerungsaufwänden ableitbar sind. Der in der Projektplanung ausgewiesene Ansatz war auf eine Weiterführung der Arbeiten im Rahmen einer Anschlußförderung ausgerichtet. Da eine Verlängerung dieses Teilvorhabens nicht möglich war, hatte der Sachverständigenkreis zunächst auf eine Beschränkung der Aussagen auf die hier dargestellte Problematik der Kiefern-Buchen-Mischbestände, auf die sich auch das Teilvorhaben A bezieht, orientiert und empfohlen, die Arbeiten im Rahmen einer späteren Förderphase bzw. eines späteren Förderschwerpunktes auf die Problematik eichenreicher Mischbestände (insbesondere in den Brandenburgischen Trockengebieten) auszudehnen. Ein derartiges künftiges Forschungsvorhaben wäre im Hinblick auf eine optimale Ergebnisverwertung zu empfehlen, da an die im Teilvorhaben erarbeiteten Grundlagen unmittelbar angeknüpft werden könnte.

B6 Veröffentlichung und Verwertung der bisherigen Ergebnisse, Zusammenarbeit mit anderen Teilprojekten

Die Ergebnisse wurden in folgenden Arbeiten publiziert:

JENSSEN, M.: An Empirically Based Approach to Self-Organisation in Forest Ecosystems. In: MATTHIES, M.; MALCHOW, H.; KRIZ, J. (Eds.): Integrative Systems Approaches to Natural and Social Sciences – Systems Science 2000. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, **2001**, 203-222.

JENSSEN, M.: Relating Vegetation Patterns to Ecosystem Functions in Multidimensional Ecological Feature Spaces. Proceedings 44th Symposium International Association of Vegetation Science. Freising-Weihenstephan **2001**, p. 8.

JENSSEN, M.; HOFMANN, G.: Die Quantifizierung ökologischer Potentiale der Phytodiversität und Selbstorganisation der Wälder. Beitr. Forstwirtsch. u. Landsch.ökol. 37 (**2003**) 1, 18-27.

JENSSEN, M.; HOFMANN, G.: Zur Quantifizierung von Naturnähe und Phytodiversität in Waldungen auf der Grundlage der potenziellen natürlichen Vegetation. In: Anwendung und Auswertung der Karte der natürlichen Vegetation Europas. Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, im Druck.

JENSSEN, M.: Zehn Jahre BMBF-Waldforschung im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin. AFZ-Der Wald 56 (**2001**) 3,132-135

Die Projektbearbeitung erfolgte in intensiver Zusammenarbeit vor allem mit den Teilvorhaben A und B dieses Verbundprojektes sowie dem Vorhaben der AG Dr. Papen des Fraunhofer Instituts für Atmosphärische Umweltforschung. Der Aufbau der digitalisierten Datenbank der Wald- und Forstvegetation des nordostdeutschen Tieflandes wurde in engster Kooperation mit Teilvorhaben C durchgeführt. Im Rahmen des Teilvorhabens wurden die Kronendachstrukturen über sämtlichen Spurengas-Emissions-Meßfeldern der AG Dr. Papen analysiert, da für die Kiefernforsten ein enger Zusammenhang zwischen der Höhe der gasförmigen N-Verluste und den lokal über den Meßstellen ausgebildeten Kronendachstrukturen sowie der auf den Meßfeldern ausgebildeten Bodenvegetation nachgewiesen wurde, aus denen erfolgversprechende Ansätze für eine Regionalisierung der Ergebnisse abgeleitet werden konnten (JENSSEN et al. 2000, 2001). Insbesondere wurden für jedes lokale Spurengas-Emissions-Meßfeld die ökologischen Koordinaten Oberbodentrophie und Feuchte mit Hilfe des ökologischen Zustandsmodells berechnet und diese Angaben in die Auswertung einbezogen.

Die Ergebnisse dieser Zusammenarbeit wurden in folgenden Arbeiten veröffentlicht:

JENSSEN, M.; BUTTERBACH-BAHL, K.; HOFMANN, G., PAPEN, H.: Exchange of trace gases between soils and the atmosphere in Scots pine forest ecosystems of the northeastern German lowlands. 2. A novel approach to scale up N₂O- and NO-fluxes from forest soils by modeling their relationships to vegetation structure. *Forest Ecology and Management* 167 (2002) 1-3, 135-147.

JENSSEN, M.; HOFMANN, G.; ANDERS, S.; BUTTERBACH-BAHL, K.; PAPEN, H.: Flächenhafte Quantifizierung von N-Spurengas-Emissionen in Wäldern. In: *Umweltrelevante Spurengase in der Land- und Forstwirtschaft: Herausforderung für Wissenschaft, Politik und Praxis*. Schriftenreihe agrarspectrum Band 34, DLG-Verlag, Frankfurt (Main) 2002, 139-144.

B7 Möglichkeiten der Überführung der Ergebnisse in die forstliche Praxis

Die mit dem Teilprojekt verfolgte Zielstellung, aus der Untersuchung und Modellierung der Konkurrenzverhältnisse in Mischbeständen solche Buchen-Mischbestands-Strukturtypen standörtlich auszuweisen und in ihren waldbaulichen Optionen zu kennzeichnen, die bei vertretbarem forstlichen Regulierungsaufwand eine möglichst hohe Vielfalt an natürlichen Begleitbaumarten der Rotbuche erlauben, ist von unmittelbarer praktischer Bedeutung für den Prozess einer ökologischen Waldumgestaltung. Die für die zu erarbeitenden Zieltypen relevanten Waldflächen können mit Hilfe der digitalisiert vorliegenden flächendeckenden Informationen der Standortserkundung und der Forsteinrichtung identifiziert werden. Damit können flächenkonkret wissenschaftliche Entscheidungshilfen für die Auswahl von Bestandes-Zieltypen und zu waldbaulichen Optionen ihrer praktischen Umsetzung (Mischungsanteile und Mischungsformen verschiedener Baumarten, Optionen der Bestandesbegründung) bereitgestellt.

Der verfolgte Ansatz, flächenkonkret waldbaulich relevante Rahmeninformation zur Begründung von Mischbeständen auf ökosystemarer Grundlage mit neuartigen Methoden der forstlichen Systemanalyse zu erarbeiten, besitzt auch im internationalen Maßstab ein hohes Innovationspotential. In dreijähriger Bearbeitungszeit wurden wesentliche Modellbausteine entwickelt und ein umfangreiches experimentelles Datenmaterial zur Modellparametrisierung erhoben. Beispielhaft wurde das Vorgehen für die Baumarten Buche und Kiefer in der auf der Waldfläche vorhandenen standörtlichen Breite demonstriert, erste waldbaulich verwertbare Informationen zur Begründung von Kiefern-Buchen-Mischbeständen mit sich über lange Zeiträume hinweg weit gehend selbst regulierenden Oberbeständen wurden abgeleitet.

Wie im Abschnitt B5 erläutert wurde, ist der in der dreijährigen Laufzeit erreichte Bearbeitungsstand noch nicht ausreichend, um einen umfassenden und effektiven Ergebnistransfer in die forstliche Praxis durchzuführen.

B8 Zitierte Literatur

ABRAMOWITZ, M.; STEGUN, I.A. (eds.): Pocketbook of Mathematical Functions. Verlag Harri Deutsch, Thun, 1984, S. 391.

ANDERS, S.; HOFMANN, G.; UNGER, S.: Quantifizierung der Leistungspotenz natürlicher Standortsproduktivkräfte für die Rohholzerzeugung anhand ökologischer Ertragsmodelle – dargestellt am Beispiel natürlicher Buchenwälder des unteren Berglandes. Beitr. Forstwirtschaft. 19 (1988), 97-109

BECK, W.: Wachstumsverhalten und Nettoprimärproduktion der Baumschicht. In: ANDERS, S.; BECK, W.; BOLTE, A.; HOFMANN, G.; JENSSEN, M.; KRAKAU, U.-K., MÜLLER, J. Abschlußbericht zum Vorhaben "Waldökosystemforschung Eberswalde: Einfluss von Niederschlagsarmut und erhöhtem Stickstoffeintrag auf Kiefern-, Eichen- und Buchen-Wald- und Forstökosysteme des nordostdeutschen Tieflandes" für das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Eberswalde 1999, FKZ 0339500C, 47-61.

EBELING, W.; SCHARNHORST, A.; MONTANO, M. A. J.; KARMESHU: Evolutions- und Innovationsdynamik als Suchprozeß in komplexen adaptiven Landschaften. In: MAINZER, K. (Hrsg.): Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft. Komplexitätsforschung in Deutschland auf dem Weg ins nächste Jahrhundert. Springer 1999, 446-473.

DANNROTH, G.: Ertragskundlich-standortkundliche Untersuchungen des Kiefernbestandes mit unter- und zwischenständiger Buche unter besonderer Berücksichtigung der standortsbedingten Grenze des Buchenunterbaus. Promotionsschrift, Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften, Eberswalde 1970.

DITTMAR, O.; KNAPP, E.; LEMBCKE, G.: DDR-Buchenertragstafel 1983. Institut für Forstwissenschaften Eberswalde 1986.

ELLENBERG, H.: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Stuttgart, 1. Aufl. 1964, 5. Aufl. 1996.

ELLENBERG, H.; KLÖTZLI, F.: Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Mitt. Schweiz. Anstalt für das Forstliche Versuchswesen 48 (4) 1992, 593-930.

HOFMANN, G.: Die Kiefernforstgesellschaften des nordostdeutschen Flachlandes. Tagungsberichte der DAL, Nr. 75 "Aktuelle Probleme der Kiefernwirtschaft", Berlin 1965, 89-97.

HOFMANN, G.: Natürliche Waldgesellschaften Brandenburgs als Grundlage waldbaulicher Zielstellungen. In: Waldbewirtschaftung und Naturschutz im Wald – Einheit oder Widerspruch? Tagungsbericht des Brandenburgischen Forstvereins e.V. zur Jahrestagung 1997. Eberswalde 1997, 33-53.

HOFMANN, G.: Mitteleuropäische Wald- und Forstökosystemtypen in Wort und Bild. AFZ/Der Wald, Sonderheft, 1997.

- JENSSEN, M.: An Empirically Based Approach to Self-Organisation in Forest Ecosystems. In: MATTHIES, M.; MALCHOW, H.; KRIZ, J. (eds.): Integrative Systems Approaches to Natural and Social Dynamics. Springer-Verlag Berlin 2001, 203-222.
- JENSSEN, M.: Zehn Jahre BMBF-Waldforschung im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin. AFZ - Der Wald 3 (2001), 132-135.
- JENSSEN, M.; HOFMANN, G.: Der natürliche Entwicklungszyklus des baltischen Perlgras-Buchenwaldes (Melico-Fagetum). Anregung für naturnahes Wirtschaften. Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie 30/3 (1996), 114-124.
- JENSSEN, M.; HOFMANN, G. (1997a): Entwicklungszyklen des baltischen Buchenwaldes. AFZ / Der Wald 52/19, 1012-1014.
- JENSSEN, M.; HOFMANN, G.: Einstellung eines reifen Entwicklungszyklus im Buchenwald. AFZ / Der Wald 52/19 (1997), 1015-1018.
- JENSSEN, M.; HOFMANN, G.: Zur Quantifizierung von Naturnähe und Phytodiversität in Waldungen auf der Grundlage der potenziellen natürlichen Vegetation. Vortrag auf der Internationalen Tagung „Anwendung und Auswertung der Karte der natürlichen Vegetation Europas“, INA Insel Vilm, 07. bis 11. Mai 2001. Publikation in der Schriftenreihe des Bundesamtes für Naturschutz in Vorbereitung.
- JENSSEN, M.; BUTTERBACH-BAHL, K.; HOFMANN, G.; PAPEN, H.: Modellierung von Beziehungen zwischen der Emission von N-Spurengasen aus Waldböden und den Vegetationsstrukturen in Kiefernökosystemen des nordostdeutschen Tieflandes. Beitr. Forstwirtsch. u. Landsch.ökol. 34 (2000) 3, S. 116-122.
- JENSSEN, M.; BUTTERBACH-BAHL, K.; HOFMANN, G.; PAPEN, H.: Exchange of trace gases between soils and the atmosphere in Scots pine forest ecosystems of the North Eastern German Lowlands. 2. A novel approach to scale up N₂O- and NO-fluxes from forest soils by modeling their relationships to vegetation structure. Submitted to Forest Ecology and Management, 2001.
- KRAMER, H.: Waldwachstumslehre. Hamburg 1988.
- LEMBCKE, G.; KNAPP, E.; DITTMAR, O.: DDR-Kieferntragsstafel 1975. Institut für Forstwissenschaften Eberswalde 1975.
- LEUSCHNER, C.: Mechanismen der Konkurrenzüberlegenheit der Rotbuche. Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges. 10 (1998), 5-18.
- MENDE, W.: The evolon model and its applications to natural processes. In: EBELING, W.; PESCHEL, M. (Eds.): Approach to Cooperation and Competition in Dynamic Systems. Akademie-Verlag, Berlin, 1985, 261-271.
- MENDE, W.; ALBRECHT, K.-F.: Beschreibung und Interpretation des Fichtenwachstums mit Hilfe des Evolon-Modells. Forstwissenschaft. Centralblatt, im Druck.
- PRESS, W.H.; TEUKOLSKY, S.A.; VETTERLING, W.T.; FLANNERY, B.P.: Numerical Recipes in C. The Art of Scientific Computing. 2nd ed. Cambridge University Press, 1992, S. 408f.

SCHMIDT, P. A.: Übersicht der natürlichen Waldgesellschaften Sachsens. Sächsische Landesanstalt für Forsten, Graupa 1999.

TOME, M.; BURKHART, H.E.: Distance Dependent Competition Measures for Predicting Growth of Individual Trees. Forest Science 35 (1989), 816-831.

WENK, G.; ANTANAITIS, V.; SMELKO, S.: Waldertragslehre. Berlin 1990.

Teilvorhaben C

„Die Entwicklung der Pflanzenartenvielfalt im Verlauf und Ergebnis der Umwandlung von Kiefernforsten in naturnahe Waldökosysteme“

C1 Aufgabenstellung

Die Erhaltung und Mehrung der biologischen Vielfalt in Wäldern entspricht einem breiten politischen Konsens und ist im Zielsystem der deutschen Landesforstverwaltungen verankert. Gleichzeitig erfordern ökologische Probleme und ökonomische Zwänge der Forstwirtschaft den Umbau naturferner Nadelbaumreinbestände in naturnähere Laub-Nadelbaum-Mischbestände und Laubbaumbestände. Da a priori nicht vorausgesetzt werden kann, dass Erhaltung der biologischen Vielfalt und Reduzierung der derzeitigen Naturferne der Waldungen als gleichberechtigte Ziele auf der gesamten Waldfläche umsetzbar sind, müssen Methoden zur Quantifizierung und Vorhersage der Entwicklung biologischer Vielfalt als wissenschaftliche Grundlage für die in Waldumbauplanungen erforderlichen Abwägungen entwickelt werden. Die im Teilprojekt durchgeführten Untersuchungen beziehen sich dabei auf die Pflanzenartenvielfalt in den Waldungen des nordostdeutschen Tieflands.

Forschungsziel ist es, die durch geplante Umbaumaßnahmen entstehenden Veränderungen in der Artenzusammensetzung und Artenvielfalt der Wälder zu quantifizieren und vorherzusagen, und zwar flächendeckend für den gesamten Untersuchungsraum.

Wichtige Fragen, die sich in diesem Zusammenhang stellen, sind:

- Wie wirkt sich eine künstlich durchgeführte Naturannäherung der Baumartenzusammensetzung in Kiefernforsten auf das Artenspektrum der Strauch- und Bodenvegetation (nach Pflanzenarten und deren Mengenfaltung) aus? Dabei müssen jeweils die regionalklimatischen und standörtlichen Gegebenheiten sowie die stadialen Entwicklungszustände der im Umbau befindlichen Bestände betrachtet werden.
- Ist es möglich, die gefundenen Zusammenhänge über die Fassung von Vegetationstypen in den Umwandlungsbeständen standortstypisch zu normieren, um sie so auf der Basis der durchgeführten Standorts- und Naturraumkartierung flächendeckend zu verallgemeinern und daraus für die gesamte zum Umbau vorgesehene Waldfläche prognostische Trends über die Entwicklung der Artenvielfalt in quantifizierter Form abzuleiten?

C2 Stand der Forschung zu Beginn des Vorhabens

Die waldvegetationskundliche Forschung hat im Untersuchungsraum eine alte Tradition, sie begann bereits in den 30er Jahren durch Markgraf, Libbert, Preising, Hueck und wurde besonders in den 50er und 60er Jahren durch die Arbeiten der "Eberswalder Schule" intensiviert und im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes "Waldökosystemforschung Eberswalde" in den 90er Jahren wiederbelebt. Das Spektrum der Waldvegetation war damit zu Beginn des Vorhabens in den Grundzügen hinsichtlich Struktur und Dynamik sowie Weiserwert für Klima, Boden und Nettoprimärproduktion erkundet. Wie in allen Teilen Europas wurde aber auch hier forstlich begründeten Nadel-Laubbaum-Mischbeständen bis auf wenige Ausnahmen nur geringe Beachtung zuteil, so daß die wissenschaftliche Grundlage für die vegetationskundliche Bewertung des Waldumbaus, bei dem gerade diese Vegetationsformen eine wichtige Rolle spielen, zu diesem Zeitpunkt als gering entwickelt angesehen werden musste. Hier war eine Forschungslücke entstanden, zu deren Schließung das Teilprojekt einen Beitrag leistet.

Das Vorhaben zielt insbesondere darauf, die wissenschaftlichen Grundlagen für eine Quantifizierung der Pflanzenartenvielfalt auf der Basis kartierter Vegetationseinheiten zu erarbeiten. Dieser Ansatz ist neuartig, zu seiner Umsetzung müssen hierfür geeignete Maßzahlen der Pflanzenartenvielfalt erarbeitet werden, die auch im internationalen Maßstab zu Beginn des Vorhabens nicht vorhanden waren (SOLBRIG, 1994; DIERSEN und KIEHL, 2000; HOBOHM, 2000). Das methodische Hauptproblem besteht dabei in der Skalenabhängigkeit von Diversitätsmaßen, die daraus folgt, dass die Anzahl der Arten mit wachsender Stichproben- und Untersuchungsgebietsgröße steigt. Diese Skalenabhängigkeit erschwert den Vergleich verschiedener Befundeinheiten unterschiedlicher Flächenausdehnung und insbesondere eine Verallgemeinerung der Aussagen auf der chorischen bzw. regionalen Ebene.

C3 Forschungsansatz, Material und Methoden

Die Bearbeitung geht von der Analyse von Waldbeständen aus, die in ihrer Artenzusammensetzung heute schon wichtigen Umbau-Zielstrukturen entsprechen. Das sind im wesentlichen Kiefern-Buchen-Mischbestände, Buchenunterbauten unter Kiefer, Eiche und Lärche und Kiefern-Eichen-Mischbestände.

In diesen wird unter gleichen standörtlichen Voraussetzungen ein Vergleich der Vegetationszusammensetzungen mit Kiefernbeständen und/oder naturnahen Waldbeständen

(Buchenwälder, Eichenwälder, Hainbuchenwälder) in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium des Bestandes (Dickung, Stangenholz, Baumholzstadium) vorgenommen. Diese Paarvergleiche werden repräsentativ über die beiden Klimaregionen des Gebietes und die gesamte für den Waldumbau auf terrestrischen Standorten in Frage kommenden Standortsbreite durchgeführt.

Es werden daraus Vegetationseinheiten (Halbforst- und Mischforsttypen) abgeleitet, die in sich nach Vegetationsstruktur, Artenzusammensetzung, Artenzahl, Artenmenge weitgehend homogen und von anderen Einheiten durch prägnante Unterschiede in den genannten Merkmalen abgrenzbar sind.

Es werden statistisch signifikante Beziehungen zwischen Standort, Vegetationstyp und Pflanzenartenvielfalt abgeleitet, auf deren Grundlage eine flächenhafte Erfassung und Vorhersage der Entwicklung der Pflanzenartenvielfalt für verschiedene Szenarien des Waldumbaus möglich wird.

Die im folgenden Abschnitt dargestellten Ergebnisse wurden in folgenden Arbeitsschritten erreicht:

- Aufbereitung von Grundlagenmaterial, Anfertigung von Vergleichstabellen von Ausgangsreinbeständen, Aufarbeitung des vorhandenen Datenmaterials hinsichtlich der zum Vergleich anstehenden Vielfalt-Parameter, Aufbau einer digitalisierten Datenbank der Wald- und Forstvegetation des nordostdeutschen Tieflandes (Zusammenarbeit mit Teilprojekt B)
- Ableitung von Maßzahlen für die Pflanzenartenvielfalt, mit deren Hilfe auf der Grundlage von Vegetationseinheiten quantifizierte und kartierbare Aussagen über die Pflanzenartenvielfalt in Wäldern abgeleitet werden können
- Auswahl von einmaligen Versuchsflächen zum Vergleich der Vegetationszusammensetzungen der Umbaubestände mit naturnahen Waldbeständen (Buchenwälder, Eichenwälder, Hainbuchenwälder) und Ausgangs-Reinbeständen der Baumart Kiefer in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium des Bestandes (Dickung, Stangenholz, Baumholzstadium), Auswahl erfolgte repräsentativ über die beiden Klimaregionen des Gebietes und die gesamte für den Waldumbau auf terrestrischen Standorten in Frage kommenden Standortsbereiche
- Durchführung der Vegetationsanalysen für 229 Flächenpaare (Ausgangsreinbestand, umgewandelter Bestand) auf ziemlich armen, mittleren und kräftigen terrestrischen

Standorten in beiden Klimaregionen des Untersuchungsgebietes, Analyse der Vegetation nach vorkommenden Pflanzenarten, Schichtung, Mengenfaltung (prozentuale Bodenbedeckung) auf dem Minimalareal der Vegetationseinheit, Erfassung von Humusform, Standortsformengruppe, Bestandesalter, Kronenschlußgrad und der mittlerem Kronentransparenzgrad des Bestandes

- Auswertung mittels der in der Vegetationskunde üblichen Tabellenarbeit unter Nutzung der EDV
- Ableitung von Vegetationseinheiten (Halbforst- und Mischforsttypen), die in sich nach Vegetationsstruktur, Artenzusammensetzung, Artenzahl, Artenmenge weitgehend homogen und von anderen Einheiten durch prägnante Unterschiede in den genannten Merkmalen abgrenzbar sind
- Charakterisierung der erarbeiteten Vegetationseinheiten mit Hilfe der entwickelten Vielfaltsparameter, Anfertigung thematischer Karten zur Pflanzenartenvielfalt auf der Grundlage vorliegender Vegetationskartierungen

C4 Ergebnisse

C4.1 Ableitung von Maßzahlen der Pflanzenartenvielfalt zur flächenhaften Erfassung und Vorhersage von Diversitätszuständen auf der Basis von definierten Vegetationseinheiten

Pflanzenartenvielfalt kann sowohl als Artenreichtum lediglich über die Anzahl der auf einer bestimmten Untersuchungsfläche vorkommenden Arten, aber auch als Artendiversität unter Berücksichtigung von Anzahl und Mengenfaltung der vorkommenden Arten gemessen werden.

Eine Verallgemeinerung von quantitativen Aussagen zur Artenvielfalt auf weite Teile der Waldfläche erfordert Diversitätsmaßzahlen, die von der räumlichen Betrachtungsskala in weiten Bereichen unabhängig sind. Es ist jedoch allgemein bekannt, dass die Anzahl der Arten mit wachsender Stichproben- bzw. Untersuchungsgebietsgröße stetig ansteigt. Dies wurde anhand des im Untersuchungsgebiet vorliegenden Datenmaterials bestätigt: Stellt man aus einem Material von insgesamt 1 200 Vegetationsanalysen in Buchenwäldern des nordostdeutschen Tieflandes nach dem Zufallsprinzip Stichproben zusammen, die jeweils von 1 bis 1 200 Einzelanalysen umfassen, so stellt man fest, dass mit zunehmender

Stichprobengröße immer neue Arten hinzukommen, ohne dass die Artenzahlkurve einem Sättigungswert zustrebt (Abb. C4.1).

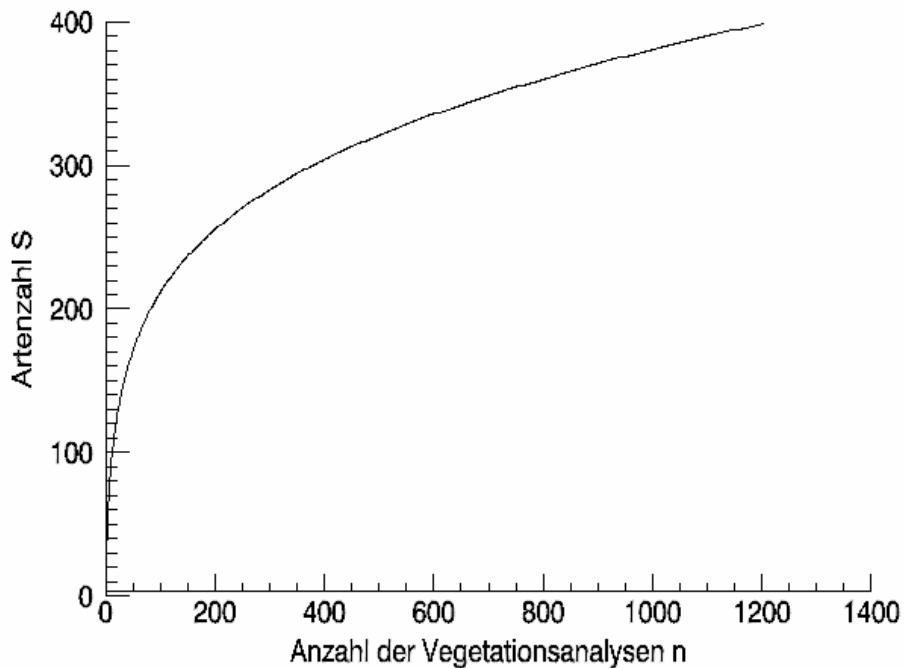


Abb. C4.1: Pflanzenartenzahl S in Buchenwäldern des nordostdeutschen Tieflandes (Baumholzstadium) in Abhängigkeit von der Anzahl der Vegetationsanalysen n. Es wurden aus insgesamt 1 200 Analysen jeweils 1 200 Zufallsstichproben zu je $n = 1, \dots, 1\,200$ Einzelanalysen gebildet. Der Mittelwert der Artenzahl S wurde über dem jeweiligen Stichprobenumfang n abgetragen. Der Wert für $n = 1$ entspricht der mittleren Artenzahl auf 400 m^2 .

Betrachtet man nun neben der Gesamtheit der Buchenwälder des nordostdeutschen Tieflands verschiedene Untermengen, die als standörtlich ausgelesene Vegetationseinheiten so definiert wurden, dass sie hinsichtlich der Mengenfaltung der vorkommenden Artengruppen in sich möglichst homogen sind (HOFMANN 1997), so lässt sich auch innerhalb dieser Vegetationseinheiten ein stetiges Ansteigen der Artenzahlen mit der Stichprobengröße feststellen (Abb. C4.2). Es wird darüber hinaus deutlich, dass dieser Anstieg um so größer ist, je weiter die Vegetationseinheiten gefasst sind. Diese Abhängigkeiten der Artenzahlen von Stichprobengröße und Definition der Vegetationseinheiten machen deutlich, dass die Übertragung von Angaben zu absoluten Artenzahlen auf Waldflächen über Vegetationstypen nicht möglich ist. Zur Charakterisierung des Artenreichtums über relative Vergleiche ist es jedoch möglich, die Artenzahl auf eine definierte Bezugsfläche zu beziehen. Aus

verschiedenen Gründen ist es nahe liegend, jedoch nicht zwingend, als Bezugsfläche das Minimalareal der jeweiligen Vegetationseinheit zu wählen, das in Waldungen als Quadrat der durch die Baumhöhe des herrschenden Bestandes gegebenen natürlichen Längeneinheit definiert werden sollte (HOFMANN et al. 1999). Insbesondere wird in den folgenden Abschnitten gezeigt, dass die mittlere Artenzahl im Minimalareal $\langle S \rangle$ enge Beziehungen zu dem Diversitätspotential von Vegetationseinheiten H_{\max} aufweist, dessen Eignung als skaleninvariante Maßzahl der Pflanzenartendiversität im folgenden nachgewiesen wird.

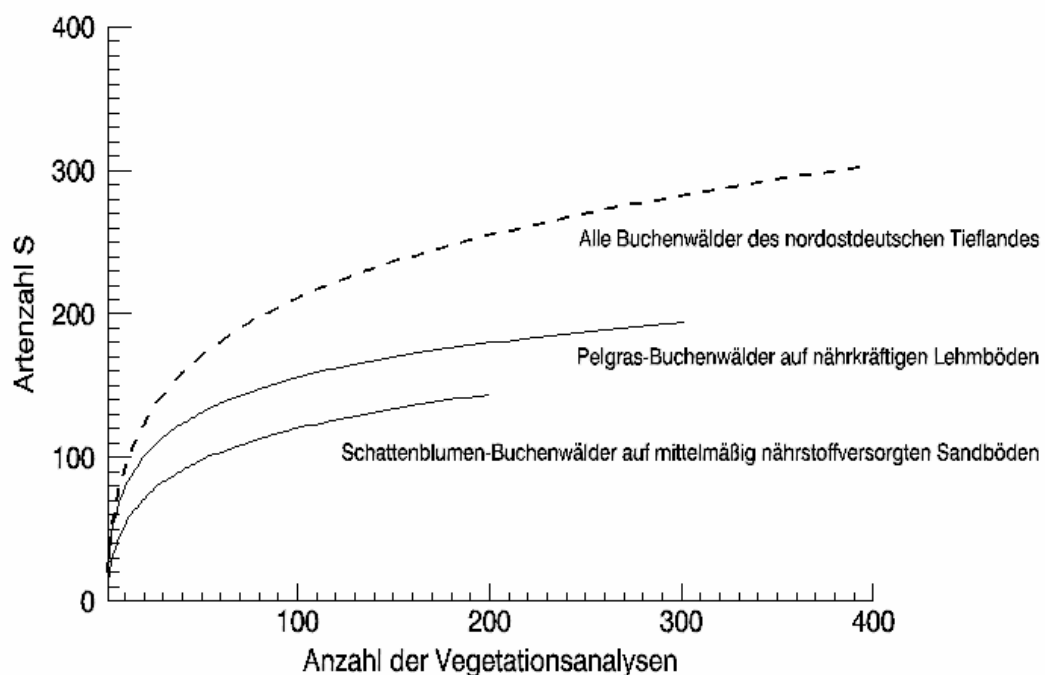


Abb. C4.2: Pflanzenartenzahl S in Buchenwäldern des nordostdeutschen Tieflandes (Baumholzstadium) in Abhängigkeit von der Anzahl der Vegetationsanalysen (Erläuterungen in Abb. C4.1). Die durchgezogenen Kurven beziehen sich auf zwei standörtlich determinierte Vegetationstypen innerhalb der Buchenwälder des nordostdeutschen Tieflands. Zum Vergleich ist die unterbrochene Kurve (entspricht Abb. C4.1) eingezeichnet, die sich auf Analysen aus der Grundgesamtheit aller Buchenwälder des Tieflands bezieht.

Die Zunahme der Artenzahl mit der Stichprobengröße ist Ausdruck der Tatsache, dass das Vorkommen bzw. Fehlen einzelner Arten in starkem Maße von Zufallsprozessen bestimmt wird. Die gesetzmäßigen Zusammenhänge zwischen Standort, Vegetationstyp und Pflanzenartenvielfalt werden jedoch deutlich, wenn man zusätzlich zu der Anzahl der Arten auch die relative Häufigkeit ihres Auftretens, also ihre Mengenfaltung betrachtet

(HOFMANN 1969). Tatsächlich hat man bereits mit einer relativ geringen Anzahl von Vegetationsanalysen diejenigen Arten erfasst, die innerhalb eines Vegetationstyps einen nennenswerten Anteil an der Gesamtdeckung der Arten besitzen. Der weitere Anstieg der Artenzahl mit der Stichprobengröße beruht vor allem darauf, dass bei weiteren Analysen immer wieder andere Arten in geringer Individuenzahl auftreten bzw. fehlen. Aus diesem Grunde ist es sinnvoll, Pflanzenartenvielfalt als Artendiversität, also unter Berücksichtigung von Anzahl und Mengenerhaltung der vorkommenden Arten zu quantifizieren. Das am häufigsten gebrauchte Diversitätsmaß ist die BOLTZMANN-SHANNON-Entropie,

$$H = -k \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i, \quad (C4.1)$$

wobei die p_i über die Deckungswerte D_i der mit i indizierten Arten definiert werden:

$$p_i = \frac{D_i}{\sum_{i=1}^{S_{\max}} D_i} \quad (C4.2)$$

S_{\max} bezeichnet hierbei die maximale Anzahl von Arten, die z.B. in einem Untersuchungsgebiet auftreten können. Die frei wählbare Konstante k wird von uns wie folgt definiert:

$$k = 1 / \ln S_{\max} \quad (C4.3)$$

Die vorliegende Datenbank weist knapp 1 000 verschiedene Pflanzenarten in den Wäldern und Forsten des nordostdeutschen Tieflands aus, so dass $S_{\max} = 1\,000$ gesetzt wird.

Der hier als BOLTZMANN-SHANNON-Entropie bezeichnete Ausdruck (C4.1) ist in der Diversitätsforschung als SHANNON-Index bekannt. Er wurde von SHANNON zur Mitte des Jahrhunderts in die Informationstheorie eingeführt, aber bereits ein halbes Jahrhundert früher von dem österreichischen Physiker Ludwig BOLTZMANN als wahrscheinlichkeitstheoretische Interpretation der thermodynamischen Entropie begründet. Dieser Ausdruck beschreibt eine Entropie, d.h. er ist ganz allgemein ein Maß für die Unbestimmtheit der Verteilung der Elemente eines Systems. Nach einem allgemeinen heuristischen Prinzip von JAYNES (1988) streben durch Gleichung (C4.1) definierte Größen in beliebigen Systemen einem Maximalwert zu, der durch die „Rahmenbedingungen“ des Systems gesetzt wird.

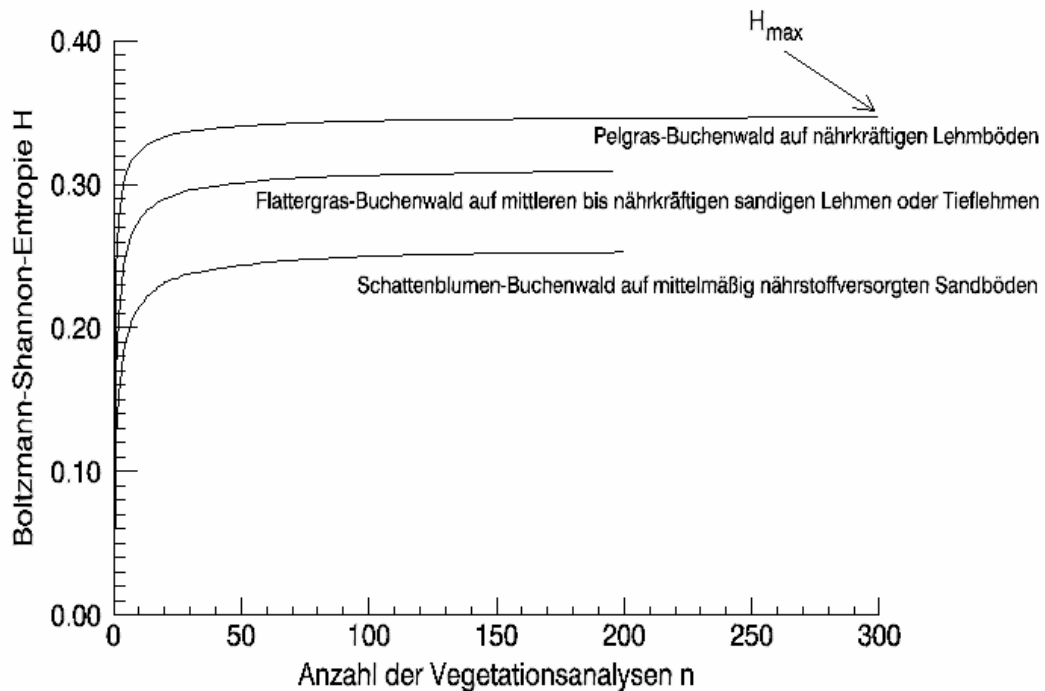


Abb. C4.3: Boltzmann-Shannon-Entropie H als Maß der Pflanzenartendiversität in Buchenwäldern des nordostdeutschen Tieflandes (Baumholzstadium) in Abhängigkeit von der Anzahl der Vegetationsanalysen n (vgl. entsprechende Erläuterungen zu Abb. C4.1 u. C4.2). Für eine hinreichende Anzahl von Stichproben strebt diese Größe gegen ein konstantes Diversitätspotential H_{\max} , das für einen bestimmten Vegetationstyp charakteristisch ist.

In Anwendung auf Pflanzengesellschaften beschreibt H nach Gleichung (C4.1) in Kombination mit den Gleichungen (C4.2) und (C4.3) die Pflanzenartendiversität verschiedener Vegetationseinheiten. Die p_i können auch als Wahrscheinlichkeit interpretiert werden, bei einer Stichprobe auf der vegetationsbedeckten Fläche eine bestimmte mit i indizierte Art anzutreffen. Die Entropiefunktion H nach Gleichung (C4.1) ist ein Maß für die Unbestimmtheit der Verteilung der Pflanzenarten. Bei einem reinen Zufallsprozess wären die p_i für alle Arten gleich groß und die Diversität H erreicht ihr Maximum (minimale Vorhersagbarkeit). Wird die Pflanzendecke dagegen nur von einer Art gebildet, ist $H = 0$ (maximale Vorhersagbarkeit).

Im Gegensatz zu der Artenzahl S strebt H mit wachsender Stichprobenzahl gegen einen Wert H_{\max} , der für verschiedene standörtlich ausgelesene Vegetationseinheiten charakteristisch ist und den wir als **Potential der Pflanzenartendiversität** des jeweiligen Vegetationstyps bezeichnen (Abb. C4.3). Es gilt

$$H_{\max} = \lim_{n \rightarrow \infty} H \quad (\text{C4.4})$$

Dieses Potential beschreibt die aufgrund der ökologischen „Rahmenbedingungen“, d.h. der jeweiligen standörtlichen „Koordinate“ des Vegetationstyps mögliche Pflanzenartendiversität und ist damit Ausdruck gesetzmäßiger Zusammenhänge zwischen Standort und Pflanzengemeinschaft. In dem gewählten Beispiel werden die deutlich unterschiedenen Diversitätspotentiale durch die unterschiedliche Nährkraft der Standorte bestimmt (Abb. C4.3).

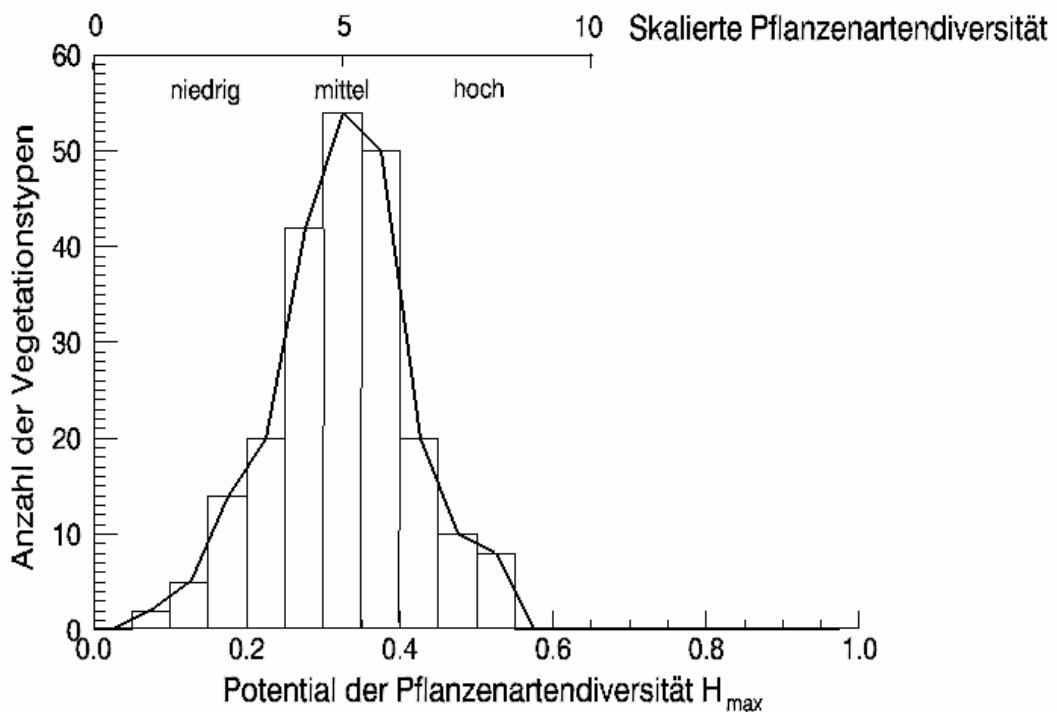


Abb. C4.4: Häufigkeitsverteilung von 225 auf der Waldfläche des nordostdeutschen Tieflandes vorkommenden Vegetationstypen über Klassen der Pflanzenartendiversität H_{\max} (Diversitätspotentiale). Auf der unteren Abszisse sind die nach den Gleichungen (C4.1-C4.3) berechneten Werte, auf der oberen Abszisse die zwischen 0 und 10 zwischen den auftretenden Extremen skalierten Werte aufgetragen.

Der hohe praktische Nutzen von H_{\max} im Rahmen des Vorhabens besteht darin, dass mit dieser Maßzahl eine flächenhafte Erfassung und Vorhersage von Pflanzenartenvielfalt auf der Basis kartierter Vegetationstypen möglich wird. Aus etwa 30 bis 50 Vegetationsanalysen pro Vegetationseinheit können brauchbare Näherungswerte für H_{\max} abgeleitet werden (Abb. C4.3). Da die Konstante k in Gleichung (C4.1) beliebig gewählt werden kann, bietet sich für praktische Zwecke eine Skalierung zwischen den tatsächlich auftretenden Extremen an. Die

Erstellung einer Häufigkeitsverteilung der auf der Waldfläche des nordostdeutschen Tieflandes ausgewiesenen Vegetationstypen über den Potentialen der Pflanzenartendiversität zeigt, dass diese Typen ähnlich einer Normalverteilung um einen mittleren Wert streuen (Abb. C4.4). Dieser Wert wurde mit der Zahl 5 (mittel) fixiert und die gesamte Verteilung symmetrisch zwischen 0 (extrem niedrig) und 10 (extrem hoch) skaliert (Abb. C4.4).

C4.2 Abhängigkeit der Pflanzenartenvielfalt der Wälder und Forsten von Standort und Vegetation

Mit dem Potential der Pflanzenartendiversität der Vegetationstypen H_{max} ist im Rahmen des Vorhabens eine Maßzahl abgeleitet worden, die gesetzmäßige Zusammenhänge zwischen Standort, Vegetationstyp und Pflanzenartendiversität zum Ausdruck bringt. Diese Tatsache wird für eine Reihe bisher bearbeiteter Vegetationseinheiten demonstriert (Tab. 1). Ähnliche Ergebnisse erhält man auch bei Verwendung der mittleren Artenzahl $\langle S \rangle$ auf 400 m² innerhalb des Minimalareals des jeweiligen Vegetationstyps zur Kennzeichnung der Pflanzenartenvielfalt.

Betrachtet man die quantifizierte Pflanzenartenvielfalt während der Baumholzstadien für eine Reihe von Waldvegetationstypen im grundwasserfernen Standortsbereich und vergleicht sie mit den ökologischen Zustandskoordinaten Bodennährkraft und Licht (Tab. 1), so erkennt man, dass sich die Pflanzenartenvielfalt in Waldungen systematisch mit den ökologischen Zustandsbedingungen verändert. Sie wächst bei vergleichbarem Licht- und Wärmeklima mit der Nährstoffausstattung der Standorte sowie mit zunehmendem Licht und Wärmeangebot.

Tab. C4.1: Potential der Pflanzenartendiversität und mittlere Artenzahl (400 m²) während des Baumholzstadiums sowie die Einflussgrößen Oberbodentrophie und Lichtdurchlässigkeit des Kronendachs für eine Reihe ausgewählter Vegetationstypen des nordostdeutschen Tieflandes. Die mittlere Trophieziffer der jeweiligen Vegetationseinheiten wurde mittels des im Rahmen von Teilprojekt B entwickelten Ökogramm-Modells berechnet, die Lichtziffer aufgrund des Zeigerwertes der Vegetation geschätzt (Trophieziffer 1 = sehr arm, 10 = sehr reich, Lichtziffer 1 = extrem dunkel, 10 = sehr licht).

Vegetationstyp	Struktur- bestimmende Baumarten	Anzahl Vegetations- analysen n	Skalierte Trophieziffer	Skalierte Lichtziffer	Skalierte Pflanzenarten- diversität H _{max}	Mittl. Artenzahl i. Minimalareal <S>
Natürliche Buchenwälder						
Blaubeer-TEI-Buchenwald	Rotbuche Trauben-Eiche	38	3,8	4	4,6	15
Schattenblumen-Buchenwald	Rotbuche	201	4,9	3	3,6	12
Flattergras-Buchenwald	Rotbuche	197	6,0	3	4,4	17
Perlgras-Buchenwald	Rotbuche	303	6,7	3	5,0	24
Frühlingsplatterbsen- Buchenwald	Rot-Buche	79	7,5	3	5,5	32
Natürliche Eichen- und Eichen-Hainbuchenwälder						
Blaubeer-KI-TEI-Wald	Trauben-Eiche Wald-Kiefer	30	3,5	6	4,9	20
Straussgras-EI-Wald	Trauben-Eiche Stiel-Eiche	92	3,8	5	5,4	20
Waldreitgras-TEI-Wald	Trauben-Eiche	53	4,3	5	4,8	21
Hainrispengras-TEI-WLI- HBU-Wald	Trauben-Eiche Winter-Linde Hain-Buche	120	5,4	4	5,7	20
Leberblümchen-TEI-WLI- HBU-Wald	Hain-Buche Winter-Linde Trauben-Eiche	53	7,5	4	7,7	37
Natürliche Kiefernwälder						
Heidekraut-KI-Wald	Wald-Kiefer	43	1,7	7	3,4	11
Flechten-KI-Wald	Wald-Kiefer	136	1,8	8	3,8	13
Beerkraut-KI-Wald	Wald-Kiefer	49	2,1	7	3,9	11
Künstliche Kiefernforsten						
Drahtschmielen-KI-Forst	Wald-Kiefer	235	3,0	6	3,8	17
Blaubeer-KI-Forst	Wald-Kiefer	219	3,1	6	4,2	17
Himbeer-Drahtschmielen-KI- Forst	Wald-Kiefer	130	4,2	6	4,9	22
Himbeer-KI-Forst	Wald-Kiefer	41	5,3	6	5,5	27

Wälder durchlaufen Lebenszyklen, in deren Verlauf die Pflanzenartenvielfalt gerichteten Veränderungen unterliegt (Abb. 4). Ein ausgesprochenes Minimum wird während der stammzahlreichen, konkurrenzintensiven frühen Entwicklungsstadien erreicht. Im Baumholzstadium verringert sich der Konkurrenzdruck und die Artenzahl steigt deutlich, wobei sie in bewirtschafteten Wäldern aufgrund der niederen Stammzahlhaltung wiederum etwas höher liegt als in Naturwäldern. Allerdings bricht Forstwirtschaft die Lebenszyklen zum Ende des Baumholzstadiums ab, während in natürlichen Wäldern artenreichere Altbaumstadien anschließen. Ein ausgesprochenes Maximum wird im natürlichen Zerfallsstadium erreicht, das einer selbstorganisierten Störung des Ökosystems entspricht. Hierdurch wird unter natürlichen Verhältnissen eine Anpassung an veränderte Umweltbedingungen auf der Ökosystemebene möglich.

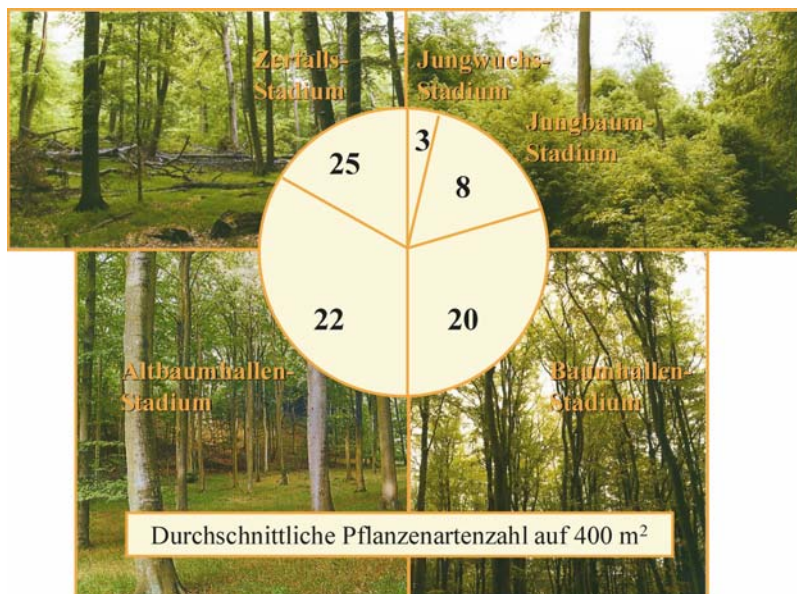


Abb. C4.5:

Veränderung der Pflanzenartenvielfalt (Artenzahl) mit dem Entwicklungsstadium im natürlichen Perlgras-Buchenwald. Der natürliche Lebenszyklus umfaßt einen Zeitraum von etwa 300 bis 350 Jahren und wird durch den Kreis symbolisiert. Die Größe der Kreissegmente entspricht der Dauer der aufeinanderfolgenden Stadien.

C4.3 Die Entwicklung von Pflanzenartenvielfalt und Vorkommen geschützter Arten in Kiefernforsten des nordostdeutschen Tieflands im Ergebnis eines Buchenunterbaus

Der erreichte Bearbeitungsstand erlaubt es, Vorhersagen zur Entwicklung der Pflanzenartenvielfalt für Kiefernforsten mit hoher Flächenrepräsentanz im natürlichen Buchenwaldklimagebiet des nordostdeutschen Tieflandes im Verlauf und Ergebnis einer durch Buchenunterbau initiierten Naturannäherung abzuleiten. Diese Naturannäherung führt über die Entwicklung von zweischichtigen Kiefern-Buchen-Mischbeständen mittel- und langfristig zur Ausbildung von Buchenwäldern. Grundlage der Prognose bildet die Kenntnis der Pflanzengesellschaften derjenigen Typen von Kiefern-Buchen-Halbforsten und potenziell-natürlichen Buchenwäldern, welche die jetzigen Kiefernforstgesellschaften in der Entwicklungsreihe ablösen. Dargestellt wird die durch Unterbau induzierte Entwicklung der Pflanzenartenvielfalt von Drahtschmielen-Kiefernforsten auf Standorten mit mittlerem Nährkraftpotenzial, von Himbeer-Drahtschmielen-Kiefernforsten auf Standorten mit mittlerem bis kräftigem Nährstoffpotenzial und von Himbeer-Kiefernforsten auf Standorten mit kräftigem Nährstoffpotenzial (Abb. C4.6, C4.7).

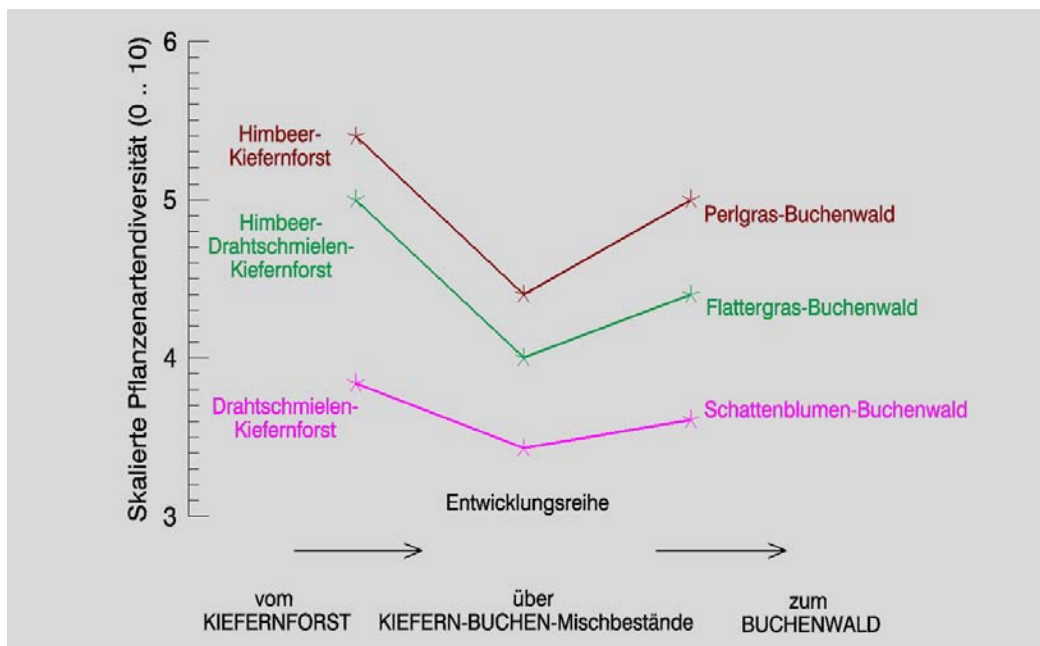


Abb. C4.6: Entwicklung der Pflanzenartendiversität im Verlauf und Ergebnis des Buchenunterbaus in verbreiteten Kiefern-Forst-Ökosystemen des nordostdeutschen Tieflandes auf Standorten mittlerer, mittlerer bis kräftiger und kräftiger Bodennährkraft.

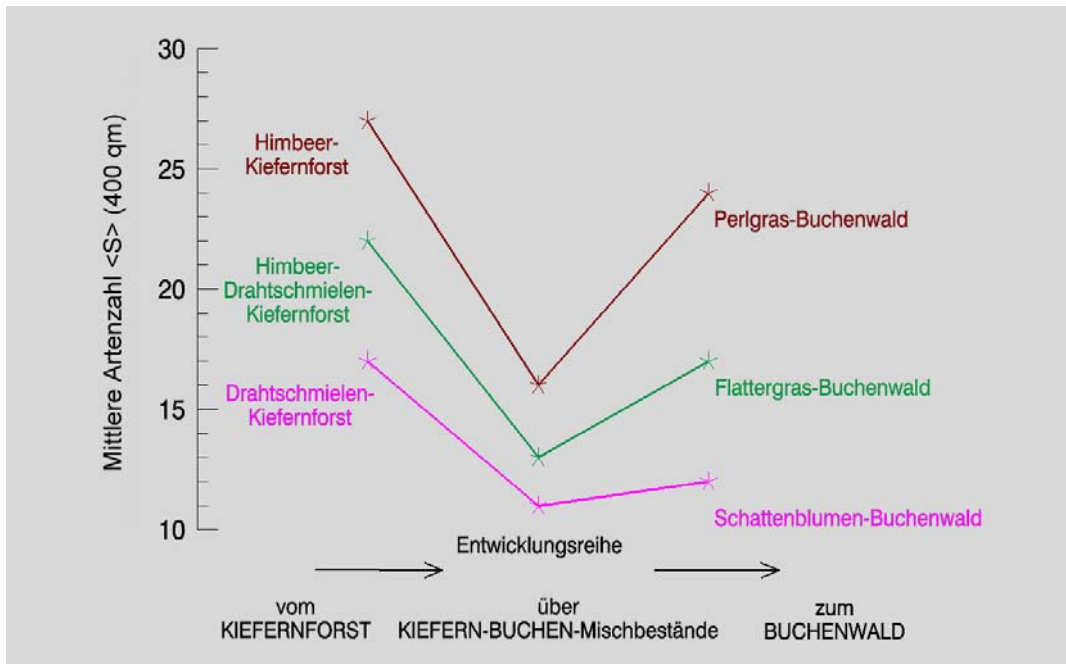


Abb. C4.7: Entwicklung des Pflanzenartenreichtums im Verlauf und Ergebnis des Buchenunterbaus in verbreiteten Kiefern-Forst-Ökosystemen des nordostdeutschen Tieflandes auf Standorten mittlerer, mittlerer bis kräftiger und kräftiger Bodennährkraft..

Es erweist sich, dass die Kiefernforsten im natürlichen Buchenwaldklimagebiet des nordostdeutschen Tieflandes in allen untersuchten edaphischen Bereichen eine höhere Pflanzenartenvielfalt besitzen als jene natürlichen Waldgesellschaften, deren Ersatzgesellschaften sie bilden. Ein deutliches Minimum wird während der Umbauphase in den zweischichtigen Kiefer-Buchen-Mischbeständen erreicht.

Neben der Entwicklung der Pflanzenartenvielfalt, quantifiziert sowohl als BOLTZMANN-SHANNON-Diversitätspotential und als mittlere Artenzahl, wurde die Entwicklung der auf der Roten Liste der Bundesrepublik Deutschland (Abb. C4.8) und Brandenburgs (Abb. C4.9) stehenden Pflanzenarten in den Umbaubeständen und natürlichen Waldgesellschaften prognostiziert und mit den heutigen Kiefernforsten verglichen. Berechnet wurde dabei die Wahrscheinlichkeit, mindestens eine auf der Roten Liste stehende Pflanzenart (alle Gefährdungsstufen nach JEDICKE 1997) auf einer dem Minimalareal entsprechenden Fläche aufzufinden.

Es erweist sich, dass die Potentiale für das Vorkommen von Rote-Liste-Arten – sowohl nach der deutschlandweiten als auch nach der für Brandenburg ausgewiesenen Rote Liste – im Prozess der Naturannäherung deutlich und ausnahmslos eingeschränkt werden.

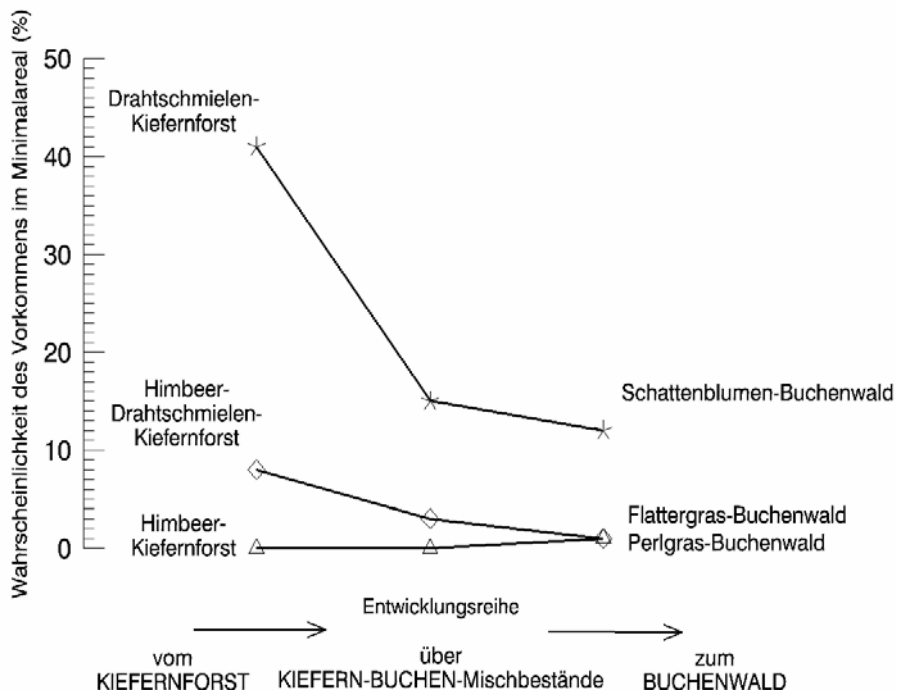


Abb. C4.8: Entwicklung des Vorkommens von Rote-Liste-Arten (Rote Liste BRD 1997) im Ergebnis des Buchenunterbaus in verbreiteten Kiefern-Forst-Ökosystemen des nordostdeutschen Tieflandes auf Standorten mittlerer, mittlerer bis kräftiger und kräftiger Bodennährkraft.

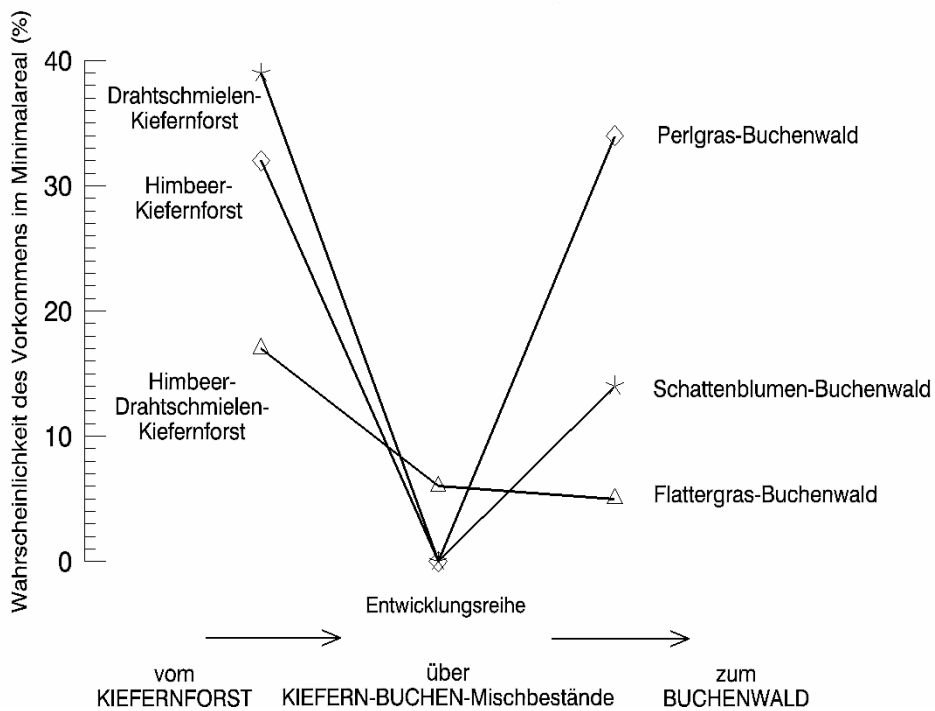


Abb. C4.9: Entwicklung des Vorkommens von Rote-Liste-Arten (Rote Liste Brandenburg 1997) im Ergebnis des Buchenunterbaus in verbreiteten Kiefern-Forst-Ökosystemen auf Standorten mittlerer, mittlerer bis kräftiger und kräftiger Bodennährkraft.

C4.4 Die flächenhafte Kartierung und Prognose der Pflanzenartenvielfalt, beispielhaft dargestellt für das NSG Hinrichshagen und das Dauerwaldrevier Bärenthoren

Die Existenz gesetzmäßiger Beziehungen zwischen den ausgewiesenen Vegetationseinheiten und der Pflanzenartenvielfalt erlaubt die Quantifizierung von Pflanzenartenvielfalt in bewaldeten Landschaftsausschnitten über die Kartierung von Vegetationseinheiten. Dabei wird es möglich, über die Kartierung der aktuellen Vegetationstypen den aktuellen Diversitätszustand auf der Waldfläche zu erfassen, über die Kartierung der potenziell-natürlichen Vegetation natürliche Diversitätspotentiale der Landschaft auszuweisen und die Entwicklung der Pflanzenartenvielfalt in Abhängigkeit von flächenkonkreten Waldumbauszenarien zu prognostizieren bzw. – bei Vorhandensein von zurückliegenden Vegetationskartierungen – auch retrospektiv darzustellen. Diese Möglichkeit soll für zwei Beispielsgebiete, deren Vegetation im Rahmen vorhergehender Untersuchungen kartiert wurde, demonstriert werden.

Der Vergleich der natürlichen Diversitätspotentiale mit der aktuellen Pflanzenartenvielfalt erfolgt am Beispiel des in Südostmecklenburg nordwestlich der Stadt Prenzlau gelegenen NSG Hinrichshagen, einem bewirtschafteten Buchenwaldrevier von ca. 1 000 ha. Der Buchenwald ist mit einem potenziellen Anteil von 90 % die das NSG von Natur aus prägende Waldform (Abb. C4.10). Für die im Gebiet potenziell-natürlich dominierenden Buchenwälder auf mittleren bis kräftigen und kräftigen Standorten werden überwiegend mittlere natürliche Diversitätspotentiale ausgewiesen (Abb. C4.12 links). Lediglich auf etwa einem Viertel der Waldfläche sind die in ihrer Artenzusammensetzung naturnahen Wälder durch standortsfremde Forstökosysteme ersetzt worden (Abb. C4.11 links). Aber auch in den verbliebenen Buchenwäldern treten Abweichungen von der natürlichen Baumartenzusammensetzung z.B. infolge forstlich bedingter Beimischungen von Nadelbäumen oder Eichen oder überhöhten Anteilen von Hainbuchen und Birken infolge niederwaldartiger Bewirtschaftungsformen in der Vergangenheit auf (JENSSEN und HOFMANN 1997). Die für das Gebiet flächengewogen ermittelte Naturnähe der Baumartenzusammensetzung liegt bei knapp 60 % (Abb. C4.11 rechts).

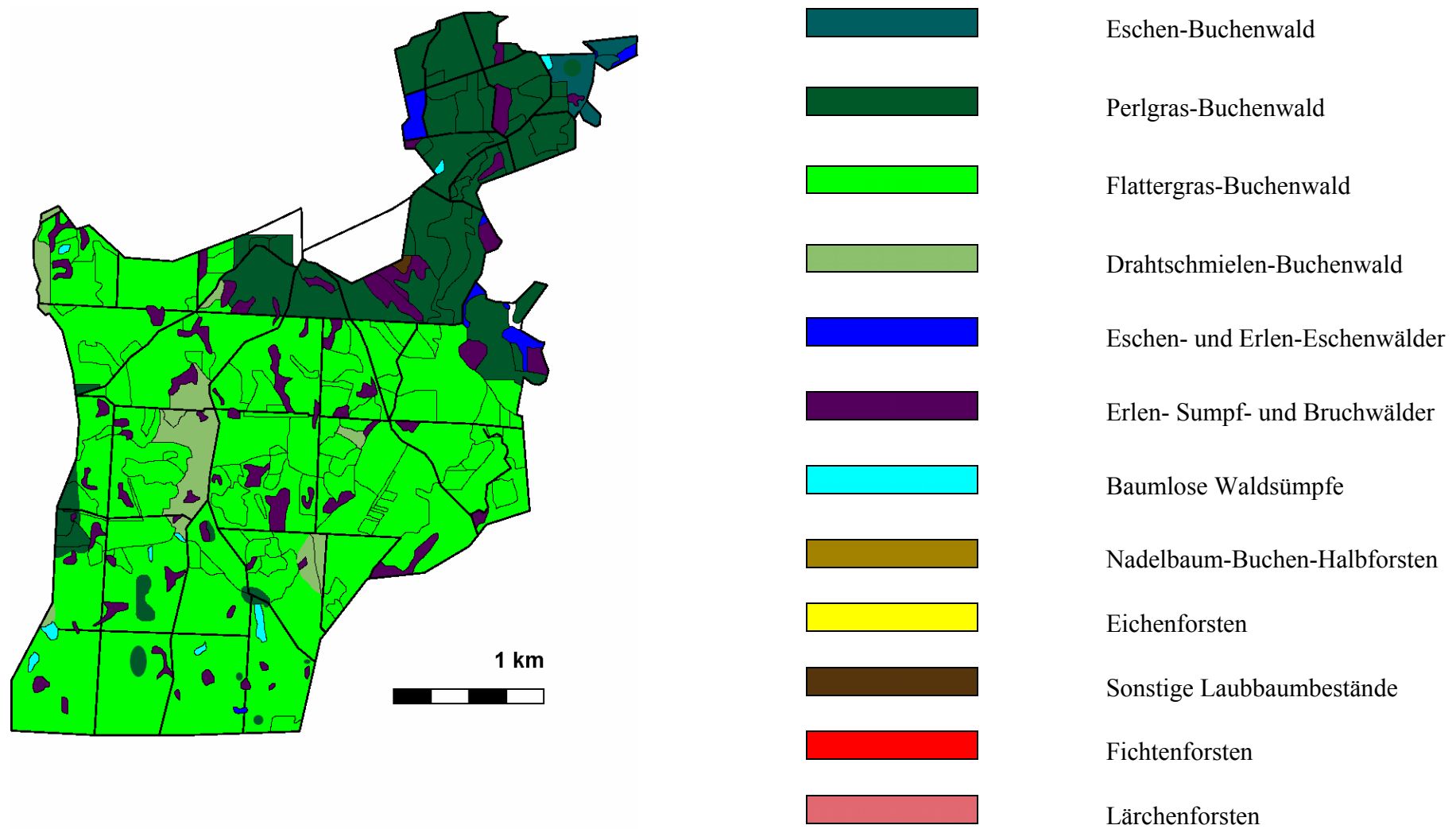


Abb. 4.10: Potenziell-natürliche Vegetation im NSG Hinrichshagen (links) und Legende zur potenziell-natürlichen und aktuellen Vegetation (rechts) nach JENSSEN und HOFMANN (1997).

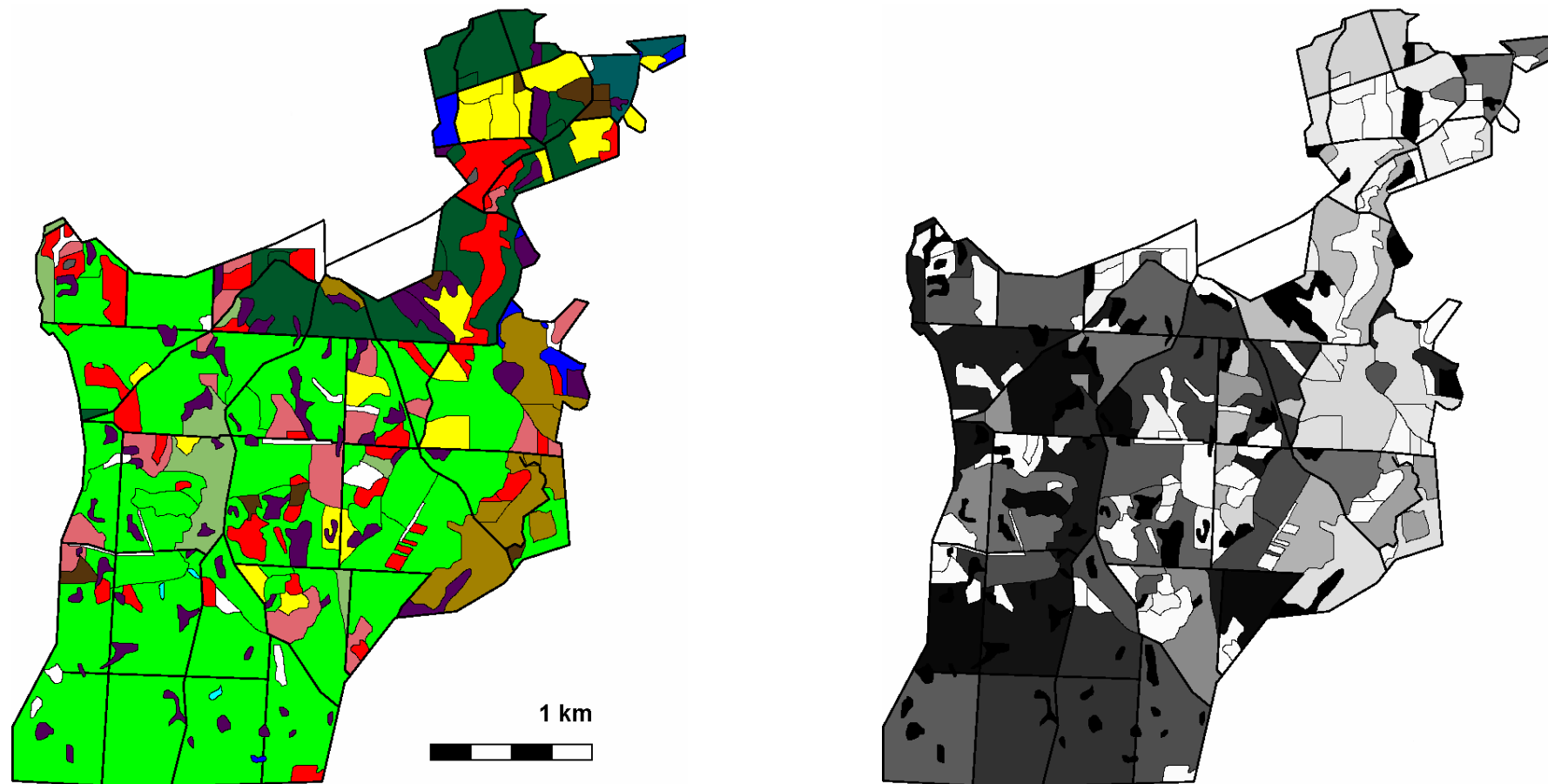
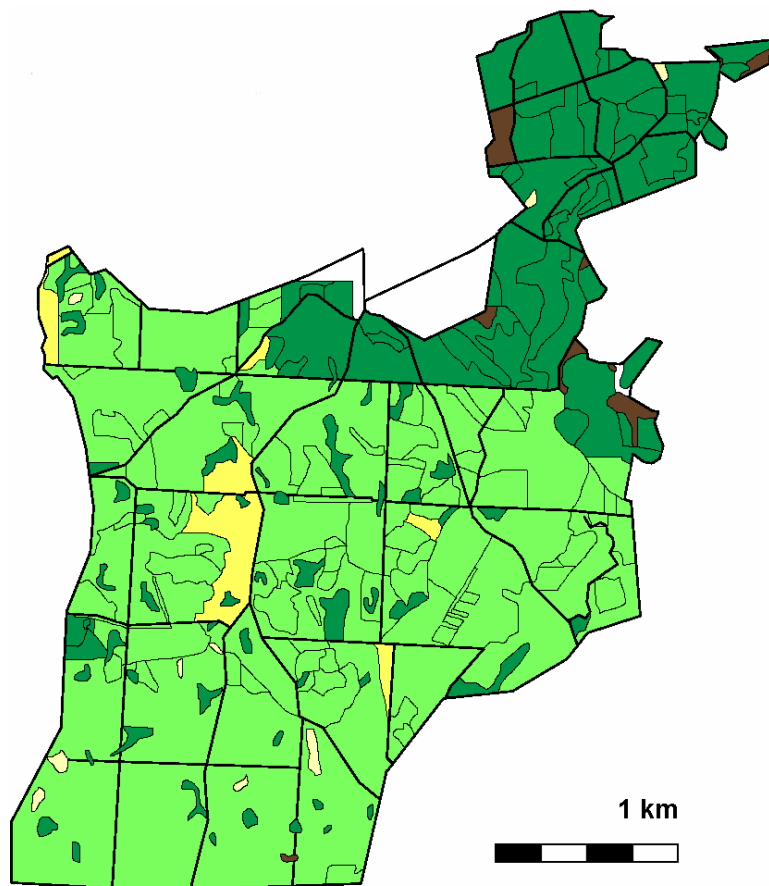
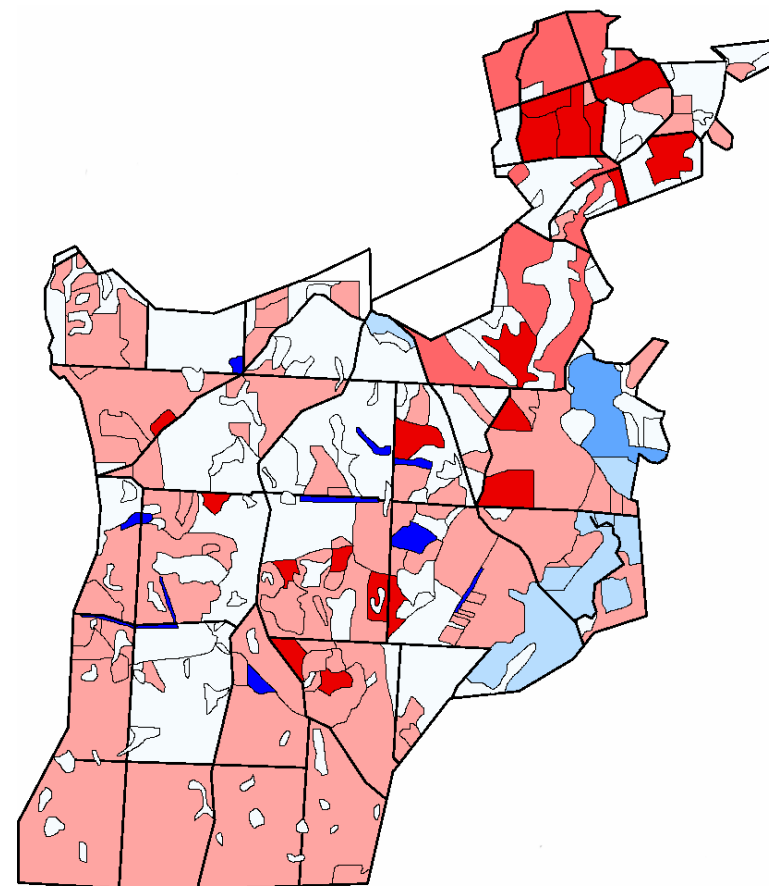


Abb. 4.11: Aktuelle Vegetation (links, Legende in Abb. 4.10) und prozentuale Übereinstimmung der aktuellen mit der potenziell-natürlichen Baumartenzusammensetzung (rechts, Grautöne skalieren zwischen 0 % = weiß und 100 % = schwarz) nach JENSSEN und HOFMANN (1997).



Skalierte Pflanzenartendiversität

niedrig	mittel	hoch
2 - 3	4 - 5	6 - 7
3 - 4	5 - 6	7 - 8



**Pflanzenartendiversität
erniedrigt um**

5 - 15 %	5 - 15 %
16 - 25 %	16 - 25 %
26 - 35 %	26 - 35 %

erhöht um

5 - 15 %
16 - 25 %
26 - 35 %

Abb. C4.12: Skalierte Pflanzenartendiversität der potenziell-natürlichen Vegetation (links) im NSG Hinrichshagen und Abweichung der Pflanzenartendiversität der aktuellen von der potenziell-natürlichen Vegetation (rechts).

Im NSG Hinrichshagen haben die forstliche Bewirtschaftung, vor allem die Schaffung künstlicher Laubbaumforsten aus Eiche und Sandbirke, aber auch die niederwaldartigen Bewirtschaftungsformen in der Vergangenheit, zu einer Erhöhung der Pflanzenartenvielfalt im Vergleich mit den potenziell-natürlichen Buchenwäldern geführt. Eine Erniedrigung der Diversität gegenüber den potenziell-natürlichen Hauptstadien der Buchenwälder tritt dagegen in den Nadelbaum-Buchen-Halbforsten auf, wo die natürliche Sukzession zur Ausbildung einer zweiten Baumschicht aus Buche und Hainbuche geführt hat (Abb. C4.12 rechts).

Das zweite Beispiel betrifft die retrospektive bzw. perspektivische Entwicklung der Pflanzenartenvielfalt im Dauerwaldrevier Bärenthoren (Bundesland Sachsen-Anhalt) auf der Grundlage von Vegetationskartierungen, die im Abschlußbericht des BMBF-Verbundprojektes „Waldökosystemforschung Eberswalde“ dargestellt wurden (HOFMANN 1999). Für dieses etwa 750 ha umfassende Gebiet liegen drei aufeinanderfolgende Vegetationskartierungen vor: die von PREISING durchgeführte Kartierung von 1940 weist noch einen sehr hohen Anteil von Flechten-, Heidekraut- und Hagermoos-Kiefernforsten auf infolge jahrhundertelanger Streunutzung oberbodendegradierten Standorten aus. Eine zweite Kartierung, die von HOFMANN 1960 durchgeführt wurde, zeigt das Ergebnis von 20 Jahren Waldkultur: Der Flächenanteil der armen Kiefernforsten auf oberbodendegradierten Standorten ist erheblich zurückgegangen zu Gunsten von Drahtschmielen- und Himbeer-Drahtschmielen-Kiefernforsten, die in weiten Bereichen des Reviers bereits mittlere Oberbodentrophiezustände anzeigen. Eine dritte Kartierung von 1990 weist schließlich weitere Verbesserungen des Standortzustandes aus, die nun vor allem auch durch zusätzliche atmogene N-Einträge induziert wurden: auf weiten Teilen der Fläche sind Sandrohr und Spätblühende Traubenkirsche mit hoher Deckung ausgebildet, darüber hinaus sind durch natürliche Sukzession und Unterbau bereits Laubbaum-Kiefern-Mischbestände auf einem Teil der Fläche entstanden (HOFMANN 1999).

Die Kenntnis der Diversitätsmaßzahlen der kartierten Vegetationseinheiten erlaubt es nun, die Entwicklung der Pflanzenartenvielfalt über einen Zeitraum von mehr als einem halben Jahrhundert hinweg modellhaft zu rekonstruieren (Abb. C4.13): die Verbesserung des Oberbodenzustandes zwischen 1940 und 1960 durch allmählichen Wiederaufbau der Stoffkreisläufe nach Einstellung der Streunutzung hat zu einer Erhöhung der Pflanzenartenvielfalt geführt. Die teilweise erheblichen atmogenen Fremdstoffeinträge in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts haben demgegenüber zu einer Homogenisierung der Vegetation und einem erneuten Rückgang der Vielfalt geführt.

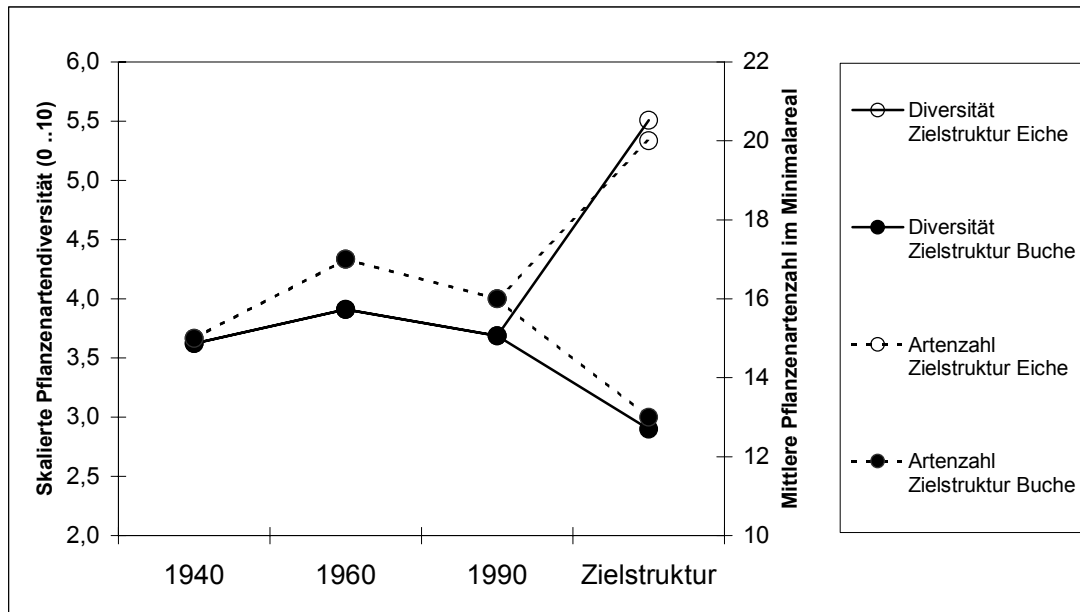


Abb. C4.13: Entwicklung der Pflanzenartenvielfalt im Dauerwaldrevier Bärenthoren (Skaliertes Diversitätspotential, mittlere Artenzahl auf 400m²). Ganz rechts ist die langfristig im Ergebnis von zwei alternativen Szenarien des Waldumbaus zu erwartende Entwicklung dargestellt, die jeweils zu buchen- bzw. eichenreichen Laubbaum-Zielstrukturen führen

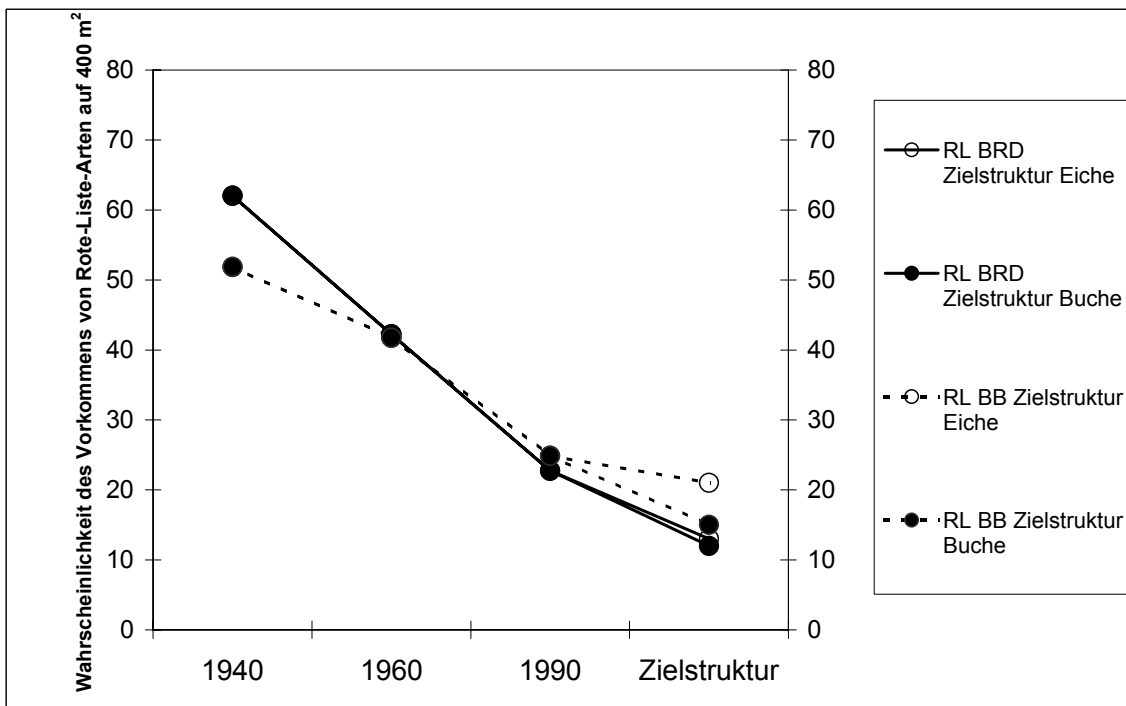


Abb. C4.14: Entwicklung der Wahrscheinlichkeit des Vorkommens von Rote-Liste-Arten im Dauerwaldrevier Bärenthoren. Die durchgezogene Linie (linke Ordinatenachse) bezieht sich auf die Rote Liste Deutschland, die gestrichelte Linie auf die Rote Liste Brandenburg (rechte Ordinatenachse).

Das Dauerwaldrevier Bärenthoren liegt am Rande des natürlichen Buchenwaldklimagebietes, so dass aus waldbaulicher Sicht eine Umwandlung der heute noch dominierenden, teilweise durch atmogene N-Einträge eutrophierten Kiefernforsten sowohl in buchenreiche als auch in

eichenreiche Laubbaum-Zielstrukturen möglich wäre. Die Prognose zur Entwicklung der Pflanzenartenvielfalt sieht für die beiden Umbauszenarien jedoch sehr unterschiedlich aus: während der Umbau zu buchenreichen Laubwäldern mit einem weiteren Diversitätsrückgang verbunden ist, würde die Option eichenreicher Zielstrukturen zu einem enormen Diversitätsanstieg führen (Abb. C4.13).

Das Vorkommen von heute auf der Rote Liste stehenden Arten war 1940 in den oberbodendegradierten Kiefernforsten am höchsten und ist seitdem in Folge der natürlichen und eintragsinduzierten Verbesserung des Oberbodenzustandes stetig gesunken (Abb. C4.14). Es ist jedoch auch deutlich, dass ein Waldumbau zu Laubbaumbeständen – unabhängig von der Wahl der möglichen Laubbaumarten – in jedem Fall zu einem weiteren Rückgang der Vorkommen geschützter Arten führen wird.

C4.5 Die Quantifizierung der Ökosystemtypenvielfalt: Phytodiversität auf der chorischen Ebene

Das im Abschnitt C4.1 eingeführte Potential der Pflanzenartendiversität beschreibt Phytodiversität auf der Ebene der Pflanzengesellschaft oder des Ökosystems, also auf der topischen Ebene (Äquivalenz zum Begriff der α -Diversität nach WHITTAKER 1972). Will man Diversität auf der Ebene bewaldeter Landschaftsausschnitte, also auf der chorischen Ebene (im Sinne der γ -Diversität nach WHITTAKER 1972) quantifizieren, so bietet sich wiederum eine Beschreibung nach Gleichung (C4.2) an, wobei die p_i in diesem Falle gemäß

$$p_i = \frac{A_i}{\sum_{i=1} A_i} \quad (\text{C4.6})$$

über die Flächenanteile der verschiedenen Vegetationstypen in dem jeweiligen Landschaftsausschnitt berechnet werden.

Auf der Basis der in einem Gebiet kartierten potenziell-natürlichen Waldtypen können wir somit über die Gleichungen (C4.2) und (C4.6) ein natürliches Diversitätspotential für diesen Landschaftsausschnitt berechnen, das durch das naturräumlich vorgegebene Standortsmosaik festgelegt wird.

Hiermit gewinnen wir eine objektive Maßzahl, um auf dieser Grundlage die Ökosystemtypendiversität der vom Menschen beeinflussten Waldlandschaft zu bewerten. Im Falle des NSG Hinrichshagen finden wir aufgrund der Tatsache, dass auf etwa einem Viertel

der Fläche die natürlichen Waldtypen durch künstliche Forsttypen ersetzt wurden, eine Erhöhung der Ökosystemtypenvielfalt auf 180 % im Vergleich zum natürlichen Typenpotential (= 100 %).

C5 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen aus dem erreichten Bearbeitungsstand

Die wichtigsten Ergebnisse sind im folgenden stabstrichartig zusammengefaßt:

- Ableitung von Maßzahlen für die Pflanzenartenvielfalt, mit deren Hilfe auf der Grundlage definierter, in sich homogener Vegetationseinheiten quantifizierte und kartierbare Aussagen über die Pflanzenartenvielfalt in Wäldern abgeleitet werden können:
 - (i) Potential der Artendiversität der Vegetationstypen, berechnet als Boltzmann-Shannon-Entropie aus Deckungswerten der Arten, beschreibt Anzahl und Mengenfaltung der Arten.
 - (ii) Mittlere Artenzahl auf 400 m² im Minimalareal der Vegetationstypen, beschreibt Artenreichtum.
 - (iii) Ökosystemtypenvielfalt bewaldeter Landschaftsausschnitte, berechnet als Boltzmann-Shannon-Entropie aus Flächenanteilen der Vegetationstypen, beschreibt Anzahl und relative Häufigkeit verschiedener Ökosystemtypen.
- Nachweis, dass zwischen Standort, Vegetationstyp und Pflanzenartenvielfalt signifikante Zusammenhänge bestehen, auf deren Grundlage eine flächenhafte Erfassung und Vorhersage der Entwicklung der Pflanzenartenvielfalt für verschiedene Szenarien des Waldumbaus möglich wird.
- Vorhersagen zur Entwicklung von Pflanzenartenvielfalt und Vorkommen geschützter Arten (Rote-Liste)
 - (i) für die Kiefernforsttypen des nordostdeutschen Tieflandes auf Standorten mit mittleren, mittleren bis kräftigen und kräftigen Standorten im Verlauf und Ergebnis eines Buchenunterbaus,
 - (ii) exemplarisch für das Dauerwaldrevier Bärenthoren retrospektiv seit 1940 und perspektiv in Abhängigkeit von der Art des geplanten Unterbaus (Buche oder Eiche),
 - (iii) exemplarisch für das NSG Hinrichshagen im Vergleich der aktuellen Diversitätszustände mit den natürlichen Diversitätspotentialen.

Aus diesen Untersuchungen konnten folgende grundsätzliche wissenschaftliche Erkenntnisse für den Untersuchungsraum abgeleitet werden:

- Die Pflanzenartenvielfalt (mittlere Artenzahl pro Fläche und Diversität) der Wälder und Forsten im nordostdeutschen Tiefland verändert sich systematisch mit den ökologischen Zustandsbedingungen. Sie wächst mit zunehmendem Licht- und Wärmeangebot, bei vergleichbarem Licht- und Wärmeklima mit der Nährstoffausstattung der Standorte.
- Atmosphärische Fremstoffeinträge in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts haben gebietsweise zu einer Homogenisierung der Kiefernforstvegetation des nordostdeutschen Tieflands bei differenzierter Entwicklung der Pflanzenartenvielfalt und einer deutlichen Verringerung des Anteils von heute auf der Roten Liste stehenden Pflanzenarten geführt.
- Im natürlichen Buchenwaldklimagebiet des nordostdeutschen Tieflandes besitzen die Kiefernforsten eine höhere Pflanzenartenvielfalt als jene natürlichen Waldgesellschaften, deren Ersatzgesellschaften sie bilden. Das Minimum wird während der Umbauphase zu Buchenmischbeständen (Halbforsten) erreicht.
- Die Potentiale für das Vorkommen von Rote-Liste-Arten werden im Prozeß der Naturannäherung durch Buchenunterbau in Kiefernforsten deutlich und ausnahmslos eingeschränkt.

C6 Veröffentlichung und Verwertung der bisherigen Ergebnisse, Zusammenarbeit mit anderen Teilprojekten

Die bisherigen Ergebnisse wurden in folgenden Arbeiten publiziert:

JENSSEN, M.; HOFMANN, G.: Zur Quantifizierung der Pflanzenartenvielfalt in Wäldern. AFZ-Der Wald 56 (2001) 16, 854-856.

JENSSEN, M.; HOFMANN, G.: Pflanzenartenvielfalt, Naturnähe und ökologischer Waldbau. AFZ-Der Wald 57 (2002) 8, 402-405.

JENSSEN, M.; HOFMANN, G.: Die Quantifizierung ökologischer Potentiale der Phytodiversität und Selbstorganisation der Wälder. Beitr. Forstwirtsch. u. Landsch.ökol. 37 (2003) 1, 18-27.

JENSSEN, M.; HOFMANN, G.: Zur Quantifizierung von Naturnähe und Phytodiversität in Waldungen auf der Grundlage der potenziellen natürlichen Vegetation. In: Anwendung und Auswertung der Karte der natürlichen Vegetation Europas. Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, im Druck

JENSSEN, M.: Ecological potentials of plant species diversity. Journal of Ecology, submitted.

ANDERS, S.; ELLENBERG, H.; HERTEL, H.; HOFMANN, G.; JENSSEN, M.; HEUVELDOP, J.; KRIEBITSCH, W.U.; v. OHEIMB, G.; SCHMIDT, M.; SCHOLZ, F.: Biodiversitätsforschung im Wald. ForschungsReport Verbraucherschutz - Ernährung - Landwirtschaft 2/2002 (Heft 26), S.17 - 21.

HOFMANN, G.; JENSSEN, M.; ANDERS, S.: Zur Pflanzenarten-Vielfalt in den Waldungen des ostdeutschen Tieflandes. In: Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.): Biologische Vielfalt mit der Land- und Forstwirtschaft. Schriftenreihe Angewandte Wissenschaft Heft 494, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup 2002, S. 337-338.

JENSSEN, M.; HOFMANN, G.: Phytodiversität und Naturnähe der Wälder. In: Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B, Bd.68, Göttingen 2002, 56-57.

JENSSEN, M.; HOFMANN, G.: Predicting phytodiversity of forests in changing biotic and abiotic environments. Verh. Ges. Ökol. 32 (2002) 343.

Die bisherige Projektbearbeitung erfolgte in intensiver Zusammenarbeit vor allem mit den Teilvorhaben A und B dieses Verbundprojektes sowie dem Vorhaben der AG Dr. Papen des Fraunhofer Instituts für Atmosphärische Umweltforschung. Dies betrifft zum einen die Nutzung einer gemeinsamen Versuchsflächenbasis, die zu einer enormen Effektivierung der wissenschaftlichen Arbeit durch Vermeidung von Mehrfacharbeit geführt hat. So wurden die Vegetationsanalysen für die Auswertungen der genannten Co-Projekte im Rahmen dieses Teilvorhabens erstellt. Der Aufbau der digitalisierten Datenbank der Wald- und

Forstvegetation des nordostdeutschen Tieflandes mit derzeit etwa 6 000 Vegetationsanalysen und die Ableitung der „ökologischen Koordinaten“ der Vegetationseinheiten (s. Tab. C4.1) über das im Teilvorhaben B entwickelte ökologische Zustandsmodell wurde in engster Kooperation mit Teilvorhaben B durchgeführt. Es erfolgten umfangreiche Kleinparzellenanalysen der Vegetation auf sämtlichen Spurengas-Emissions-Meßfeldern der AG Dr. Papen, da für die Kiefernforsten ein enger Zusammenhang zwischen der Höhe der gasförmigen N-Verluste und den lokal ausgebildeten Vegetationsstrukturen nachgewiesen wurde, aus denen erfolgversprechende Ansätze für eine Regionalisierung der Ergebnisse abgeleitet werden konnten (JENSSEN et al. 2000, 2001). Die gemeinsamen Auswertungen innerhalb der Umbaureihe von Kiefernforsten zu Kiefern-Buchen-Mischbeständen und Buchenwäldern weisen auf enge Beziehungen zwischen der Phytodiversität und der Höhe der Emissionsraten hin (s. Arbeitsbericht AG Dr. Papen). Diese ersten Ergebnisse machen weitergehende Untersuchungen notwendig, durch welche insbesondere die Zusammenhänge zwischen mikrobieller Diversität, Pflanzenartendiversität und Höhe der Emissionsraten aufgeklärt werden sollen.

Die Ergebnisse dieser Zusammenarbeit wurden in folgenden Arbeiten publiziert:

- JENSSEN, M.; BUTTERBACH-BAHL, K.; HOFMANN, G., PAPEN, H.: Exchange of trace gases between soils and the atmosphere in Scots pine forest ecosystems of the northeastern German lowlands. 2. A novel approach to scale up N₂O- and NO-fluxes from forest soils by modeling their relationships to vegetation structure. *Forest Ecology and Management* 167 (2002) 1-3, 135-147.
- JENSSEN, M.; BUTTERBACH-BAHL, K.; HOFMANN, G.; PAPEN, H., ANDERS, S.: Flächenhafte Quantifizierung von N-Spurengas-Emissionen in Wäldern. Wissenschaftliche Arbeitstagung „Umweltrelevante Spurengase in der Land- und Forstwirtschaft – Herausforderung für Wissenschaft, Politik und Praxis“. Schriftenreihe agrarspectrum Band 34, DLG-Verlag, Frankfurt (Main) 2002, 139-144.

C7 Möglichkeiten der Überführung von Ergebnissen in die forstliche Praxis

Die Ergebnisse sind eine notwendige Grundlage für die bei flächenkonkreten Planungen von Bestandes-Zieltypen erforderlichen Abwägungen und sollten daher in die flächendeckende forstliche Rahmenplanung der Länder überführt werden.

Der erreichte Bearbeitungsstand erlaubt es, in künftigen Forschungsprojekten den Transfer der Ergebnisse in die forstliche Praxis vorzubereiten. Ziel der Überführung ist es, eine flächendeckende Bewertung des derzeitigen Waldzustandes im Hinblick auf Schlüsselparameter der Biodiversität sowie Prognosen dieser Diversitätsparameter für den künftigen Waldzustand in Abhängigkeit von alternativen Entwicklungsszenarien zu erstellen. Dies wird möglich, da sich die im Projekt erarbeiteten Maßzahlen zur Beschreibung der Phytodiversität auf Vegetations- bzw. Ökosystemtypen beziehen, die auf der Basis der vorhandenen Daten der Forstplanung und Standortserkundung prinzipiell landesweit umgesetzt werden können. Um eine weit gehende Kompatibilität der im Rahmen dieses Projektes für die flächenhafte Umsetzung genutzten Vegetations- bzw. Ökosystemtypen mit den forstlichen und naturschutzfachlichen Planungseinheiten zu gewährleisten, erfolgt seit Projektbeginn eine intensive Abstimmungsarbeit mit den zuständigen Dezernaten der Landesforstanstalt Eberswalde (Forsteinrichtung Dr. Müller, Dr. Gross; Standortskunde Herr Grill; Waldbiotopkartierung Frau Steinmeyer).

Die Vielfalt der Pflanzenarten stellt eine Führungsgröße für die Verallgemeinerung von wissenschaftlichen Erkenntnissen zur Biodiversität in Wäldern dar. Dies folgt aus der Tatsache, dass Pflanzen als Primärproduzenten eine besondere Rolle im ökosystemaren Prozessnetzwerk besitzen und die Vegetationsstrukturen in ihren räumlichen Mosaiken die Habitatqualitäten für Bodenlebewelt und Tiere bestimmen. In künftigen Projekten mit dem Ziel der wissenschaftlichen Vorbereitung der integrierten und flächenbezogenen Umsetzung der im Projektverbund erarbeiteten Erkenntnisse sollen daher unter Nutzung der Arbeitsergebnisse der AG Alberti und Majunke und in enger Kooperation mit Experten des Naturschutzes (Landesanstalt für Goßschutzgebiete des Landes Brandenburg, Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie des Landes Mecklenburg-Vorpommern, Botanisches und Zoologisches Institut der Universität Greifswald, I.L.N. Greifswald, GNL Ratzeburg) naturschutzfachliche Bewertungen von Vegetationsveränderungen im Verlauf und Ergebnis einer ökologischen Waldumgestaltung erfolgen. Im Ergebnis sollte ein Katalog naturschutzfachlich relevanter Zielgrößen für Bestandes-Zieltypen der Forstplanung in Abhängigkeit von den auf der Waldfläche vorhandenen Standortseinheiten erarbeitet werden,

der eine flächenhafte Umsetzung auf der Grundlage der forstlichen Datenspeicher und GIS ermöglicht. Dieser Katalog könnte Maßzahlen zur Beschreibung von Naturnähe, Phyto- und Zoodiversität und skalierte Habitatqualitäten für ausgewählte Gruppen von Leitarten umfassen und dient Landesforstverwaltungen und Privatwaldbesitzern als eine flächenkonkrete Bewertungsgrundlage für die Forstplanung.

Ein wesentlicher Forschungsbedarf im Rahmen von auf die Regionalisierung der Ergebnisse zielenden Projekten besteht insbesondere darin, die Typen der aktuellen Wald- und Forstvegetation aus den standortkundlichen und Forsteinrichtungs-Daten flächendeckend abzuleiten. Die Übertragung der zu den verschiedenen Waldtypen erarbeiteten Erkenntnisse (verallgemeinerte topische Ebene) auf die Waldfläche (chorische Ebene) sollte am Beispiel einer repräsentativen Modellregion erprobt werden. Im Ergebnis können Vorschläge für eine landesweite Umsetzung der Ergebnisse entwickelt und die Aufwände für notwendige, die vorliegenden Daten der Forsteinrichtung und Standortserkundung ergänzende Vegetationskartierungen auf Landesebene abgeschätzt werden.

C8 Zitierte Literatur

BOLTZMANN, L.: Vorlesungen über Gasttheorie, 2 Bde., Leipzig 1896, 1898.

DIERSSEN, K.; KIEHL, K.: Theoretische Grundlagen zur Definition, Messung und Bedeutung von Diversität. Schriftenr. Vegetationskunde 32 (2000) 7-21.

HOBOHM, C.: Biodiversität. Quelle & Meyer Verlag Wiebelsheim, 2000.

HOFMANN, G.: Neue Wege der Vegetationsforschung. Arch. Forstwes. 18 (1969) 1225-1242.

HOFMANN, G.: Mitteleuropäische Wald- und Forstökosystemtypen in Wort und Bild. AFZ/Der Wald, Sonderheft, 1997.

HOFMANN, G.: Die Entwicklung der Waldvegetation des nordostdeutschen Tieflandes unter den Bedingungen steigender Stickstoffeinträge in Verbindung mit Niederschlagsarmut. In: ANDERS, S.; BECK, W.; BOLTE, A.; HOFMANN, G.; JENSSEN, M.; KRAKAU, U.-K., MÜLLER, J. Abschlußbericht zum Vorhaben "Waldökosystemforschung Eberswalde: Einfluss von Niederschlagsarmut und erhöhtem Stickstoffeintrag auf Kiefern-, Eichen- und Buchen-Wald- und Forstökosysteme des nordostdeutschen Tieflandes" für das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), FKZ 0339500C, 1999, S. 32-48, Anlagenband 1.

HOFMANN, G.; JENSSEN, M.; ANDERS, S.: Umweltbeobachtung in Wäldern und Forsten auf der Grundlage von Ökosystemtypen. Beitr. Forstwirtsch. u. Landsch.ökol. 33 (1999), 55-63.

HOFMANN, G.; JENSSEN, M.; ANDERS, S.: Zur Pflanzenarten-Vielfalt in den Waldungen des ostdeutschen Tieflandes. Posterbeitrag zum Symposium „Biologische Vielfalt mit der Land- und Forstwirtschaft?“ des Senats der Bundesforschungsanstalten im Geschäftsbereich des BMVEL, 15.-17.05.2001, FAL Braunschweig.

JAYNES, E.T.: The Evolution of Carnot's Principle. In: ERICKSON, G.J.; SMITH, C.R. (eds.): Maximum-Entropy and Bayesian Methods in Science and Engineering, vol. 1, pp. 267-281, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1988.

JEDICKE, E.: Die Roten Listen. Ulmer, Stuttgart, 1997.

JENSSEN, M.; HOFMANN, G.: Naturschutzgebiet „Hinrichshagen“: Einstellung eines reifen Entwicklungszyklus im Buchenwald. AFZ / Der Wald 52 (1997) 19, S.1015-1018.

JENSSEN, M.; HOFMANN, G.: Zur Quantifizierung der Pflanzenartenvielfalt in Wäldern. AFZ / Der Wald (2001a), im Druck.

JENSSEN, M.; HOFMANN, G.: Zur Quantifizierung von Naturnähe und Phytodiversität in Waldungen auf der Grundlage der potenziellen natürlichen Vegetation. Anwendung und Auswertung der Karte der natürlichen Vegetation Europas. Schriftenreihe des Bundesamtes für Naturschutz, (2001b), Druck in Vorbereitung.

JENSSEN, M.; BUTTERBACH-BAHL, K.; HOFMANN, G.; PAPEN, H.: Modellierung von Beziehungen zwischen der Emission von N-Spurengasen aus Waldböden und den Vegetationsstrukturen in Kiefernökosystemen des nordostdeutschen Tieflandes. Beitr. Forstwirtsch. u. Landsch.ökol. 34 (2000) 3, S. 116-122.

JENSSEN, M.; BUTTERBACH-BAHL, K.; HOFMANN, G.; PAPEN, H.: Exchange of trace gases between soils and the atmosphere in Scots pine forest ecosystems of the North Eastern German Lowlands. 2. A novel approach to scale up N₂O- and NO-fluxes from forest soils by modeling their relationships to vegetation structure. Submitted to Forest Ecology and Management, 2001.

SHANNON, C.E.: A Mathematical Theory of Communication. Bell System Techn.J. 27 (1948), 370-423, 623-656.

SOLBRIG, O.T.: Biodiversität. Wissenschaftliche Fragen und Vorschläge für die internationale Forschung. Bonn, Dt. UNESCO-Kommission MAB, 1994.

WHITTAKER, R.H.: Evolution and measurement of species diversity. Taxon 21 (1972) 213-251.

WILSON, E.O. (Hrsg.): Ende der biologischen Vielfalt? Der Verlust an Arten, Genen und Lebensräumen und die Chancen für eine Umkehr. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, 1992.

**Aufgaben der wissenschaftlichen Koordinierung
des BMBF-Projektverbundes „Nordostdeutsches Tiefland“
(01.03.2002 – 28.02.2003)**

K1 Zielsetzung

Der 1998 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung in Zusammenarbeit mit sechs Bundesländern begründete Förderschwerpunkt „Zukunftsorientierte Waldwirtschaft“ hat zum Ziel, wissenschaftliche Voraussetzungen für eine Umwandlung von naturfernen Nadelbaum-Monokulturen in standortsgerechte, naturnähere Mischwälder zu schaffen und damit die Stabilität der Wälder, die wirtschaftliche Situation der Forstwirtschaft und nicht zuletzt den naturschutzfachlichen Wert der Wälder zu verbessern.

Um eine den regionalen Besonderheiten gerecht werdende und auf die Bedürfnisse der forstlichen Praxis in den einzelnen Bundesländern ausgerichtete Forschung zu gewährleisten, wurde der Förderschwerpunkt in fünf regionalen Projektverbänden organisiert, die von den Landesforstverwaltungen koordiniert werden. Der ausgesprochen interdisziplinäre Charakter der einzelnen Projektverbände erfordert zusätzlich eine regionale wissenschaftliche Koordinierung, die eine effektive gemeinsame Ausnutzung von Forschungsressourcen und eine weit gehende Bündelung und Passfähigkeit der erarbeiteten Ergebnisse gewährleisten soll.

Der Regionalverbund Nordostdeutsches Tiefland (Bundesländer Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern) umfaßt Forschungsprojekte der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, des Fraunhofer Instituts Garmisch-Partenkirchen, der Landesforstanstalt Eberswalde, der Universitäten Cottbus, Greifswald, Lüneburg und Freiburg. Weitere Kooperationspartner sind in die Forschungsprojekte einbezogen.

Zielsetzung der Teilaufgabe war die Wahrnehmung der Aufgaben der wissenschaftlichen Koordinierung im regionalen Projektverbund Nordostdeutsches Tiefland zwischen dem 1.3.2002 und dem 28.3.2003.

K2 Aufgabenstellung

Es wurde die folgende Aufgabenstellung vereinbart:

- Zusammenfassende Darstellung der bisherigen Projektergebnisse auf der Grundlage von ausführlichen Zwischenberichten der einzelnen Projekte, Vorlage eines Gesamtberichtes zur Sitzung des Sachverständigenkreises im Frühjahr 2002
- Erarbeitung einer Konzeption zur wissenschaftlichen Begleitung der Überleitung von Projektergebnissen in die forstliche Praxis mit Vorschlägen zum zeitlichen Ablaufplan und zur organisatorischen sowie institutionellen Vernetzung regionaler Projektaktivitäten in einer anschließenden Förderphase, Abgleich mit Rahmenforschungsplänen der Länder
- Koordinierung institutsübergreifender Projektanträge mit Orientierung auf die Schaffung wissenschaftlicher Voraussetzungen zur Überführung von Ergebnissen in landesweite forstliche und naturschutzfachliche Planungen
- Unterstützung des Landeskoordinators in allen Fragen der institutionellen und wissenschaftlichen Koordinierung der Projekte
- Unterstützung von Informationsaustausch und Abstimmung laufender Arbeiten zwischen den Projekten
- Abstimmung überregionaler Aktivitäten zwischen den verschiedenen regionalen Projektverbänden
- Öffentlichkeitsarbeit (neue Medien, Presse, Funk/Fernsehen)
- Organisation von Workshops und Statusseminaren

K3 Ergebnisse

Entsprechend der Aufgabenstellung wurden entsprechend der aktuellen Erfordernisse in Abstimmung mit dem PTJ und dem Landeskoordinator folgende Aktivitäten im Rahmen der wissenschaftlichen Koordinierung durchgeführt:

1. Anfertigung eines Statusberichtes des Projektverbundes Nordostdeutsches Tiefland mit Berichtsstand 31.12.2001 (Bericht liegt gesondert vor), hierzu insbesondere
 - Anfertigung einer Kurzdarstellung über Ziele und Einzelergebnisse der Teilprojekte
 - Zusammenführung und integrierende Auswertung der bisherigen Forschungsergebnisse (integrierender Ergebnisbericht)
 - Ausweisung von Vorschlägen zur Weiterführung der Arbeiten sowie zur praktischen Umsetzung bisheriger Ergebnisse in Forstwirtschaft, Naturschutz und Umweltpolitik

- Herstellung, Vervielfältigung und Übergabe des Berichtes an den Projektträger und an die am Projektverbund beteiligten Zuwendungsempfänger
2. Unterstützung des Landeskoordinators in allen Fragen der institutionellen und wissenschaftlichen Koordinierung der Projekte, insbesondere
- Vorbereitung von Berichtsvorlagen des Landeskoordinators zum regionalen Projektverbund in Vorbereitung des Strategiepapiers des Sachverständigenkreises
 - Erarbeitung von Vorschlägen zur Übernahme von Projektergebnissen in die forstliche Praxis und zur weiteren Ausrichtung der Forschung
 - Vorbereitung und Durchführung von 3 Sitzungen der regionalen Koordinierungsgruppe beim Landeskoordinator (Potsdam, Cottbus)
 - Abstimmung von Versuchsflächenarbeit und Datenaustausch zwischen Forschungsstandorten Eberswalde, Cottbus, Müncheberg, Greifswald, Lüneburg, Kratzeburg, Garmisch-Partenkirchen und Freiburg
 - Vorbereitung und Durchführung von thematischen Werkstattgesprächen und regionalen Koordinierungsberatungen zu den Themenkreisen „Biologische Vielfalt“ (25.06.2002, Greifswald und 12.12.2002, Kratzeburg), „Emission von Spurengasen und Regionalisierung“ (14.08.2002, Eberswalde), „Humuszustand, Wurzelwachstum und Wasserhaushalt“ (07.06.2002, Eberswalde), „Klimarelevanz von Wäldern“ (21.10.2002, Eberswalde)
3. Präsentation von Ergebnissen des regionalen Projektverbundes auf folgenden Tagungen:
- Naturnähe-Kolloquium der LFE 14.06.2002 (Kurzbericht Brandenburgische Forstnachrichten 3/2002)
 - Symposium „Ökologie des Waldumbaus“ auf der GFÖ-Tagung in Cottbus (17.09.2002)
 - Forstwissenschaftliche Tagung in Göttingen (9.-11.10.2002)
 - BMBF-Öffentlichkeitstagung zum Themenschwerpunkt „Biodiversität“ in Erfurt (08.11.2002)
4. Durchführung von weiteren Aktivitäten der Öffentlichkeitsarbeit, insbesondere
- Internetdarstellung des Projektverbundes
 - Erarbeitung eines Faltblattes zur Darstellung des Projektverbundes

- Unterstützung der Schutzgemeinschaft Deutscher Wald bei der Vorbereitung einer Naturschutz-Fachtagung
 - Anfertigung einer Publikation über Zwischenergebnisse des regionalen Projektverbundes („Interdisziplinäre Forschung zum ökologischen Waldumbau: Praxisrelevante Zwischenergebnisse im BMBF-Förderschwerpunkt Zukunftsorientierte Waldwirtschaft“, Brandenburgische Forstnachrichten 11 / 101 (2002), 27-28)
5. Durchführung von überregionalen Aktivitäten im Rahmen des Förderschwerpunktes, insbesondere
- Informationsaustausch und Abstimmung mit anderen regionalen Projektkoordinatoren im Rahmen der AG „Überregionale wissenschaftliche Koordinierung“, Vorbereitung und Teilnahme an überregionalen Koordinierungssitzungen in Freising (15.8.2003), Tharandt (21./22.11.2002) und Berlin (31.1.2003)
 - Erarbeitung einer Konzeption zu möglichen überregionalen Querschnittsthemen des Förderschwerpunktes in Vorbereitung des Strategiepapiers des Sachverständigenkreises
 - Mitwirkung bei der Vorbereitung des Strategischen Programmaudits des Förderschwerpunktes, Zuarbeiten zum Strategiepapier des Sachverständigenkreises und zur Präsentation der Forschungsverbände durch den PTJ auf dem Audit
 - Mitwirkung an einer Umfeldanalyse über Förderinstitutionen und –projekte auf nationaler Ebene sowie Förderprogramme auf europäischer Ebene im Bereich „Waldforschung“ in Kooperation mit dem PTJ