

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Projektträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH



## Der klimaplastische Wald im nordostdeutschen Tiefland

### Strategie der forstlichen Risikovorsorge angesichts einer unvorhersagbaren Zukunft

Schlussbericht (Nr. 8.2 NKBF 98) zum Forschungsvorhaben 0330562H:  
„Nachhaltige Entwicklung von Waldlandschaften im Nordostdeutschen Tiefland“  
(NEWAL-NET)

Teilprojekt B:

„Modellierung der Waldstruktur-Dynamik standortplastischer Laubmischwälder und Regionalisierung von Schlüsselparametern für eine nachhaltige Waldentwicklung in der Modellregion Nordost-Brandenburg / Südost-Mecklenburg-Vorpommern“

Teilprojektleiter: Dr. Martin Jenssen  
Laufzeit: 01.07.2005 – 31.01.2009

#### **Waldkunde-Institut Eberswalde GmbH**

Hohensaatener Dorfstr. 27  
D-16259 Bad Freienwalde (Oder)  
Tel. 033368 / 70397, Fax 033368 / 70398  
Email: jenssen@waldkunde-eberswalde.de

**Autor:** Dr. Martin Jenssen

unter Mitarbeit von: **Prof. Dr. habil. Gerhard Hofmann**



<b>I. KURZE DARSTELLUNG ZU AUFGABENSTELLUNG, VORAUSSETZUNGEN, PLANUNG UND ABLAUF DES VORHABENS SOWIE ZUR ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN</b>	<b>5</b>
I.1 Aufgabenstellung	5
I.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	8
I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	9
I.4 Wissenschaftlicher Erkenntnisstand	9
I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	10
<b>II. EINGEHENDE DARSTELLUNG VON ERGEBNIS UND NUTZEN DES VORHABENS</b>	<b>12</b>
II.1 Wissenschaftliche Ergebnisse	12
II.1.1 Der klimaplastische Wald – forstliche Anpassungsstrategie an den erwarteten Klimawandel	12
II.1.2 Ökoklimatisch-waldgeografische und vegetationskundliche Grundlagen: natürliche Vorbilder klimaplastischer Wälder	16
II.1.3 Dendroökologische Grundlagen: Reaktionsmuster von Baumartenpopulationen im sekundären Dickenwachstum	25
II.1.4 Zur Entwicklung klimaplastischer Laubmischwälder in der Modellregion unter der Annahme regionalisierter IPCC-Klimaszenarien	37
II.1.5 Die ökologischen Freiheitsgrade des Kiefernbaus im ostdeutschen Tiefland – Verfahren der quantitativen Einschätzung der ökologischen Integrität von Kiefernreinbeständen	49
II.1.6 Die Grüne Douglasie im klimaplastischen Wald des Tieflandes – ökoklimatisch-waldgeografische Grundlagen	60
II.1.7 Bewirtschaftungsmodell für die nach dem Leitbild klimaplastischer Wälder optimierten Landnutzungsszenarien	72
Zielstrukturen auf nährstoffarmen grundwasserfreien Sandstandorten	74
Zielstrukturen auf ziemlich nährstoffarmen grundwasserfreien Sandstandorten	75
Zielstrukturen auf mäßig nährstoffversorgten grundwasserfreien Sandstandorten	76
Zielstrukturen auf nährkräftigen grundwasserfreien Sandstandorten	78
Zielstrukturen auf nährstoffreichen grundwasserfreien Sandstandorten	80
II.1.8 Waldentwicklungsszenario nach dem Leitbild klimaplastischer Wälder für den Zeitraum 2006 bis 2100	82
II.1.9 Waldbauliche Maßnahmen zur Umsetzung des Leitbildes klimaplastischer Wälder	93
II.1.10 Aktivitäten im Rahmen von Kooperationen innerhalb des NEWAL-NET-Projektverbundes	96
II.1.10.1 Messung von Bestandesniederschlag und Stammabfluss in Hainbuchen-Buchen- und Winterlinden-Buchen-Mischbeständen unterschiedlicher Altersklassen (Kooperation Teilprojekt A, ZALF Müncheberg)	96
II.1.10.2 Mitarbeit an Messung und Modellierung von Spurengasflüssen in unterschiedlichen Waldtypen (Kooperation Teilprojekt C, FZ Karlsruhe)	96
II.1.10.3 Mitarbeit an Modellierung von Habitatpotenzialen ausgewählter Tierarten im NEWAL-NET-Modellgebiet (Kooperation Teilprojekt D, GLN Kratzeburg)	97
II.1.10.4 Durchführung eines Schülerforschungsprojektes zur Messung des Stammabflusses an der Baumart Spitz-Ahorn sowie Mitarbeit an weiteren Aktivitäten im Bereich Umweltbildung (Kooperation Teilvorhaben G, Humboldt-Universität)	97
II.1.10.5 Mitarbeit an der Landschaftswerkstatt (Kooperation Teilvorhaben G, Büro für Landschaftskommunikation Bad Freienwalde)	100

II.1.10.6	Mitarbeit an der Visualisierung klimaplastischer Waldstrukturen als Beitrag zur partizipativen Leitbildentwicklung und –umsetzung (Kooperation Projekt SILVISIO, ZALF Müncheberg)	101
<b>II.2</b>	<b>Verwertung der Ergebnisse</b>	<b>103</b>
II.2.1	Praktische Begründung klimaplastischer Waldbestände (Kooperation Stiftung Schorfheide-Chorin)	103
II.2.2	Waldentwicklungsplanung der Bundesländer (Kooperation Landesforstverwaltungen)	107
II.2.3	Verwertung im Rahmen des Innovationsnetzwerks Klimaanpassung Berlin-Brandenburg (Kooperation INKA-BB)	107
<b>II.3</b>	<b>Während des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen</b>	<b>108</b>
<b>II.4</b>	<b>Vorträge und Veröffentlichungen</b>	<b>108</b>
<b>II.5</b>	<b>Danksagung</b>	<b>113</b>
<b>II.6</b>	<b>Zitierte Literatur</b>	<b>114</b>

# I. Kurze Darstellung zu Aufgabenstellung, Voraussetzungen, Planung und Ablauf des Vorhabens sowie zur Zusammenarbeit mit anderen Stellen

## I.1 Aufgabenstellung

Im Handlungskonzept für den BMBF-Förderschwerpunkt „Nachhaltige Waldwirtschaft“ wurde im Forschungsfeld 2 die Fragestellung formuliert, wie forstwirtschaftlich geprägte Landschaften und Wälder so bewirtschaftet und genutzt werden können, dass die Lebensqualität der Menschen verbessert und gleichzeitig die natürlichen, sozialen und wirtschaftlichen Ressourcen und Leistungen der Wälder langfristig bereitgestellt und gewährleistet werden.

Aus verschiedenen die deutsche Waldwirtschaft verpflichtenden Gesetzen und Programmen wurde in diesem Kontext ein allgemeines Leitbild einer zukunftsfähigen Waldwirtschaft abgeleitet, dass auf die „gewinnorientierte Entwicklung arten- und strukturreicher Wälder mit standortgerechten Baumartenmischungen“ zielt, die „unter weitgehender Ausnutzung natürlicher Abläufe und Selbstregulationsmechanismen für die Erbringung vielfältiger Leistungen zur Befriedigung unterschiedlichster Ansprüche an die Nutzung dauerhaft geeignet sind.“

NEWAL-NET hat sich als Forschungsverbund die Aufgabe gestellt, ein solches allgemeines Leitbild nachhaltiger Waldwirtschaft in einer Modellregion des nordostdeutschen Tieflands (Abb. 1) im partizipativen Dialog zu entwickeln, flächenkonkret zu untersetzen und seine Umsetzung zu initialisieren. Hierbei mussten die in der Region tatsächlich vorhandenen Potenziale und Rahmenbedingungen Berücksichtigung finden (Punkt I.2).

Eine Operationalisierung des politischen Leitbegriffes „nachhaltige Entwicklung“ in der Forstwirtschaft zielt auf ein entwicklungsoffenes Leitbild nachhaltiger Waldbewirtschaftung, d.h. Optionen forstlicher Landnutzung sind so zu gestalten, dass sie ein Maximum an Freiheitsgraden für zukünftige Nutzerentscheidungen bieten. Dies impliziert insbesondere die Begründung und Entwicklung solcher Waldstrukturen, deren potenzielle Gefährdung im Hinblick auf künftige Risiken möglichst gering ist. In ökologischer Hinsicht erwachsen die größten Risiken für die heute ausgebildeten Waldbestände aus dem Klimawandel, der nach heutigem Kenntnisstand auf regionaler Ebene für forstliche Planungszeiträume in seinen komplexen Auswirkungen weitgehend unvorhersagbar ist.

Im Rahmen des Teilprojektes wurde das Konzept der **Klimaplastizität** als Antwort auf diese Herausforderung entwickelt und für die wichtigsten grundwasserfreien Standortsbereiche der Modellregion ausgearbeitet. Der innovative Kern des Konzeptes besteht darin, die Baumartendiversität auf der Waldfläche gezielt in Anlehnung an solche natürlichen Waldgesellschaften zu erhöhen, die sich unter den Bedingungen einer erhöhten Klimavariabilität ausbilden. Damit wird das Prinzip der Bionik genutzt, um eine Anpassung der Waldstrukturen an unbestimmte

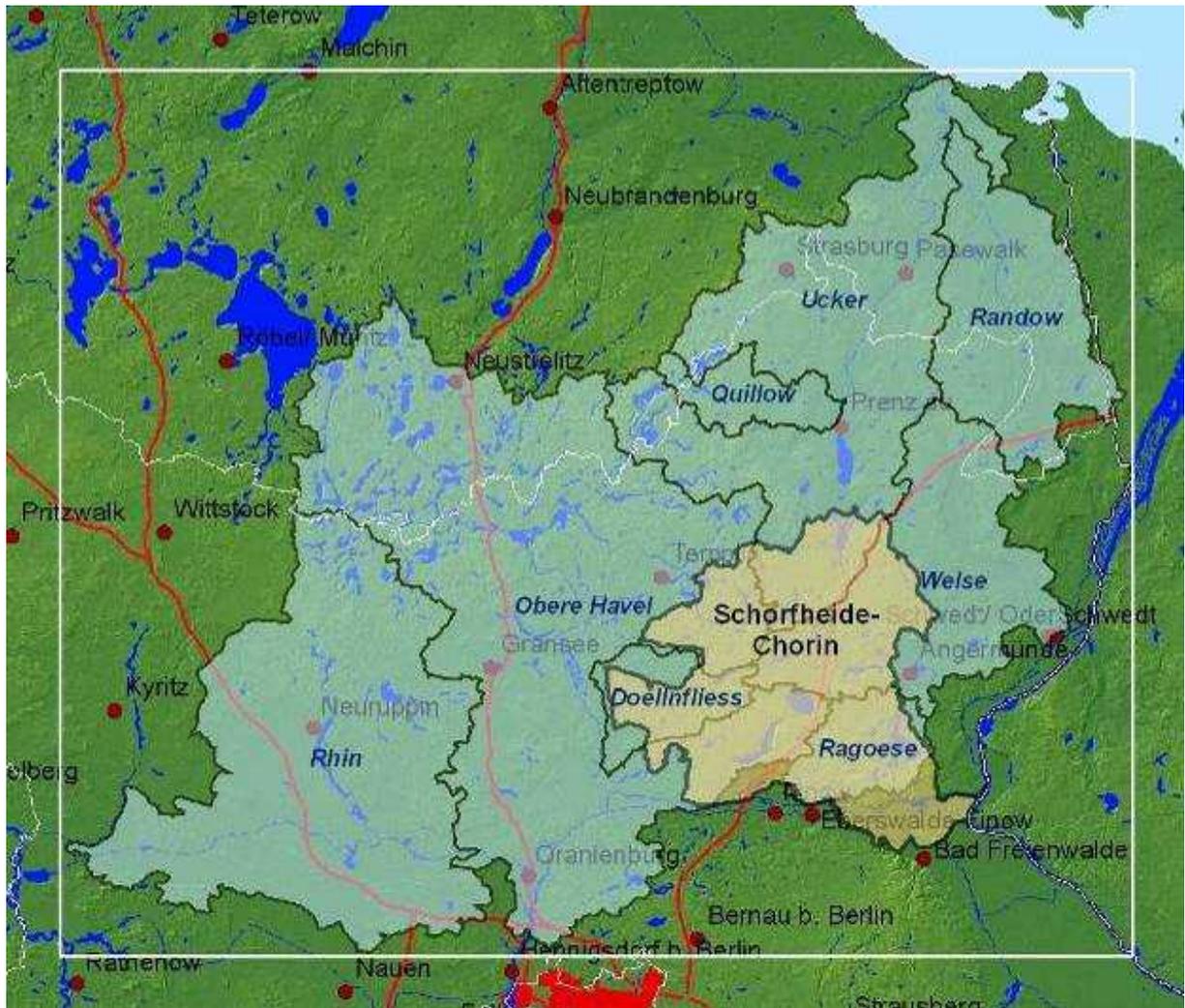
Veränderungen der Umweltbedingungen zu ermöglichen und somit forstliche Risikovorsorge zu betreiben.

Im Teilprojekt wurden zunächst die waldgeografischen und ökoklimatischen Grundlagen klimaplastischer Wälder im nordostdeutschen Tiefland erarbeitet. Ausgangspunkt hierfür bildeten die auf unterschiedlichen Maßstabsebenen vorliegenden und im Teilprojekt bearbeiteten Kartierungen der potenziellen natürlichen Vegetation Europas, der Bundesländer Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern sowie der NEWAL-NET-Modellregion, die Weltklimadaten sowie die regionalisierten IPCC-Klimaszenarien. In einem weiteren Schritt erfolgte die Ableitung eines vereinfachenden Bewirtschaftungsmodells für die NEWAL-NET-Modellregion Nordost-Brandenburg / Südost-Mecklenburg-Vorpommern, das dem Leitbild klimaplastischer Wälder entspricht. Mit Hilfe des Modells wurde ein klimaplastisch optimiertes Waldnutzungsszenario für den Zeitraum bis 2100 abgeleitet, das anderen Teilprojekten des Verbundes als Grundlage einer Abschätzung wahrscheinlicher Wirkungen der Umsetzung des Leitbildes zur Verfügung gestellt wurde.

Im Einzelnen wurden im Teilprojekt die folgenden Aufgabenkomplexe bearbeitet:

- Ausarbeitung des Konzeptes klimaplastischer Waldbestände
- Analyse von Verbreitung und Struktur potenzieller natürlicher Waldgesellschaften im klimatischen Übergangsbereich zwischen atlantischen und kontinentalen Klimaausbildungen
- Dendroökologische Untersuchung von gruppen- und einzelbaumweisen Mischungen aus Buche, Hainbuche, Winter-Linde und Spitzahorn
- Ökoklimatische Diagnose der natürlichen Linden-Hainbuchen-Buchenwälder und der Eichen-Buchenwälder Europas
- Ökoklimatische Diagnose der von der Grünen Douglasie dominierten natürlichen Waldgesellschaften der nordwestamerikanischen Küstenregion
- Darstellung der Entwicklung ökoklimatischer Schlüsselparameter in der Modellregion auf der Grundlage regionalisierter IPCC-Klimaszenarien
- Entwicklung eines vereinfachenden Bewirtschaftungsmodells für die grundwasserfreien Standortbereiche der Waldfläche der NEWAL-NET-Modellregion Nordost-Brandenburg / Südost-Mecklenburg-Vorpommern (42 waldbauliche Zielstrukturen und zugehörige Behandlungsvorschriften)
- Implementation eines Computermodells zur Berechnung von Waldnutzungsszenarien auf der Aggregationsebene der Forstabteilung
- Berechnung eines klimaplastisch optimierten Waldnutzungsszenarios sowie eines Kontrastszenarios „business as usual“ für 400 000 ha eingerichteter Holzbodenfläche für den Zeitraum 2006 bis 2100

- Messung von Bestandesniederschlag und Stammabfluss in Hainbuchen-Buchen- und Winterlinden-Buchen-Mischbeständen unterschiedlicher Altersklassen
- Mitarbeit an Messung und Modellierung von Spurengasflüssen in unterschiedlichen Waldtypen (Kooperation Teilprojekt C, FZ Karlsruhe)
- Mitarbeit an Modellierung von Habitatpotenzialen ausgewählter Tierarten im NEWAL-NET-Modellgebiet (Kooperation Teilprojekt D, GLN Kratzeburg)
- Durchführung eines Schülerforschungsprojektes zur Messung des Stammabflusses an der Baumart Spitz-Ahorn sowie Mitarbeit an weiteren Aktivitäten im Bereich Umweltbildung (Kooperation Teilvorhaben G, Humboldt-Universität)
- Mitarbeit an der Landschaftswerkstatt (Kooperation Teilvorhaben G, Büro für Landschaftskommunikation)
- Mitarbeit an der Visualisierung klimaplastischer Waldstrukturen als Beitrag zur partizipativen Leitbildentwicklung und –umsetzung (Kooperation Projekt SILVISIO, ZALF Müncheberg)
- Entwicklung eines Verfahrens zur praktischen Begründung klimaplastischer Waldbestände auf der Grundlage einer kleinräumigen Standortskartierung
- Wissenschaftliche Begleitung der praktischen Begründung von klimaplastischen Waldbeständen auf Waldflächen der Naturschutzstiftung Schorfheide-Chorin



**Abb. 1:** Die NEURAL-NET-Modellregion (weißes Rechteck) umfasst den südöstlichen Teil Mecklenburg-Vorpommerns und den nordöstlichen Teil Brandenburgs mit einer Fläche von insgesamt 17 545 km<sup>2</sup>. Südlich des Gebietes liegt Berlin. Farblich hervorgehoben sind wichtige hydrologische Einzugsgebiete und das Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin (Quelle: U. Heinrich, ZALF 2004, ESRI Data & Maps 2003, Shuttle Radar Topography Mission 2003).

## I.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das nordostdeutsche Tiefland ist eine struktur- und bevölkerungsschwache Region, die durch ausgedehnte Waldlandschaften gekennzeichnet ist. Zu den ökonomischen Rahmenbedingungen in der Region zählen eine im Bundesvergleich geringe Industrialisierung und eine niedrige Beschäftigungsquote. Zu Beginn des Projektes zeichnete sich die Forstwirtschaft durch eine eher schwache Ertragsituation aus.

Andererseits besitzt vor allem das jungpleistozäne Gebiet des nördlichen Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommerns eine überdurchschnittliche Vielfalt und Qualität naturräumlicher Potenziale, die derzeit nur ungenügend genutzt wird, um die ökonomische Wertschöpfung und die Lebensqualität der Menschen in der Region sowie die ökologische Qualität der Landschaft zu verbessern.

Die Waldfläche im nordostdeutschen Tiefland wird derzeit durch strukturarme und großflächige Reinbestände der Baumart Kiefer dominiert. Ökologische Risiken des Kiefieranbaus mit erheblicher Relevanz für die Wirtschaftlichkeit sind angesichts des erwarteten Klimawandels vor allem in großflächigen Reinbeständen und auf nährstoffmäßig besser versorgten Böden gegeben.

Der sich abzeichnende Klimawandel führt auf der Waldfläche zu einer sich drastisch verschärfenden Situation des Landschaftswasserhaushalts. Seit Jahrzehnten ist eine anhaltende Austrocknung von Niederungen verbunden mit Moorabbau und Emissionen klimarelevanter Spurengase in erheblichem Ausmaß zu beobachten. Mit der Umwandlung von gegenwärtig das Waldbild stark dominierenden Nadelbaum-Reinbeständen in klimaplastische Laubmischwälder kann bei einer entsprechenden Gestaltung der Bestandesstrukturen (Baumartenmischung und –schichtung) die Standortsfeuchte signifikant erhöht werden, wodurch ein positiver, den Wirkungen der erwarteten Zunahme der makroklimatischen Variabilität entgegensteuernder Effekt auf Stabilität und Wachstum der Waldbestände sowie auf den regionalen Landschaftswasserhaushalt verbunden ist, den es zu quantifizieren gilt.

### **I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens**

Die Planung des Vorhabens erfolgte in engster Abstimmung mit den anderen Teilprojekten sowie den assoziierten Partnern. Ein verbindlicher Ablaufplan mit Produkten und Meilensteinen wurde in einem Balkenplan im Antrag dokumentiert. Dieser Ablaufplan wurde im Verlauf der Projektbearbeitung durch den wissenschaftlichen Koordinator (Dr. P. Ende, ZALF Müncheberg) ständig dem realen Ablauf und den sich aus dem Arbeits- und Erkenntnisfortschritt ergebenden Notwendigkeiten angepasst. So konnte sichergestellt werden, dass die Arbeitsziele des Vorhabens uneingeschränkt erreicht wurden.

### **I.4 Wissenschaftlicher Erkenntnisstand**

Der wissenschaftliche Erkenntnisstand zu Beginn der Projektbearbeitung wurde im Antrag ausführlich dargestellt. An dieser Stelle sollen nur die wichtigsten Vorarbeiten erwähnt werden, an die das Vorhaben unmittelbar anknüpfen konnte.

Eine wesentliche Voraussetzung für die Bearbeitung war die zu Beginn des Projektes abgeschlossene Kartierung der potenziellen natürlichen Vegetation für Europa im Maßstab 1 : 2 500 000 (Bohn & Neuhäusl 2000, 2003) und für Brandenburg und Berlin im Maßstab 1 : 200 000 (Hofmann & Pommer 2005). Auf dieser Grundlage wurden bereits vor Projektbeginn für verschiedene nordmitteleuropäische Landschaftsausschnitte thematische Karten zu natürlichen Potenzialen der Waldlandschaft abgeleitet: zur Naturnähe der Baumartenzusammensetzung als praktisch anwendbarem Indikator der Selbstorganisationsfähigkeit von Wäldern und

zu den natürlichen Potenzialen der Pflanzenartenvielfalt (Jenssen & Hofmann 2003, 2005c) sowie zu den natürlichen Potenzialen der Nettoprimärproduktion, C-Bindung und C-Speicherung (Hofmann *et al.* 2002; Hofmann & Jenssen 2005).

Natürliches Vorbild klimaplastischer Waldstrukturtypen sind Buchenmischwälder, deren natürliche Vorkommen unter heutigen klimatischen Verhältnissen u.a. am Südrand des baltischen Buchenwaldareals (Modellregion Nordost-Brandenburg / Südost-Mecklenburg-Vorpommern, Nordwest-Polen), in Nordost-Bayern, am Rande des Thüringer Keuperbeckens, an den Bördenrändern Sachsens und Sachsen-Anhalts nachgewiesen wurden (Libbert 1932; Weinitschke 1963; Hofmann 1974; Reichhoff *et al.* 2000; Bohn & Neuhäusl 2000, 2003; Schmidt *et al.* 2002). Die aus Pollenanalysen (Müller 1969) rekonstruierte nacheiszeitliche Entwicklung der Waldvegetation belegt, dass dieser Waldtyp als „Kampfzonentyp“ zwischen unterschiedlichen Waldklimaten den sich vor drei bis viertausend Jahren nach Norden ausbreitenden Buchenwäldern unmittelbar vorausging. Mit der sich abzeichnenden Veränderung des heutigen Witterungsgeschehens, die sich entsprechend der Prognosen vor allem in einer weiteren Zunahme von Witterungsextremen äußern wird, wird auch eine Umkehrung der damaligen Bewegungsrichtung der Waldformationsgrenzen wahrscheinlich. Die in der Modellregion anhand von Restbeständen dieses Buchenmischwaldtyps abgeleiteten Erkenntnisse und Empfehlungen zur Entwicklung klimaplastischer Waldentwicklungstypen als wesentlichem Rückgrat einer zukunftsfähigen Waldbewirtschaftung gewinnen somit eine unmittelbare Anwendbarkeit für weite Teile des mitteleuropäischen Tief- und Hügellandes.

## **I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Die Projektbearbeitung erfolgte in enger Kooperation zwischen den Verbundpartnern, namentlich dem ZALF e.V. Müncheberg (Koordination, zentrale Datenbereitstellung, Kohlenstoffhaushalt, Wasserhaushalt), dem Institut für Meteorologie und Klimaforschung am FZ Karlsruhe GmbH in Garmisch-Partenkirchen (Emission von klimarelevanten Spurengasen), der Gesellschaft für Naturschutz und Landschaftsökologie Kratzeburg e.V. (Habitatpotenziale ausgewählter Vogel- und Säugetierarten), der Universität Hamburg (Landschaftsbewertung, Rohholzaufkommen), der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin (Bildung für nachhaltige Entwicklung) und dem Büro für Landschaftskommunikation Bad Freienwalde (Landschaftswerkstatt).

Über den Projektverbund hinaus gab es eine enge Kooperation mit den Landesforstverwaltungen Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern. Eine intensive Zusammenarbeit wurde während der gesamten Projektlaufzeit mit der Naturschutzstiftung Schorfheide-Chorin gepflegt. Diese Zusammenarbeit hatte zum Ziel, die im Projekt erarbeiteten wissenschaftlichen Erkenntnisse praktisch umzusetzen und beispielhaft klimaplastische Waldbestände zu begründen. Im

Ergebnis hat die Stiftung Schorfheide-Chorin aus eigenen finanziellen Mitteln während der Projektlaufzeit die Begründung auf 10 ha Waldfläche durchgeführt, die Begründung von weitem 5 ha wurde vorbereitet und wird im Jahr 2009 abgeschlossen.

## **II. Eingehende Darstellung von Ergebnis und Nutzen des Vorhabens**

### **II.1 Wissenschaftliche Ergebnisse**

#### **II.1.1 Der klimaplastische Wald – forstliche Anpassungsstrategie an den erwarteten Klimawandel**

Unter Klimaplastizität verstehen wir die Fähigkeit eines biologisch-ökologischen Systems zu einer dauerhaften Anpassung seiner Strukturen an einen Klimawandel. Klimaplastizität auf der Ebene der Waldgesellschaft wird vor allem durch interspezifische Konkurrenz zwischen den Baumarten erzeugt. Ein Waldbestand kann sich durch Veränderung der Mengenanteile der Baumarten an das sich wandelnde Klima anpassen. Die Klimaplastizität eines Waldbestandes ist dann besonders groß, wenn sich die ökologischen Amplituden der Baumarten unter dem aktuellen Klima und den gegebenen kleinstandörtlichen Bedingungen überlappen und eine Vergesellschaftung ermöglichen, jede für sich aber möglichst unterschiedliche Bereiche möglicher Klimaszenarien abdecken.

Der Wald wächst und reproduziert sich auf Zeitskalen von Jahrzehnten und Jahrhunderten. Forstwirtschaft ist damit derjenige Wirtschaftszweig mit den längsten Produktionszeiträumen, forstliche Planungszeiträume umfassen häufig weit mehr als hundert Jahre.

Gleichzeitig erleben wir als eine kulturelle Grunderfahrung, dass die materiellen, sozialen und geistigen Verhältnisse in immer raschere Bewegung versetzt werden, einige Soziologen bezeichnen diese zunehmende Dynamisierung der Welt sogar als das Fundamentalprinzip unserer Zeit (Rosa 2008). Die technische und soziale Beschleunigung führen über eine Zunahme der anthropogenen stofflichen Emissionen aus Industrie, Verkehr und Haushalt zu einer beschleunigten Veränderung des physikalischen und chemischen Klimasystems und damit auch zu einem sich beschleunigenden Wandel der natürlichen Lebensgrundlagen der Wälder. Vor allem die verbesserte Stickstoffversorgung der Waldstandorte, die maßgeblich auch durch die heute gegenüber der Mitte des vergangenen Jahrhunderts erheblich gestiegenen Stickstoff-Depositionen bedingt sein dürfte, hat nicht nur zu rasanten Veränderungen der Artenvielfalt in Wäldern geführt (Jenssen & Hofmann 2005a), sondern auch zu einer signifikanten Beschleunigung des Waldwachstums (Kahle *et al.* 2008).

Die atmosphärische Konzentration an Kohlendioxid hat sich seit 1850 von 280 ppm auf 380 ppm erhöht, hinzu kommen signifikante Anstiege hoch klimawirksamer Spurengase wie Methan und Lachgas. Allein durch die Erhöhung des Treibhausgases Kohlendioxid wurde eine veränderte Strahlungsbilanz der Atmosphäre von  $1,7 \text{ W/m}^2$  herbeigeführt. Die veränderte Bilanz der Erdatmosphäre zwischen Einstrahlung und Abstrahlung würde rein rechnerisch einem globalen

Temperaturanstieg von 1,8 °C entsprechen. Tatsächlich werden jedoch durch die veränderte Strahlungsbilanz der Atmosphäre Reaktionen des Klimasystems ausgelöst, die aufgrund der hochgradigen Komplexität und Nichtlinearität des Klimasystems nicht sicher vorhersagbar sind. Darüber hinaus sind die Wirkungen eines zunehmenden Wasserdampfgehaltes der Atmosphäre, der Wolkenbildung (Reflexion) und die Rolle des Kohlendioxid-Austauschs zwischen Atmosphäre und Ozeanen (Vegetation) noch nicht hinreichend bekannt. Auch berücksichtigen derzeitige Modellrechnungen nicht die Wirkungen der hochgradig klimawirksamen Spurengase Methan und Lachgas. Ein kausaler Zusammenhang zwischen der Zunahme atmosphärischer Treibhausgase und dem im Erdmittel seit 1890 gemessenen Temperaturanstieg von knapp 0,8 °C wird von der Mehrheit der Klimaforscher dennoch als sehr wahrscheinlich angesehen (IPCC 2007).

Die Brandenburgstudie 2003 des Potsdam Instituts für Klimafolgenforschung geht in ihren wahrscheinlichen Zukunftsszenarien für die nächsten fünfzig Jahre von einem Anstieg der Jahresmitteltemperatur in Brandenburg von über 2 K gegenüber dem Mittel der letzten fünfzig Jahre bei gleichzeitiger deutlicher Verringerung der Sommerniederschläge aus (Gerstengarbe *et al.* 2003). Aussagen zur Klimaentwicklung in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts werden als ausgesprochen unsicher bewertet. Aus der Theorie nichtlinearer Systeme ist bekannt, dass der Übergang eines komplexen Systems in einen neuen Zustand relativer Stabilität häufig mit zunehmenden Fluktuationen verbunden ist (Ebeling & Feistel 1994). So erwarten Experten weitgehend übereinstimmend auch für das Klimasystem, dass die bereits für die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts nachgewiesene Zunahme von Witterungsextremen sich auch in die Zukunft hinein fortsetzen wird (Rahmsdorf & Schellnhuber 2006).

Wir müssen also Wälder in eine sich mit hoher Wahrscheinlichkeit schnell verändernde und extremer werdende Umwelt hinein entwickeln. Dabei sind die für Planungen relevanten Parameter der Veränderung vielfach unbekannt. Das Problem von Unvorhersagbarkeit und mangelndem Wissen betrifft jedoch keinesfalls nur das Klimasystem. Tatsächlich verändern sich nicht nur physikalische, sondern auch chemische Klimaparameter wie Ozon- und CO<sub>2</sub>- Konzentrationen oder der Eintrag von N-Verbindungen in die Wälder. Welche Komplexwirkungen diese sich verändernden Umweltbedingungen auf Stabilität und Wachstum von Waldbäumen haben werden, ist selbst mit den fortgeschrittensten physiologischen Prozessmodellen derzeit kaum einzuschätzen. Daraus folgt jedoch keineswegs, dass wir gar nichts tun könnten und den erwarteten Veränderungen hilflos gegenüber stehen müssten. Erforderlich ist allerdings ein Paradigmenwechsel beim Thema Waldentwicklung und Klimawandel.

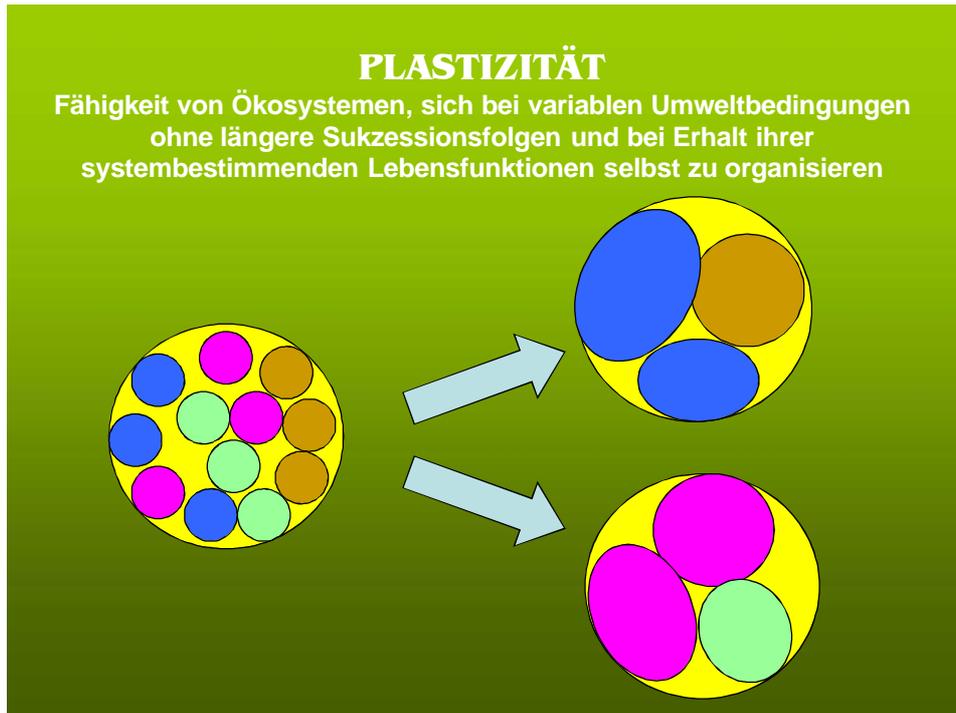
Eine deutliche Senkung des Risikos angesichts einer schwer vorhersagbaren und wechselhaften Zukunft erreicht man durch Diversifikation der Entwicklungsoptionen. So zeigte Markowitz (Markowitz 1952) in der Portfolio-Theorie, für die er später mit

dem Nobelpreis ausgezeichnet wurde, dass Risiken verschiedener Kapitalanlagen häufig voneinander abhängig sind und man daher durch geschickte Kombination verschiedener Einzelanlagen das Gesamtrisiko in einem Portfolio erheblich senken kann.

Das Leitbild des klimaplastischen Waldes beruht auf der Erkenntnis, dass die ökologischen Risiken des Anbaus unterschiedlicher Baumarten bei einem Klimawandel voneinander abhängig sind. Im klimaplastischen Wald wird die kleinräumige Vielfalt der standörtlichen Bedingungen genutzt, um Baumarten unterschiedlicher waldgeografischer und damit klimatischer Herkunft miteinander in eine Wechselwirkung zu bringen, die das ökologische Gesamtrisiko auf der Ebene des Bestandes, des Betriebes und der Region erheblich senkt (Jenssen *et al.* 2007).

Das Ziel sind Wälder, die eine größere Amplitude von Umweltbedingungen in unterschiedlicher Richtung abpuffern können und die sich einem dauerhaft ausbildenden Trend aus sich heraus, weitgehend in Selbstorganisation oder zumindest mit einem geringen Aufwand an forstlicher Begleitung, anpassen können. Diese besondere Eigenschaft von Ökosystemen, sich ohne längere Sukzessionen und bei gleichzeitigem Erhalt ihrer Lebensfunktionen (C-Speicherung, Produktivität, Mikroklima etc.) unter veränderlichen Umweltbedingungen strukturell selbst zu organisieren, bezeichnen wir als ökologische Plastizität. Im Unterschied zum Konzept der ökologischen Resilienz (Holling 1973) oder Elastizität, das die Fähigkeit beschreibt, nach einer zumeist temporären Störung in den Ausgangszustand zurückzukehren, bezeichnen wir mit Plastizität eine dauerhafte „Verformung“ des Ökosystems, eine dauerhafte Anpassung seiner Strukturen an sich verändernde Umweltbedingungen.

Plastizität ist eine Eigenschaft auf verschiedenen Ebenen biologisch-ökologischer Systeme. Die Plastizität eines Baumes ist vor allem im Rahmen seiner physiologischen Anpassungsfähigkeit gegeben und folglich relativ begrenzt. Auf der Ebene der Population von Waldbäumen ist die Plastizität bereits größer, wenn die Ausgangspopulation eine hinreichend hohe genetische Diversität besitzt. Die Strukturanpassung erfolgt hier durch intraspezifische Konkurrenz in Selektionsprozessen, die vor allem während der frühen, sehr stammzahlreichen Entwicklungsstadien ablaufen. Auf der Ebene der Waldgesellschaft, also der miteinander vergesellschafteten Baumartenpopulationen erfolgt die Strukturanpassung zusätzlich über die interspezifische Konkurrenz. Die ökologische Plastizität einer Waldgesellschaft ist besonders hoch, wenn die konstituierenden Baumarten und deren Populationen selbst jeweils breite ökologische Amplituden abdecken. Diese Amplituden müssen sich einerseits im Bereich der aktuellen ökologischen Bedingungen überlappen und eine Vergesellschaftung ermöglichen, andererseits jedoch auch möglichst weite Bereiche künftig wahrscheinlicher klimatischer Szenarien abdecken.



**Abb.2:** Plastizität beschreibt eine dauerhafte Anpassung der Strukturen eines Ökosystems an sich verändernde Umweltbedingungen. So können von vier verschiedenen Baumarten (symbolisiert durch verschiedene Farben) in einem frühen Entwicklungsstadium des Bestandes in Abhängigkeit von der Entwicklung der Umweltbedingungen zu einem späteren Zeitraum verschiedene Kombinationen von z.B. jeweils zwei Baumarten im Bestand Dominanz erlangen.



**Abb.3:** Plastizität ist eine Eigenschaft auf verschiedenen Ebenen biologisch-ökologischer Systeme. Mit zunehmender hierarchischer Ebene und räumlicher Skala wachsen die möglichen Freiheitsgrade zur Erzeugung von Plastizität.

## II.1.2 Ökoklimatisch-waldgeografische und vegetationskundliche Grundlagen: natürliche Vorbilder klimaplastischer Wälder

Der Aufbau klimaplastischer Wirtschaftswälder orientiert sich an natürlichen Konstruktionsprinzipien. Damit wird das Prinzip der Bionik im Bereich des Waldbaus verstärkt angewandt. Natürliche Vorbilder sind vor allem Hainbuchen-Linden-Buchenwälder und Eichen-Buchenwälder, die sich heute in Fragmenten in einem Übergangsbereich zwischen atlantisch und kontinental getönten Klimaeinflüssen am Südrand des baltischen Buchenwaldareals nachweisen lassen. Dieser Bereich erstreckt sich als Gürtel zwischen der Weichselmündung und dem Thüringer Becken und zieht sich quer durch Brandenburg. Die in diesem Bereich erhöhte Klimavariabilität führt zu einem „hot spot“ natürlicher Baumartenvielfalt, die mit der Bodennährkraft zunimmt.

Die im natürlichen Buchenmischwald vertretenen Baumarten haben ihre klimatischen Verbreitungsschwerpunkte sowohl im westlich-subozeanischen (Buche, Esche, Sommer-Linde, Berg-Ahorn, Berg-Ulme, Vogel-Kirsche, Trauben-Eiche), im nordisch-subozeanischen (Birke, Eberesche, Aspe), im nordisch-kontinentalen (Kiefer), im östlich-subkontinentalen (Spitz-Ahorn, Flatter-Ulme, Winter-Linde, Hainbuche) sowie im südlich-submediterran getönten (Feld-Ahorn, Elsbeere, Wildbirne, Feld-Ulme) Klima. Baumarten wie die Stiel-Eiche oder der Wildapfel ziehen sich in ihrer Verbreitung weit über den eurasischen Kontinent. Diese Baumarten werden in Abhängigkeit von den Bodenbedingungen in unterschiedlicher Kombination und unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und waldbaulicher Aspekte in standortsspezifische Zielstrukturen des klimaplastischen Waldes integriert.

### Zur Methodik der Untersuchungen:

Die Erarbeitung der waldgeografischen und vegetationskundlichen Grundlagen klimaplastischer Wälder basieren auf umfangreichen Auswertungen der im Ergebnistext zitierten Bearbeitungen. Zentraler Baustein bildeten Kartierungen der Potenziellen Natürlichen Vegetation (PNV), deren Methodik von Tüxen begründet und seitdem von zahlreichen Autoren weiter entwickelt wurde (Tüxen 1956; Kowarik 1987; Härdtle 1995; Leuschner 1997; Zerbe 1997; Schmidt 1998; Bohn & Neuhäusl 2000, 2003; Schmidt *et al.* 2002; Jenssen & Hofmann 2003; Hofmann & Pommer 2005). Aus Gründen der praktischen Ergebnisanwendung wird die PNV auf die heutigen Standortsverhältnisse bezogen (heutige Potenzielle Natürliche Vegetation). Ihrem Wesen nach stellt sie somit ein Modell der Selbstorganisation der Vegetation unter ökologischen Rahmenbedingungen dar, die vom Menschen selbst verändert wurden (Jenssen & Hofmann 2003; Jenssen 2008). Die sich ohne direkte menschliche Einwirkung selbst organisierenden Vegetationszustände der Standorte stellen als bisheriges Ergebnis der nacheiszeitlichen Waldentwicklung eine weitgehend ausgewogene Balance zwischen Angepasstheit an bestehende und Anpassungsfähigkeit an sich verändernde Umweltbedingungen dar. Die „Ausgewogenheit“ oder „Optimalität“ einer solchen Balance gilt dabei immer vor dem Hintergrund der bisherigen „Systemgeschichte“, die ganz wesentlich von der in der Vergangenheit wirksamen, bisherigen Variabilität der Umweltbedingungen bestimmt wird. Angesichts der sich abzeichnenden, im Vergleich zum bisherigen nacheiszeitlichen Klimawandel außerordentlich rasant verlaufenden anthropogenen Klimaschwankungen kann nicht ohne weiteres davon ausgegangen werden, dass in jedem Fall eine hohe heutige Naturnähe der Artenzusammensetzung

auch eine hinreichende Anpassungsfähigkeit an die neuartigen und in ihren Auswirkungen auf die Ökosysteme schwer vorhersagbaren zukünftigen Umweltveränderungen sicherstellt. Die Plastizität der Ökosysteme kann jedoch entschieden erhöht werden, wenn sich Waldentwicklungsplanungen an den natürlichen Vegetationspotenzialen solcher Regionen orientieren, die bereits heute durch eine erhöhte Klimavariabilität gekennzeichnet sind. Dieser Umstand war ein Grund zur Auswahl der NEWAL-NET-Modellregion, die einen Ausschnitt von Nordost-Brandenburg und Südost-Mecklenburg-Vorpommern im Übergangsbereich zwischen atlantischer und kontinentaler Klimaausprägung umfasst.

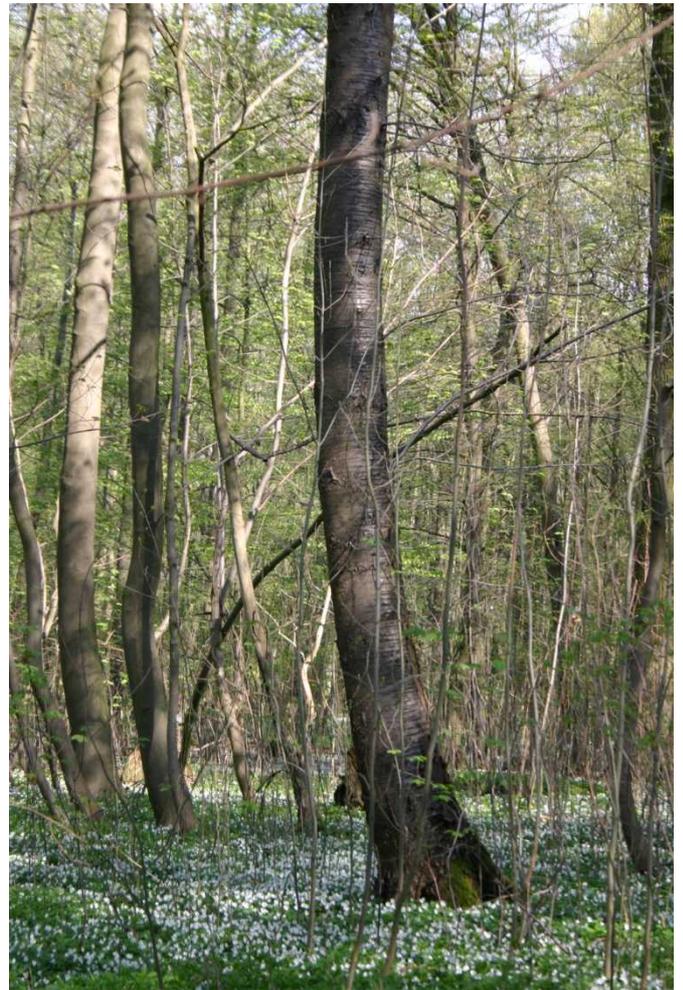
Eine entscheidende Arbeitsgrundlage bildete die Kartierung der PNV, also der sich selbst organisierenden Vegetationszustände in der NEWAL-NET-Modellregion. Diese Kartierung erfolgte durch Prof. Dr. Gerhard Hofmann und Ulf Pommer auf der Grundlage der aktuellen PNV-Kartierungen für Brandenburg (Hofmann & Pommer 2005) und Mecklenburg-Vorpommern (Kiphuth & Weinauge 2005). Dabei wurden die Kartierungseinheiten der Landeskarten angepasst, die Legende vereinheitlicht und die Karte durch lokale Bearbeitungen inhaltlich präzisiert.

Mitteleuropa ist aufgrund des Wirkens der Eiszeiten im Vergleich mit Nordamerika oder Ostasien relativ arm an heimischen Baumarten. Gemessen an mitteleuropäischen Verhältnissen zeigt sich jedoch gerade im ostdeutschen Tiefland bei der Analyse naturnaher Waldgesellschaften eine relativ hohe Diversität von knapp vierzig Baumarten, die seit der letzten Eiszeit die Region erreicht haben. Bemerkenswert ist, dass diese Baumarten ein außerordentlich breites Spektrum unterschiedlicher geografischer Herkunft und damit auch eine breite Amplitude von klimatischen Verhältnissen abdecken (Meusel *et al.* 1965; Meusel *et al.* 1978; Oberdorfer 1990; Meusel & Jäger 1992). Das ist die entscheidende Grundlage, um die heimischen Baumarten als Strukturelemente klimaplastischer Waldaufbauformen einzusetzen.

Die breiteste Amplitude besitzen Baumarten wie die Stiel-Eiche (*Quercus robur*), der Wildapfel (*Malus sylvestris*) oder die Schwarz-Erle (*Alnus glutinosa*), die sich in ihrer Verbreitung weit über den eurasischen Kontinent, von Westeuropa bis in den Fernen Osten ziehen. Von den nordischen Baumarten, die ihren Schwerpunkt im borealen Nadelwaldgebiet besitzen, sind z.B. die Sand-Birke (*Betula pendula*) und die Moor-Birke (*Betula pubescens*) oder die Eberesche (*Sorbus aucuparia*) in ihrer Verbreitung stärker an die Küsten angelegt, während nordisch-kontinentale Baumarten wie die Kiefer (*Pinus sylvestris*) oder die Fichte (*Picea abies*) von Natur aus eine Konzentration in klimatisch kontinental getönten Regionen besitzen. Heimische Baumarten mit subkontinentalem Verbreitungsschwerpunkt sind der Spitz-Ahorn (*Acer platanoides*), die Flatter-Ulme (*Ulmus laevis*), die Winter-Linde (*Tilia cordata*) oder die Hainbuche (*Carpinus betulus*). Ihre Verbreitung umfasst die ost- bis mitteleuropäischen Laubwälder, sie fehlen jedoch sowohl an den Küsten als auch in den asiatischen Laubwaldgebieten. Aber selbst präalpine Baumarten wie die Weißtanne (*Abies alba*), die ihre Hauptverbreitung im Umkreis der süd-mittel-osteuropäischen Hochgebirge besitzen, finden sich vereinzelt in natürlichen Fichtenwald-Vorposten auf Sonderstandorten der Lausitz, die durch sehr saure, z.T. extrem staunasse anmoorige Mineralböden und ein auf Grund von besonderer

Geländeausformung kühl-luftfeuchtes Lokalklima gekennzeichnet sind (Hofmann & Pommer 2005).

Aber auch submediterrane Baumarten mit Verbreitungsschwerpunkt im nordmediterranen Flaumeichengebiet sind im Verlauf der nacheiszeitlichen Waldentwicklung nach Brandenburg vorgedrungen. Zu diesen Baumarten gehören neben der Flaum-Eiche (*Quercus pubescens*), die sich vereinzelt in Wärme liebenden Trockenwäldern auf kalkhaltigen Sonnhängen des unteren Odertals findet, auch die Elsbeere (*Sorbus torminalis*), der Feld-Ahorn (*Acer campestre*, Abb. 4), die Wildbirne (*Pyrus pyraster*) oder die Feld-Ulme (*Ulmus minor*).



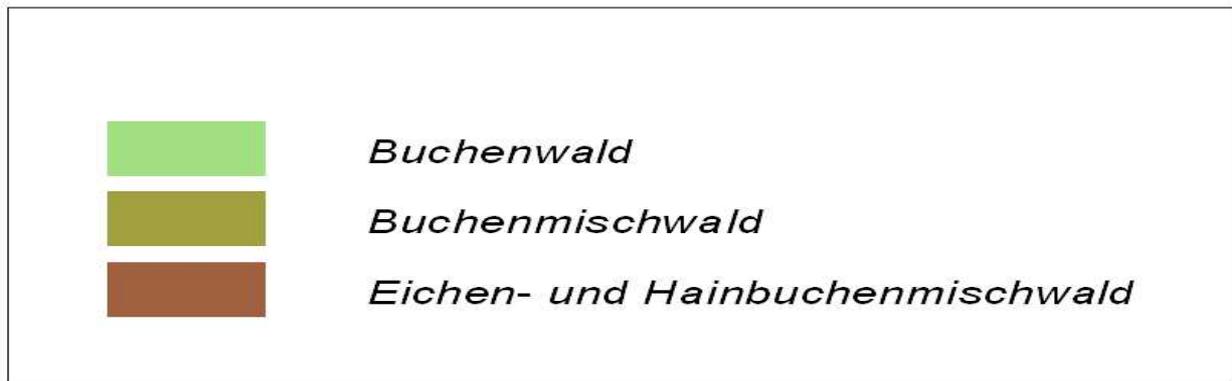
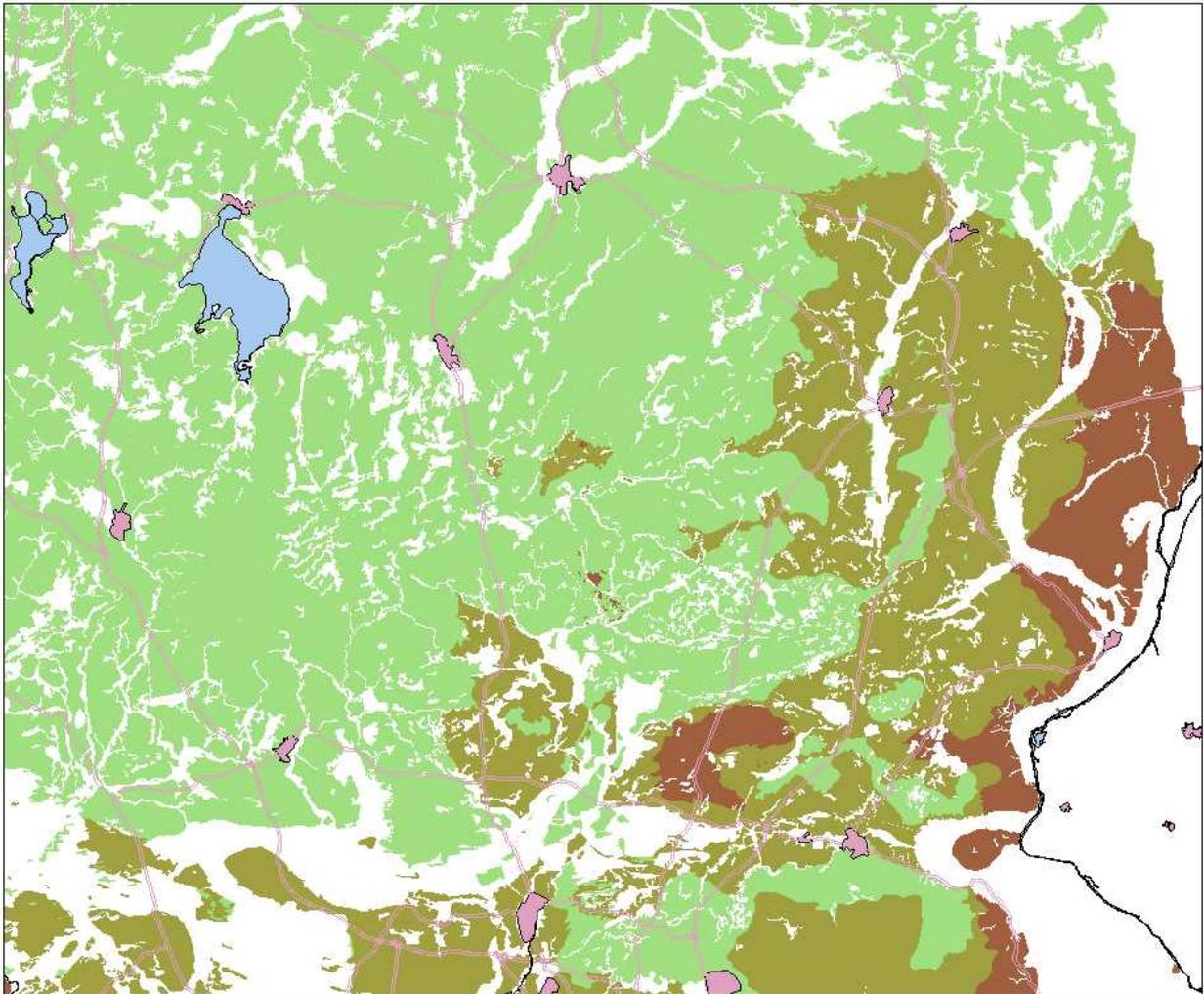
**Abb. 4 (links):** Der Feld-Ahorn hat seinen Verbreitungsschwerpunkt im nordmediterranen Flaumeichengebiet. Das Foto zeigt ein stattliches Exemplar aus einem nordostbrandenburgischen Winterlinden-Hainbuchen-Buchenwald auf nährstoffreichem Standort (NSG Zichow, Foto: M. Jenssen).

**Abb. 5 (rechts):** Seltene Baumarten wie die Vogel-Kirsche sind Bestandteil der oberen Baumschicht von selbst organisierten Winterlinden-Hainbuchen-Buchenwäldern auf reicheren und hinreichend feuchten Standorten im klimatischen Übergangsbereich (NSG Zichow, Foto: M. Jenssen).

Subatlantische Baumarten mit Massenverbreitung in den Laubwaldgebieten des westlichen Mitteleuropa sind vor allem die Rot-Buche (*Fagus sylvatica*), die Trauben-Eiche (*Quercus petraea*), der Berg-Ahorn (*Acer pseudoplatanus*), die Vogel-Kirsche (*Prunus avium*, Abb. 5), die Esche (*Fraxinus excelsior*), die Sommer-Linde (*Tilia platyphyllos*) und die Berg-Ulme (*Ulmus glabra*). Von Nordwesten drängt die Stechpalme (*Ilex aquifolium*) als eine typisch atlantische, eng an die europäischen Küsten gebundene Art nach Mecklenburg und bis in die Prignitz vor.

Das Makroklima in der NEWAL-NET-Modellregion (Südost-Mecklenburg-Vorpommern, Nordost-Brandenburg) wird durch das Wechselspiel von Einflüssen des Meeres über Westwetterlagen und denen des Kontinents über Ostwetterlagen bestimmt, wobei vor allem Höhe und jahreszeitliche Verteilung des Niederschlags zu einer deutlichen Vegetationsdifferenzierung führen (Abb. 6). Im nordwestlichen Teil der Modellregion und auf den höher gelegenen Partien der nordöstlichen Endmoränen erlauben Jahresniederschläge von über 580 mm und Jahresmittel der relativen Luftfeuchte von über 83 % die natürliche Ausbildung von Wäldern, in denen die obere Baumschicht auf grundwasserfernen Standorten absolut von der Rotbuche dominiert wird. Lediglich im Übergang zu grundfeuchten Bodenverhältnissen können hier je nach Bodennährkraft Stiel-Eiche, Berg-Ahorn und Esche dauerhaft am Bestandaufbau teilnehmen. In Teilen der Schorfheide, wo die Jahresniederschläge teilweise deutlich unter 530 mm liegen und die Jahresmittel der relativen Luftfeuchte 80 % unterschreiten, verliert die Rot-Buche ihre Wald gestaltende Kraft gänzlich. Hier bestimmen von Natur aus auf den ärmeren Sandböden vor allem die heimischen Eichenarten, auf den sehr armen Binnendünen vor allem die Wald-Kiefer das Vegetationspotential. In einem schmalen, den Oderlauf begleitenden Geländeband fallen die Jahresniederschläge auf Werte zwischen 430 und knapp über 500 mm. In dieser von kontinentalen Klimazügen geprägten Trockenwaldregion wird das terrestrische Bewaldungspotential einerseits durch Stiel- und Trauben-Eiche sowie Wald-Kiefer, ergänzt durch Flaum-Eiche, andererseits durch Feld-Ahorn und Feld-Ulme bestimmt. In einem Übergangsbereich zwischen diesen Klimaregionen, der die Uckermark im Osten und den südlichen Teil der Modellregion im Norden von Berlin umfasst, kommt es zur Ausbildung von Eichen-Buchenwäldern und Winterlinden-Hainbuchen-Buchenwäldern, in denen die klimatischen Verhältnisse die natürliche Fähigkeit der Rot-Buche zum alleinigen Waldbildner deutlich einschränken. Dieser Gebietsteil der Modellregion ist Teil eines Gürtels, der sich am Südrand des baltischen Buchenwaldareals entlang erstreckt. Natürliche Buchen-Mischwaldvorkommen wurden auch in Nordwest-Polen, am Rande des Thüringer Keuperbeckens, an den Bördenrändern Sachsens und Sachsen-Anhalts und in Nordost-Bayern nachgewiesen (Libbert 1932; Weinitschke 1963; Hofmann 1974; Reichhoff *et al.* 2000; Bohn & Neuhäusl 2000, 2003; Schmidt *et al.* 2002). Die hier gegenüber den stärker ozeanisch, aber auch gegenüber den stärker kontinental geprägten Regionen erhöhte Klimavariabilität führt zu einem „hot spot“ der Baumartenvielfalt, die auf nährstoffreichen Standorten besonders stark ausgeprägt

ist (Abb. 8). Während sich auf mittleren bis nährstoffschwachen Sanden gleichwüchsige Mischungen aus Rot-Buche, Stiel- und Trauben-Eiche unter Beteiligung der Kiefer ausbilden, finden sich auf den nährstoffkräftigen Sand-Lehmen teilweise enge Mischungen der Rot-Buche vor allem mit Hainbuche und Winter-Linde, wobei auch die Flatterulme hinzutritt, die außerhalb dieses Gürtels eher in grundwassernahen Standortbereichen zu finden ist. Auf nährstoffreichen und kalkhaltigen Lehmen schließlich vermögen weitere Baumarten wie die Esche, die Vogel-Kirsche, die Sommer-Linde, Berg-, Spitz- und Feld-Ahorn und teilweise sogar die Elsbeere in das obere Kronendach vorzudringen. Bemerkenswert ist, dass die Anzahl der in der oberen Baumschicht vertretenen Arten unter den Bedingungen des Übergangsklimas größer ist als die Summe der Waldbildner unter subozeanischen und subkontinentalen Klimabedingungen. Ursache hierfür ist vor allem die unter den Bedingungen des Übergangsklimas bereits deutlich eingeschränkte Konkurrenzkraft der Rot-Buche, so dass sich im Ringen um Wuchsraum eine Reihe von Baumarten unterschiedlicher geografischer Herkunft und ökologischer Amplitude erfolgreich durchsetzen können.



**Abb. 6:** Verteilung der klimatisch bedingten Hauptgruppen der heutigen potenziellen natürlichen Waldgesellschaften auf grundwasserfreien Standorten in der NEWAL-NET-Modellregion Nordost-Brandenburg / Südost-Mecklenburg Vorpommern. In den Buchenwäldern (hellgrün) führt eine selbstorganisierte Waldentwicklung aufgrund der atlantischen Klimaeinflüsse zu einer weit gehenden Dominanz der Rot-Buche. Das buchenfeindliche, kontinental getönte Trockenklima in Odernähe und Teilen der Schorfheide führt auf mittleren bis nährstoffschwachen Sanden zur Ausbildung von (Kiefern)-Eichenmischwäldern, auf nährstoffkräftigen und nährstoffreichen Sand-Lehmen und Lehmen zur Ausbildung von Linden-Hainbuchenmischwäldern (rotbraun). In einer klimatischen Übergangszone (olivgrün) ist die Konkurrenzkraft der Rot-Buche herabgesetzt und es bilden sich Buchenmischwälder aus, in denen je nach den edaphischen Bedingungen zusätzlich Stiel- und Trauben-Eiche, Hainbuche, Winter-Linde und Ahornarten in nennenswerten Mengenanteilen auftreten.

	ozeanisch- subozeanisches Tieflandklima (über 580 mm Jahresniederschlag)	subozeanisch- subkontinentales Tieflandklima (580 bis 530 mm Jahresniederschlag)	subkontinentales Tieflandklima (unter 530 mm Jahresniederschlag)
<b>mittlere bis nährstoffschwache Sande</b>			
Obere Baumschicht			
Rot-Buche	█	█	
Stiel-Eiche	█	█	█
Trauben-Eiche		█	█
Wald-Kiefer		█	█
Untere Baumschicht			
Stechpalme	█	█	
Eberesche	█	█	
Sand-Birke	█	█	█
<b>nährstoffkräftige Sand-Lehme</b>			
Obere Baumschicht			
Berg-Ahorn	█	█	
Rot-Buche	█	█	
Hainbuche		█	█
Winter-Linde		█	█
Stiel-Eiche		█	█
Trauben-Eiche		█	█
Flatter-Ulme		█	█
Untere Baumschicht			
Elsbeere		█	
Eberesche		█	
Weißdorn		█	
Hainbuche	█	█	
Wildapfel		█	█
Wildbirne		█	█
<b>nährstoffreiche und kalkhaltige Lehme</b>			
Obere Baumschicht			
Rot-Buche	█	█	
Gemeine Esche	█	█	
Berg-Ahorn	█	█	
Sommer-Linde		█	
Spitz-Ahorn		█	
Flatter-Ulme		█	
Berg-Ulme		█	
Hainbuche		█	█
Winter-Linde		█	█
Feld-Ahorn		█	
Elsbeere		█	
Vogel-Kirsche		█	
Stiel-Eiche		█	
Trauben-Eiche		█	█
Untere Baumschicht			
Weißdorn		█	
Elsbeere		█	
Wildapfel		█	
Wildbirne		█	

**Abb. 7 (vorherige Seite):** Natürliche Potentiale der Vergesellschaftung einheimischer Baumarten in Abhängigkeit von Klimaausbildung und Bodennährkraft auf grundwasserfernen Standorten im mitteleuropäischen Tiefland. Die Dicke der Balken symbolisiert die relativen Mengenanteile der Baumarten in den Waldgesellschaften. Im Übergangsbereich zwischen subozeanischem und subkontinentalem Tieflandklima kommt es zu einem „hot spot“ der Vielfalt an Baumarten unterschiedlicher walddiagnostischer Verbreitung. Mischungen dieser Baumarten können sich veränderlichen Umweltbedingungen in ihrer Bestandesentwicklung vor allem durch Veränderung der relativen Mengenanteile der Baumarten anpassen. Sie dienen daher als Lernmenge für die Konstruktion klimaplastischer Waldentwicklungstypen (Jenssen *et al.* 2007).

Pollenanalysen belegen, dass solche Buchen-Mischwälder, wie wir sie heute in fragmentarischen Resten in schmalen Gürteln an den Rändern des baltischen und auch des herzynischen Buchenwaldareals vorfinden, während des Subboreals, also im Übergang von der Eichen-Mischwaldzeit zur Buchenzeit vor etwa 5 bis 2 Tausend Jahren für weite Teile des norddeutschen Tieflands charakteristisch waren (Müller 1969; Lange 1976; Kloss 1980). Mit dem sich abzeichnenden Klimawandel könnten solche Wälder als natürliches Vorbild für klimaplastische Wirtschaftswälder der Zukunft in weiten Teilen des nordmitteleuropäischen Tief- und Hügellandes wieder eine große Bedeutung gewinnen (Abb. 8).



**Abb. 8:** Forstlich bewirtschafteter Buchen-Mischwald mit Winter-Linde und Rot-Buche auf einem nährkräftigen Standort in Nordost-Brandenburg als Beispiel eines klimaplastischen Wirtschaftswaldes (Foto: G. Hofmann).

Angesichts erwarteter Klimaänderungen darf die heutige geographische Verteilung der potenziellen natürlichen Waldgesellschaften, die in weiten Teilen des nordwestlichen Mitteleuropa durch eine starke Vorherrschaft der Rot-Buche geprägt ist, nicht schablonenhaft auf der Waldfläche umgesetzt werden. Vielmehr geht es darum, natürliche Vegetationspotenziale zu nutzen, um durch gezieltes forstliches Handeln klimaplastische und multifunktionale Wirtschaftswälder zu entwickeln. Mit Blick auf die Geschwindigkeit, Intensität und Unbestimmtheit künftiger Klimaänderungen ist dabei eine Abweichung von der heutigen Waldnatur auf weiten Teilen der Waldfläche unvermeidlich.

Die heute von Natur aus auf einen schmalen Gürtel beschränkten natürlichen Eichen-Buchenwälder und Linden-Hainbuchen-Buchenwälder können sich veränderlichen Umweltbedingungen in ihrer Bestandesentwicklung vor allem durch Veränderung der relativen Mengenanteile der Baumarten anpassen. Sie dienen als Lernmenge für die Konstruktion klimaplastischer Waldentwicklungstypen für weite Teile der nordmitteleuropäischen Waldfläche, auf denen unter heutigen Klimaverhältnissen von Natur aus Buchenwälder vorherrschen würden. Mit der gezielten Nutzung natürlicher Konkurrenz- und Regenerationsprozesse und des evolutiven Potentials des natürlichen Genpools kann das bionische Prinzip im Waldbau verstärkt umgesetzt werden.

Viele der auf der Waldfläche zu etablierenden Baumarten kommen auf den jeweiligen Standorten zumindest in bestimmten Entwicklungsstadien und häufig nur in geringen Mengenanteilen natürlich vor. Um ihre Angepasstheit an die jeweiligen Standorte zu betonen, haben wir diese Baumarten an anderer Stelle auch als natürliche Standortsbaumarten bezeichnet (Jenssen & Hofmann 2003). Unter heutigen Klimabedingungen sind sie jedoch keine Bestandesbildner der Hauptwald- oder so genannten „Schluss“waldgesellschaften. In vielen Fällen wird es erforderlich sein, diese Baumarten etwa im Zuge von Waldumbaumaßnahmen künstlich einzubringen. Häufig finden sie sich jedoch bereits in der natürlichen Verjüngung ein und bedürfen der gezielten Förderung und Pflege durch den Wirtschaftler.

### **II.1.3 Dendroökologische Grundlagen: Reaktionsmuster von Baumartenpopulationen im sekundären Dickenwachstum**

Die Klimaplastizität von gruppenweisen, truppweisen und einzelbaumweisen Mischungen aus Buche, Hainbuche, Winter-Linde und Spitz-Ahorn wurde durch dendroökologische Untersuchungen im klimatischen Übergangsgebiet bestätigt. Starke Witterungsfluktuationen wie Trockenjahre und Trockenperioden, niederschlagsreiche Jahre und Perioden sowie Temperaturextreme führen zu teilweise ausgeprägt gegenläufigen Reaktionen des sekundären Dickenwachstums zwischen Populationen der Rot-Buche (subozeanischer Verbreitungsschwerpunkt) einerseits und der Baumarten Hainbuche, Winter-Linde und Spitz-Ahorn (subkontinentaler Verbreitungsschwerpunkt) andererseits. Dieser Befund wird folgendermaßen interpretiert: Die physiologischen Wachstumsreaktionen auf Witterungsfluktuationen sind für nicht miteinander konkurrierende Baumarten gleichsinnig, aber quantitativ unterschiedlich ausgeprägt. Die interspezifische Konkurrenz zwischen den Populationen verschiedener Baumarten führt jedoch zu gegensinnigen Reaktionen (Unterschied zwischen unmittelbarer und über die Waldgesellschaft vermittelter Wirkung), die bei lang anhaltenden Witterungstrends (Klimawandel) zu einer Veränderung der Mengenanteile der verschiedenen Baumarten führen kann. Diese Reaktionsmuster bilden die Grundlage der Klimaplastizität.

#### Zur Methodik der Untersuchungen:

Dendroökologische Untersuchungen erfolgten auf 6 Untersuchungsplots im klimatischen Übergangsgebiet der Modellregion mit unterschiedlichen Kombinationen von jeweils zwei Baumarten in gruppen- und einzelbaumweisen Mischungen. Die Plots hatten jeweils eine Flächengröße von 200 bis 1000 m<sup>2</sup> differenziert nach dem Alter bzw. der Stammzahl pro Flächeneinheit. Koordinaten, Brusthöhendurchmesser und Höhe der Bäume wurden vermessen und Angaben zur soziologischen Stellung (nach KRAFT) sowie zur Kronenausbildung dokumentiert. An ca. zwei Dritteln der Bäume auf den Untersuchungsplots wurde eine Bohrkernanalyse durchgeführt.

Die Bohrkern wurden mit Zuwachsbohrern der Länge 400 mm und einem Bohrkerndurchmesser von 5 mm am stehenden Stamm oberhalb des Wurzelanlaufs der ausgewählten Probestämme entnommen, ein ordnungsgemäßer Wundverschluss wurde unmittelbar nach der Bohrkernentnahme durchgeführt. Die Höhe der Bohrkernentnahme über dem Erdboden, die Durchmesser in 1,3 m Höhe sowie in Höhe der Bohrkernentnahme wurden erfasst. Die Analyse und digitale Erfassung der Bohrkern erfolgte nach Trocknung, Fixierung und mechanischer Nachbearbeitung unter dem hoch auflösenden Stereomikroskop am computergestützten Jahrringmessplatz der Fa. Rinntech, Heidelberg. In den Fällen, in denen die Markröhre mit der Bohrung nicht erfasst wurde, erfolgte eine Rekonstruktion des wahrscheinlichen Markabstandes vom letzten erfassten Jahrring anhand der Krümmung der Jahrringgrenzen mittels Schablone. Die erfolgten Datierungen wurden anhand dieser Informationen hinsichtlich ihrer Sicherheit bewertet. Die Auswertung der Jahrringsequenzen erfolgte mithilfe der Software TSAP-WIN (Version 0.53) der Fa. Rinntech, Heidelberg. Zur Erhöhung der Aussagesicherheit wurde jede Probe anhand der Chronologie der gesamten untersuchten Teilpopulation der jeweiligen Baumart mittels eines Crossdating-Verfahrens datiert. Auf diese Weise konnten z.B. Scheinjahrringe oder ausgefallene Jahrringe identifiziert und die Aussagesicherheit

erhöht werden. Aus dem Verlauf des sekundären Dickenwachstums wurden in Verbindung mit den meteorologischen Daten der Wetterstation Angermünde Informationen über Konkurrenz- und Wachstumsbedingungen der analysierten Bäume gewonnen und dokumentiert.

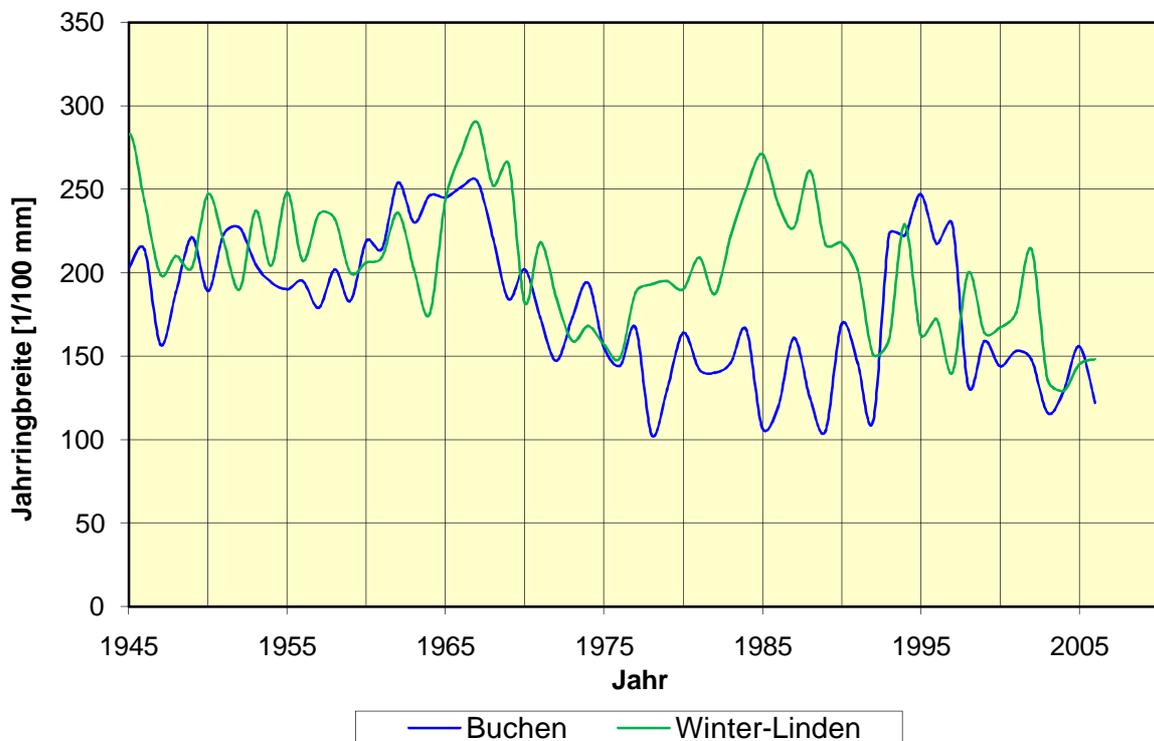


**Abb. 9:** Versuchsfläche Weberslinden in der Oberförsterei Chorin, Revier Senftenthal, Abteilung 129a auf nährkräftigem Standort (Standortsgruppe K2). Der Oberbestand besteht aus einer ca. 110 Jahre alten trupp- bis gruppenweisen Mischung aus Rot-Buche und Winter-Linde (Foto: M. Jenssen).

Untersucht wurden gruppen- und truppweise Mischungen der Rot-Buche (Baumart mit subozeanischem Verbreitungsschwerpunkt) einerseits mit Winter-Linde, Hainbuche und Spitz-Ahorn (Baumarten mit subkontinentalem Verbreitungsschwerpunkt) andererseits in Winterlinden-Hainbuchen-Buchenwäldern. Alle Bestände liegen im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin im klimatischen Übergangsgebiet zwischen subozeanischen und subkontinentalen Klimaeinflüssen. Die nahegelegene Wetterstation des DWD in Angermünde weist langjährige Jahresniederschläge um 540 mm aus, die Differenz der monatlichen Mitteltemperaturen zwischen Januar und Juli beträgt 18,7 K. Unter diesen Bedingungen sind die Konkurrenzkraft der Rot-Buche und damit ihre Fähigkeit zum alleinigen Waldbildner deutlich eingeschränkt. Die Wälder liegen im Jungmoränengebiet im Übergangsgebiet zwischen Grund- und Endmoräne des Pommerschen Stadiums der Weichselkaltzeit, sie stocken auf nährstoffkräftigen Braunerden (Standortsformengruppe K2). Unter diesen guten edaphischen

Verhältnissen können sich Winter-Linde und Hainbuche als natürliche Konkurrenten der Rot-Buche etablieren.

Der Bestand Weberslinden in der Oberförsterei Chorin, Revier Senftenthal, Abteilung 129a ist zur Saatgutgewinnung Winter-Linde anerkannt und wird forstlich bewirtschaftet (Abb. 9). Der Oberbestand besteht aus einer ca. 110 Jahre alten trupp- bis gruppenweisen Mischung aus Rot-Buche und Winter-Linde. Die Mittelhöhe beträgt 35,0 m, der Mitteldurchmesser der Rot-Buche beträgt 46,2 cm, der Mitteldurchmesser der Winter-Linde beträgt 51,8 cm. Die Stammzahl beträgt  $264 \text{ ha}^{-1}$ , davon entfallen 80 % auf Linde und 20 % auf Buche. Der Kronenschlussgrad beträgt 0,85, davon entfallen 60 % auf Linde und 40 % auf Buche.



**Abb. 10:** Verlauf des sekundären Dickenwachstums der Teilpopulationen aus Rot-Buchen (blau) und Winter-Linden (grün) auf der Versuchsfläche Weberslinden (Abb.9).

Vergleicht man den Verlauf des sekundären Dickenwachstums zwischen den Populationen von Rot-Buche und Winter-Linde während der vergangenen 60 Jahre, so wird ein bemerkenswertes Wechselspiel von sowohl gleichlaufenden als auch entgegengesetzten Wachstumsreaktionen deutlich (Abb. 10). Von besonderem Interesse sind das extreme Trockenjahr 1976 und die durch dieses Extremereignis ausgelöste folgende Periode, die über die niederschlagsarmen achtziger Jahre bis 1992 fort dauert. Beide Teilpopulationen zeichnen deutlich in 1976, dann jedoch gewinnt die Lindenpopulation einen deutlichen Konkurrenzvorteil gegenüber den Buchen. Man beobachtet einen in der Tendenz spiegelsymmetrischen Verlauf der

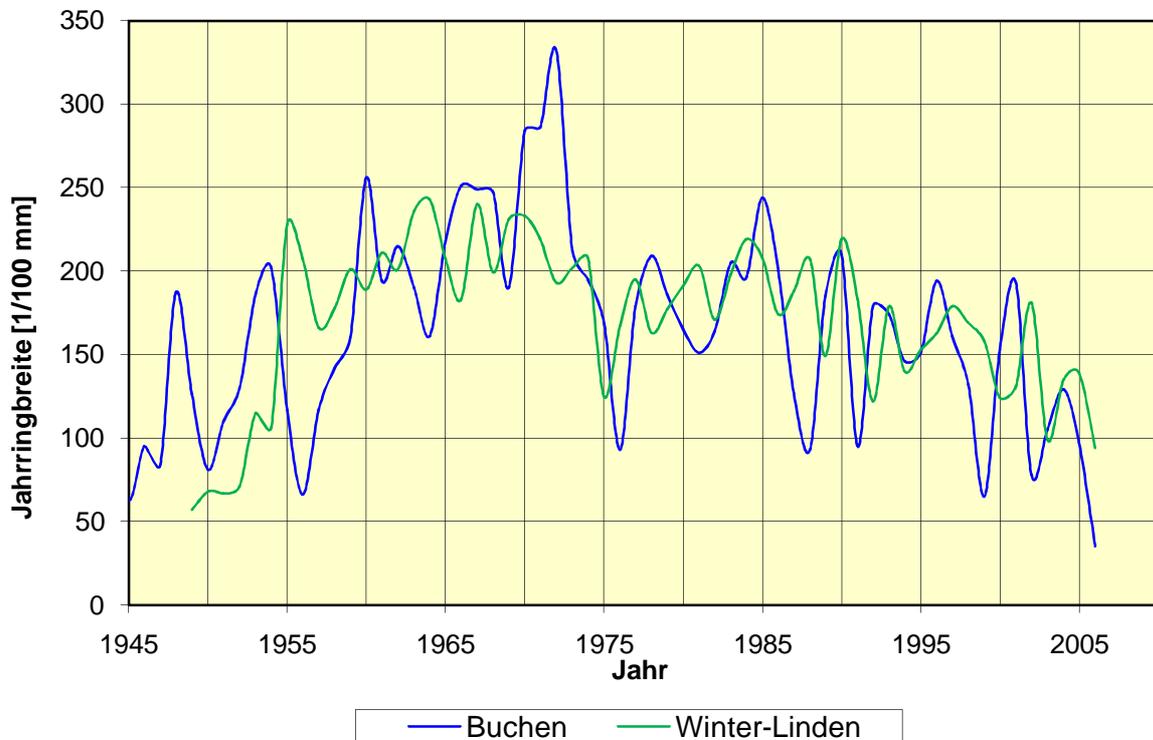
mittleren Jahrringkurven, gekennzeichnet durch gegensinnige Reaktionen im sekundären Dickenwachstum der beiden Populationen. Dieser Verlauf ist auf die interspezifische Konkurrenz zwischen den Baumarten zurückzuführen. Mit dem Einsetzen starker Niederschläge in der Vegetationsperiode 1993 beginnt eine verhältnismäßig niederschlagsreiche Periode, in der die Buchen ganz offensichtlich wieder eine stärkere Konkurrenzwirkung gegenüber den Linden entfalten. Dies äußert sich darin, dass die mittleren Jahrringkurven der beiden Populationen bei fortgesetzt gegensinnigen Reaktionen ihre Rangfolge signifikant „vertauschen“ und die Buche nun gegenüber der Linde ein deutlich stärkeres sekundäres Dickenwachstum aufweist.



**Abb. 11:** Versuchsfläche Redernswalde I in der Stiftung Schorfheide-Chorin, Abteilung 710a auf nährkräftigem Standort (Standortsgruppe K2). Der Oberbestand besteht aus einer ca. 60 Jahre alten gruppenweisen Mischung aus Rot-Buche und Winter-Linde (Foto: M. Jenssen).

Mit der Versuchsfläche Redernswalde in der Stiftung Schorfheide-Chorin, Oberförsterei Chorin, Revier Grumsin, Abteilung 710a wurde ein deutlich jüngerer und stammzahlreicherer Mischbestand aus Rot-Buche, Winter-Linde und Hainbuche in das Versuchsprogramm aufgenommen. Wahrscheinlich hat sich dieser Bestand um 1945 nach starken Holzentnahmen in einem von Eichen dominierten Forst selbst organisiert und ist auch in seiner weiteren Entwicklung nicht bewirtschaftet worden. Der Untersuchungsplot Redernswalde I besteht aus einer ca. 60 Jahre alten gruppenweisen Mischung aus Winter-Linde und Rot-Buche (Abb. 11). Die Mittelhöhe

beträgt 23,9 m, der Mitteldurchmesser der Rot-Buche beträgt 17,9 cm, der Mitteldurchmesser der Winter-Linde beträgt 20,7 cm. Die Stammzahl beträgt  $1684 \text{ ha}^{-1}$ , davon entfallen 90 % auf Linde und 10 % auf Buche. Das Kronendach des Bestandes ist nahezu geschlossen.



**Abb. 12:** Verlauf des sekundären Dickenwachstums der Teilpopulationen aus Rot-Buchen (blau) und Winter-Linden (grün) auf dem Untersuchungsplot Redernswalde I (Abb.11).

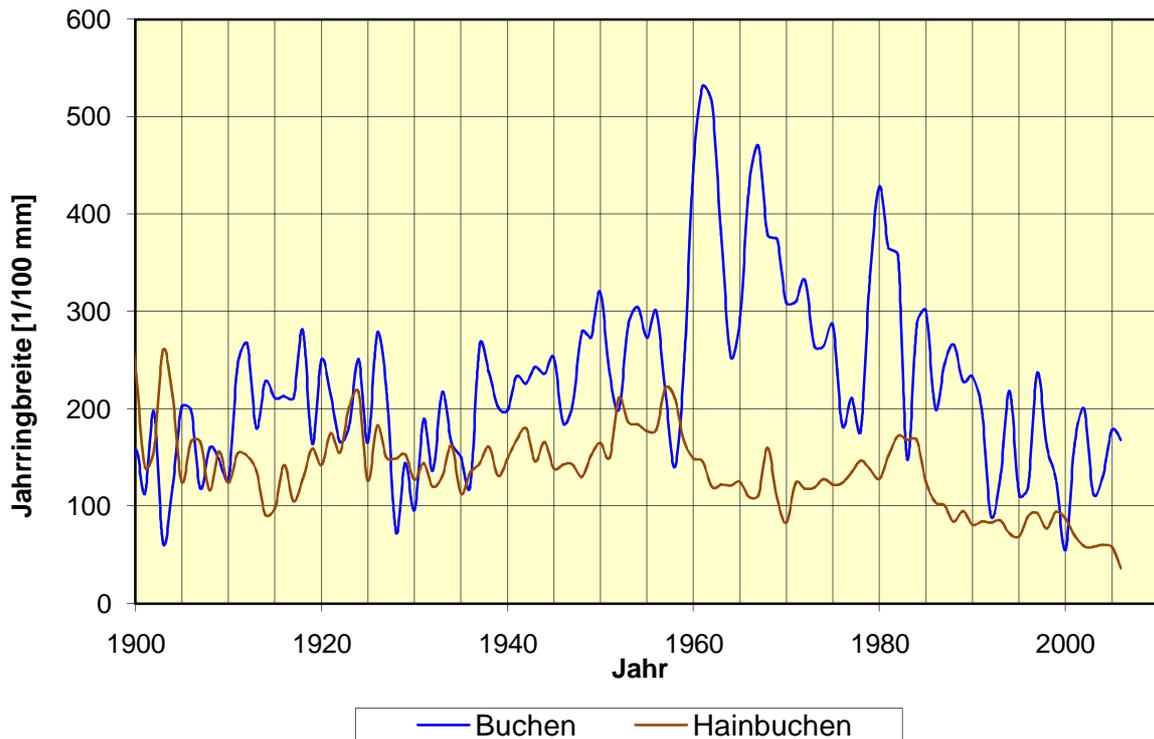
Der Bestand befindet sich im Stadium des angehenden Baumholzes, d.h. in einer noch sehr stammzahlreichen Entwicklungsphase. Die Kronenentfaltung ist immer noch relativ gering, in der Konkurrenz unterlegene Bäume wurden in der bisherigen Bestandesgeschichte relativ schnell überwachsen und sind heute ausgeschieden. Aus diesem Grunde zeigt der heute noch vorhandene Teil des Bestandes im Vergleich zu dem älteren Bestand in Weberslinden (Abb. 10) auch keine längeren Phasen der Konkurrenzüberlegenheit der einen oder der anderen Baumart, sondern ein im mehrjährigen Mittel ausgeglichenes sekundäres Dickenwachstum beider Arten, das in der physiognomischen Homogenität des Bestandes eine Entsprechung findet (Abb. 11). Betrachtet man jedoch einzelne Jahre oder kürzere Perioden, so beobachtet man auch hier wieder die ausgeprägten gegenläufigen Wachstumsreaktionen. So ist ein deutlicher Anstieg der mittleren Jahrringzuwächse der Buchen z.B. zwischen 1970 und 1972 mit einem entsprechenden Abfall der mittleren Jahrringzuwächse der Linden verbunden, die umgekehrte Reaktion kann man z.B. zwischen 1986 und 1988 beobachten. Die Konkurrenzwechselwirkung zwischen den Baumarten führt dazu, dass dieselben Umweltfaktoren zu gegensinnigen Reaktionen in beiden Populationen führen. Eine weitere interessante Beobachtung ist auch, dass die Fluktuationen im sekundären Dickenwachstum der Buchen unter den gegebenen ökologischen Bedingungen stärker ausgeprägt sind als

bei den Linden, die Buchenpopulation also in diesem frühen Entwicklungsstadium sensitiver auf variable Umweltbedingungen zu reagieren scheint.



**Abb. 13:** Versuchsfläche Bugsinsee in der Oberförsterei Grimnitz, Revier Voigtswiese, Abteilung 3504 auf anlehmigem Sand (Standortsgruppe K-2). Der Oberbestand besteht aus einer zwischen 79 und 115, im Mittel 105 Jahre alten truppweisen Mischung aus Rot-Buche, Hainbuche und vereinzelt Winter-Linden (Foto: M. Jenssen).

Der Bestand Bugsinsee in der Oberförsterei Grimnitz, Revier Voigtswiese, Abteilung 3504 besteht aus einer truppweisen Mischung von Hainbuche, Rot-Buche und vereinzelt Winter-Linden (Abb. 13). Er unterliegt forstlicher Bewirtschaftung. Die Alter der untersuchten Hainbuchen liegen zwischen 79 und 143 Jahren (Altersspanne 64 Jahre), im Mittel bei 104 Jahren. Die Alter der untersuchten Rot-Buchen liegen zwischen 91 und 110 Jahren (Altersspanne 19 Jahre), im Mittel ebenfalls bei 104 Jahren. Eine angebohrte Linde war 109 Jahre alt. Die Mittelhöhe des Bestandes beträgt 27,8 m, wobei die Hainbuchen mit 25 m im Mittel etwas geringwüchsiger als die Rot-Buchen und Winter-Linden mit ca. 31 m waren. Der Mitteldurchmesser der Rot-Buche beträgt 52,5 cm, der Mitteldurchmesser der Hainbuche beträgt 29,0 cm und der Mitteldurchmesser der Winter-Linde beträgt 58,0 cm. Die Stammzahl beträgt  $364 \text{ ha}^{-1}$ , davon entfallen 82 % auf Hainbuche, 15 % auf Buche und 3 % auf Linde. Das Kronendach des Bestandes ist nahezu geschlossen.



**Abb. 14:** Verlauf des sekundären Dickenwachstums der Teilpopulationen aus Rot-Buchen (blau) und Hainbuchen (braun) auf der Versuchsfläche Bugsinsee (Abb.13).

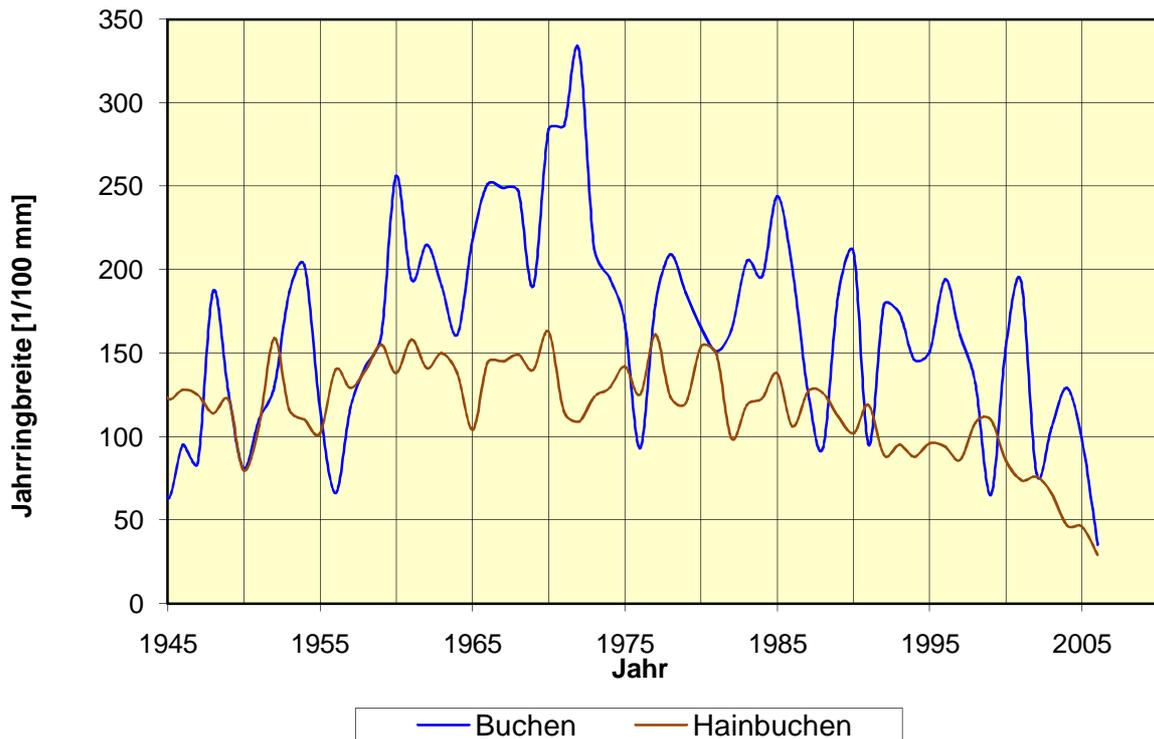
Aufgrund ihrer höheren Holzdichte und geringeren Dimension liegen die Jahrringzuwächse der Hainbuche im Mittel deutlich unter denen der Rot-Buche (Abb. 14). Auffällig ist der 1960 einsetzende starke Anstieg des sekundären Dickenwachstums der Rot-Buche, der mit einem entsprechenden Rückgang bei der Hainbuche korrespondiert. Ohne weitere Informationen kann nicht geklärt werden, ob diese Reaktion Ergebnis einer plötzlichen Freistellung der bis dato wahrscheinlich in unterdrückter Stellung aufgewachsenen Buchen darstellt (Abräumung eines Vorbestandes?). Auffällig ist auch der deutlich ausgeprägte Rückgang im sekundären Dickenwachstum bei der Hainbuche während der letzten Jahrzehnte, der mit dem in diesem Alter typischen Nachlassen ihrer Wuchsdynamik erklärt werden kann. Dies würde im Einklang mit dem Befund stehen, dass die Mittelhöhe der Hainbuchen um 5 m unter derjenigen der Buchen und Linden liegt. Die bereits in den Mischungen von Buche mit Linde beobachteten gegenläufigen Wachstumsreaktionen sind auch in der Mischung von Buche mit Hainbuche gut erkennbar.



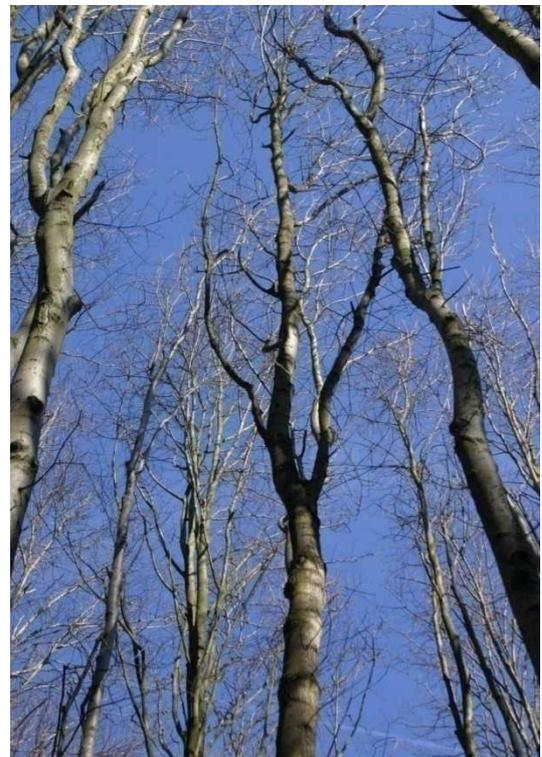
**Abb. 15:** Versuchsfläche Redernswalde II in der Stiftung Schorfheide-Chorin, Abteilung 710a auf nährkräftigem Standort (Standortsgruppe K2). Der Oberbestand besteht aus einer ca. 60 Jahre alten gruppenweisen Mischung aus Rot-Buche und Hainbuche (Foto: M. Jenssen).

Der dem Untersuchungsplot Redernswalde I (Abb. 11) in der Stiftung Schorfheide-Chorin unmittelbar benachbarte Plot Redernswalde II (Abb. 15) besteht aus einer ca. 60 Jahre alten gruppenweisen Mischung aus Hainbuche und Rot-Buche und gehört zu demselben selbstorganisierten Bestand, der mosaikartig aus buchen-, hainbuchen- und lindenreichen Mosaiken aufgebaut ist. Die Mittelhöhe beträgt 21,9 m, der Mitteldurchmesser der Rot-Buche beträgt 23,2 cm, der Mitteldurchmesser der Hainbuche beträgt 17,3 cm. Die Stammzahl beläuft sich auf  $1413 \text{ ha}^{-1}$ , davon entfallen 85 % auf Hainbuche und 15 % auf Buche. Das Kronendach des Bestandes ist nahezu geschlossen.

Ähnlich wie in den gleichalten Mischungen von Buche mit Linde, ist auch in der Mischung mit Hainbuche in dieser stammzahlreichen Entwicklungsphase ein über längere Phasen zwischen den Populationen ausgeglichenes Verhalten im sekundären Dickenwachstum zu verzeichnen, während in einzelnen Jahren häufig gegenläufige Wachstumsreaktionen zu verzeichnen sind. Auch wenn die witterungsbedingten Wachstumsreaktionen von der stadialen Entwicklungsdynamik überlagert werden, sind die unterschiedlichen Reaktionen etwa nach dem Trockenjahr 1976 oder in den niederschlagsreichen Jahren ab 1993 sowie die gegenüber der Rot-Buche deutlich schwächer ausgeprägte Witterungssensitivität erkennbar.



**Abb. 16:** Verlauf des sekundären Dickenwachstums der Teilpopulationen aus Rot-Buchen (blau) und Hainbuchen (braun) auf der Versuchsfläche Redernswalde II (Abb.15).

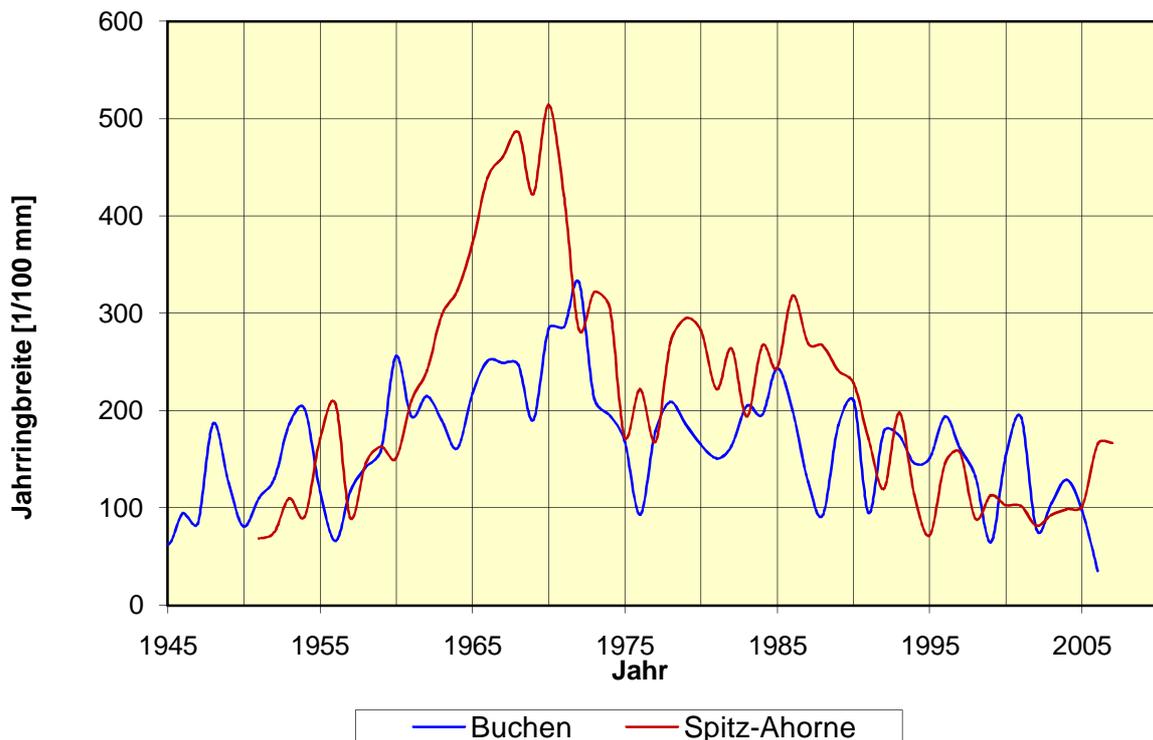


**Abb. 17:** Untersuchungsplot Redernswalde III in der Stiftung Schorfheide-Chorin, Abteilung 710a auf nährkräftigem bis nährstoffreichem Standort (Standortsgruppe K2-R2). Der Oberbestand besteht aus einer ca. 60 Jahre alten gruppenweisen Mischung aus Rot-Buche, Winter-Linde und Spitz-Ahorn (Fotos: M. Jenssen).

Im Rahmen eines Schülerforschungsprojektes wurden auf der Versuchsfläche in Redernswalde zusätzliche Exemplare des Spitz-Ahorns mit Messvorrichtungen zur Erfassung des Stammabflusses instrumentiert und ebenfalls dendroökologisch

analysiert. Die Spitzahorne sind auf einer nährkräftigen bis nährstoffreichen Lehmkuppe einzelbaumweise in den Grundbestand aus Rot-Buche und Winter-Linde gemischt (Abb. 17).

Die Alter der analysierten Bäume liegen zwischen 47 und 57 Jahren, im Mittel bei 50 Jahren, die Mittelhöhe beträgt 26,6 m, der Mitteldurchmesser in Brusthöhe beträgt 28,4 cm. Der unmittelbar umgebende Bestand aus Linden und Buchen wurde nicht analysiert, der Vergleich erfolgt mit der Buchenpopulation der benachbarten Untersuchungsplots Redernswalde I und II (Abb. 18)



**Abb. 18:** Verlauf des sekundären Dickenwachstums der Teilpopulationen aus Rot-Buchen (blau) und Spitz-Ahornen (rot) auf der Versuchsfläche Redernswalde III (Abb.17).

Das für den Spitz-Ahorn typische starke Jugendwachstum äußert sich auch im sekundären Dickenwachstum der Spitz-Ahorn-Population, das um 1970 mit mittleren Jahrringbreiten um 5 mm kulminiert. Der Spitz-Ahorn zeigt die am stärksten ausgeprägte Gegensinnigkeit zu den witterungsbedingten Reaktionen der Buchenpopulation, was mit hoher Sicherheit auch auf die einzelbaumweise Einmischung in den Grundbestand zurückzuführen ist. Jedes Exemplar der Population ist fast ausschließlich von Buchen oder Linden umgeben. Die Ahorne sind mit einem Zeitversatz von im Mittel 10 Jahren gegenüber dem Grundbestand vermutlich in kleineren Lücken aufgewachsen und dürften zwischen 1970 und 1975 das Kronendach erreicht haben, womit sie in unmittelbare Konkurrenzwechselwirkung mit dem umgebenden Bestand getreten sind. Diese Wechselwirkung zeigt sich z.B. im extremen Trockenjahr 1976, wo

erstaunlicherweise sogar ein Anstieg des sekundären Dickenwachstums zu beobachten ist, der mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die stark verminderte Vitalität der benachbarten Buchen zurückzuführen ist. Sehr ausgeprägt zeichnet sich auch die temporäre relative Dominanz der Ahorne gegenüber den Buchen in der darauffolgenden Periode niederschlagsarmer Jahre ab, bis sich dann ab den frühen neunziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts das Bild zu Gunsten der Buchen wandelt.

Die dendroökologischen Untersuchungen der analysierten gruppenweisen, truppweisen und einzelbaumweisen Mischungen aus Buche, Hainbuche, Winter-Linde und Spitz-Ahorn bestätigen somit die aus der Konstruktion der heutigen PNV abgeleiteten Erkenntnisse zur Klimaplastizität von Winterlinden-Hainbuchen-Buchenwäldern auf nährstoffkräftigen Standorten im klimatischen Übergangsbereich. Starke Witterungsfluktuationen wie Trockenjahre und Trockenperioden, niederschlagsreiche Jahre und Perioden sowie Temperaturextreme führen zu teilweise ausgeprägt gegenläufigen Reaktionen des sekundären Dickenwachstums zwischen Populationen der Buche (subozeanischer Verbreitungsschwerpunkt) einerseits und der Baumarten Hainbuche, Winter-Linde und Spitz-Ahorn (subkontinentaler Verbreitungsschwerpunkt) andererseits. Damit konnte der durch interspezifische Konkurrenz vermittelte Mechanismus der Klimaplastizität auf der Ebene der Waldgesellschaft unter den ökologischen Bedingungen der Modellregion nachgewiesen werden (Abschnitt II.1.1, Abb. 3). Die aufgezeigten Fallbeispiele demonstrieren den Unterschied zwischen unmittelbarer und über die Waldgesellschaft vermittelter Wirkung von variablen Umweltfaktoren. In Reinbeständen der verschiedenen Baumarten sind die Wachstumsreaktionen auf Witterungsfluktuationen gleichsinnig, aber zwischen den Arten quantitativ unterschiedlich ausgeprägt. Die Konkurrenzwechselwirkung zwischen den Populationen verschiedener Baumarten führt jedoch zu gegensinnigen Reaktionen, die bei lang anhaltenden Witterungstrends oder einem gerichteten Klimawandel zu einer Veränderung der Mengenanteile der verschiedenen Baumarten führen kann. Diese Reaktionsmuster bilden die Grundlage der Klimaplastizität.

Aus den hier beschriebenen Untersuchungen verschiedener stadialer Entwicklungsphasen und unterschiedlicher räumlicher Mischungsformen können wichtige Erkenntnisse für die Begründung und Pflege klimaplastischer Waldbestände in der forstlichen Praxis abgeleitet werden (Abschnitt II.1.7 und II.1.9). In den zuletzt aufgezeigten einzelbaumweisen Beimischungen von Baumarten mit subkontinentalem Verbreitungsschwerpunkt (Redernswalde III) ist die im Vergleich zur Rot-Buche am stärksten ausgeprägte Gegensinnigkeit in den Wachstumsreaktionen auf die Niederschlagsverhältnisse in der Vegetationsperiode zu beobachten, abgemildert sind diese Reaktionen bereits in truppweisen (Weberslinden, Bugsinsee) oder gar in gruppenweisen Mischungen (Redernswalde I und II). In letzteren beschränken sich die Konkurrenzwirkungen auf die Randbereiche der Gruppen. Um eine frühzeitige Entmischung der Bestände bzw. unverantwortlich

hohe Pflegeaufwände und Qualitätsverluste zu vermeiden, bietet sich unter den derzeitigen klimatischen Bedingungen eine Begründung in horstweiser oder gruppenweiser Mischung an, die unter dem sich wandelnden Klima in gruppenweise oder truppweise Strukturen überführt werden. Zur Vermeidung vorzeitiger Entmischungen ist es weiterhin erforderlich, unterschiedliche Wuchsrhythmen der Baumarten zu berücksichtigen und ggf. einen zeitlichen Versatz bei dem Einbringen unterschiedlicher Baumarten zu organisieren (Abschnitt II.1.7).

## II.1.4 Zur Entwicklung klimaplastischer Laubmischwälder in der Modellregion unter der Annahme regionalisierter IPCC-Klimaszenarien

Die für das Modellgebiet Nordost-Brandenburg / Südost-Mecklenburg-Vorpommern regionalisierten IPCC-Klimaszenarien weisen für den Zeitraum bis 2100 einen Klimatrend als wahrscheinlich aus, der insbesondere subozeanische und submediterrane Klimatelemente (zunehmende Wintermilde, zunehmende Winter- und Frühjahrsfeuchtigkeit, verlängerte Vegetationsperiode, Anspannung des sommerlichen Wasserhaushalts) stärken würde (subozeanisches Laubmischwald-Klima mit submediterraner Tönung). Die zunehmende Sommertrockenheit würde in selbst organisierter Waldentwicklung in weiten Teilen der Modellregion die heute im potenziellen natürlichen Waldbild noch absolut dominierende Baumart Rot-Buche zugunsten anderer Laubbaumarten wie insbesondere der Trauben-Eiche, der Linden, der Hainbuche oder den Spitz-Ahornen zurückdrängen.

### Zur Methodik der Untersuchungen:

Die vorstehenden Analysen basieren auf den bioklimatischen Parametern und Indizes nach Rivas-Martínez und Mitarbeitern (Rivas-Martínez *et al.* 1999; Rivas-Martínez *et al.* 2002). Zur Erstellung eines weltweiten bioklimatischen Klassifikationssystems wurden von diesen Autoren ausschließlich global verfügbare Klimaparameter und hieraus durch einfache arithmetische Operationen berechenbare Indizes verwandt. Die Parameter und Indizes kamen zur Anwendung, wenn hoch signifikante Korrelationen zwischen bestimmten Grenzwerten dieser Größen und den Grenzen potenziell natürlicher Pflanzengemeinschaften nachgewiesen werden konnten. Im Rahmen unserer Untersuchungen wurden folgende Parameter und Indizes verwandt:

T	Mittlere Jahrestemperatur (°C)
T <sub>i</sub>	Mitteltemperatur für jeden Monat des Jahres (°C)
M	Durchschnittliche Maximumtemperatur des kältesten Monats des Jahres (°C)
m	Durchschnittliche Minimumtemperatur des kältesten Monats des Jahres (°C)
T <sub>min</sub>	Mitteltemperatur des kältesten Monats (°C)
T <sub>max</sub>	Mitteltemperatur des wärmsten Monats (°C)
P	Mittlere jährliche Niederschlagssumme (mm)
P <sub>i</sub>	Mittlere Niederschlagssumme für jeden Monat des Jahres (mm)
P <sub>s</sub>	Summe der mittleren Niederschläge in den Sommermonaten Juni, Juli und August (mm)
P <sub>w</sub>	Summe der mittleren Niederschläge in den Wintermonaten Dezember, Januar und Februar (mm)
P <sub>p</sub>	Summe der mittleren Niederschläge in den Monaten mit Mitteltemperaturen über 0°C (mm)
T <sub>p</sub>	Summe der Monatsmitteltemperaturen in den Monaten mit Mitteltemperaturen über 0°C (°C/10)
T <sub>ps</sub>	Summe der Monatsmitteltemperaturen in den Sommermonaten Juni, Juli und August (mm)
I <sub>c</sub>	Kontinentalitätsindex (mittlere Jahrestemperaturschwankung) $I_c = T_{max} - T_{min}$
I <sub>o</sub>	Ombrothermischer Index (Wasserhaushalt) $I_o = P_p / T_p$

$I_{os2}$	Ombrothermischer Index der zwei wärmsten Sommermonate (Sommerlicher Wasserhaushalt) $I_{os2} = P_{ps2} / T_{ps2}$
$I_t$	Thermizitätsindex (Wärmehaushalt) $I_t = T + m + M$
$I_{tc}$	Kompensierter Thermizitätsindex (Wärmehaushalt) $I_{tc} = T + m + M + f(I_c)$ $F(I_c) = 1$ für $9 < I_c < 18$ , $F(I_c) = 5$ für $18 < I_c < 21$

Aus einer GIS-Verschneidung der Karte der natürlichen Vegetation Europas (Bohn & Neuhäusl 2000, 2003) und den verfügbaren europäischen Klimadaten (Lieth *et al.* 1999; Rivas-Martínez *et al.* 2002) wurden Grenzwerte der aufgeführten Parameter und Indizes für die Verbreitung europäischer Buchen- und Buchenmischwälder ermittelt. Berücksichtigt wurden alle natürlichen Waldgesellschaften, in denen die Rot-Buche (*Fagus sylvatica*) als dominante Art in der Baumschicht auftritt.

Klimaprojektionen für die Modellregion wurden aus dem im Auftrag des Umweltbundesamtes erstellten statistischen Regionalisierungsmodell WETTREG abgeleitet (Spekat *et al.* 2007). Ausgewertet wurden die für insgesamt 130 Klima- und Niederschlagsmessstationen in Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg / Berlin projizierten Klimadaten jeweils für den Kontrolllauf 1961 bis 1990 sowie für die Zeiträume 2021 bis 2050 und 2071 bis 2100 entsprechend der IPCC-Klimaszenarien B1 und A1B. Aus einer GIS-Verschneidung der WETTREG-Daten für den Kontrolllauf 1961-1990 mit der Karte der potenziellen natürlichen Vegetation wurden Grenzwerte zur Abgrenzung der (reinen) Buchenwälder vom Eichen-Buchenwald bzw. Winterlinden-Hainbuchen-Buchenwald und von den Eichenwäldern bzw. Winterlinden-Hainbuchenwäldern in der Modellregion abgeleitet. Schließlich wurden die ermittelten Grenzwerte der ökoklimatischen Parameter und Indizes mit den für 12 Klimastationen in der Modellregion vorliegenden Daten der Klimaprojektionen bis 2100 verglichen.

Klimamodelle liefern keine Vorhersagen sondern Szenarien oder Projektionen, die mögliche Klimatrends beschreiben (Giorgi 2005; Krop-Kolb & Formayer 2005). Diese Projektionen beruhen auf bestimmten Annahmen über die künftige Entwicklung von das Klima beeinflussenden Faktoren und auf dem heutigen wissenschaftlichen Kenntnisstand. Andere Annahmen oder neue Erkenntnisse können zu anderen Projektionen führen.

Die Baumartenzusammensetzung klimaplastischer Wälder wird nicht aus diesen Projektionen abgeleitet sondern orientiert sich an den natürlichen Vorbildern der Eichen-Buchenwälder und Linden-Hainbuchen-Buchenwälder im klimatischen Übergangsgebiet zwischen ozeanischen und kontinentalen Klimaeinflüssen in der Modellregion. Diese Wälder enthalten Baumarten mit sehr unterschiedlichen waldgeografischen Verbreitungsschwerpunkten und damit auch sehr unterschiedlichen klimatischen Amplituden. Sie sind daher unspezifisch im Hinblick auf spezielle Klimatrends.

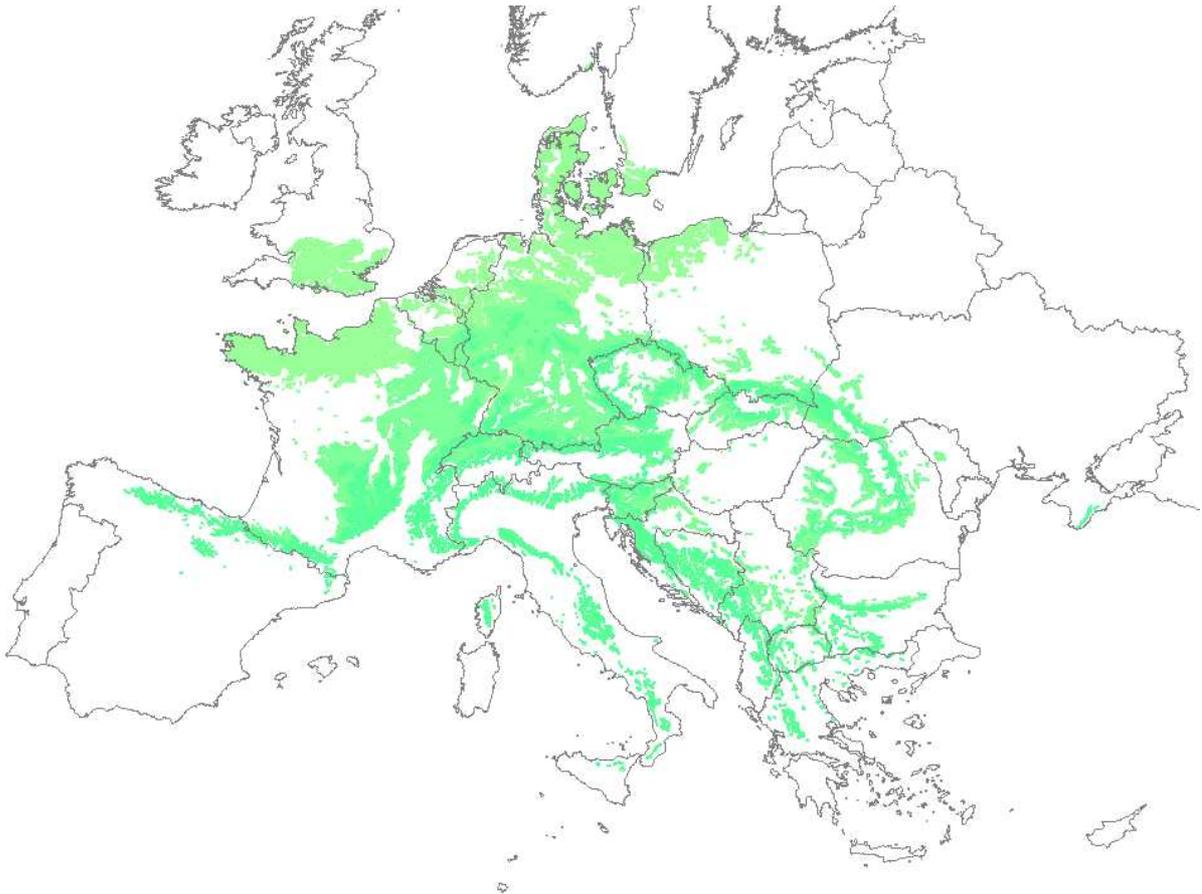
In diesem Abschnitt wird der Versuch unternommen, eine ökoklimatische Diagnose der natürlichen Buchenmischwälder vor dem Hintergrund vorliegender regionaler Klimaszenarien, also der nach heutigem Wissenstand als wahrscheinlich geltenden Klimaentwicklung zu stellen. Die hier verwandten WETTREG-Simulationen (Spekat *et al.* 2007) nutzen ein statistisches Verfahren, um aus dem globalen Klimamodell ECHAM 5 des MPI Hamburg Klimaprojektionen für das Netz der DWD-Wetterstationen abzuleiten. Diesem Regionalisierungsverfahren liegt die Annahme

zugrunde, dass die in der Vergangenheit beobachteten stabilen Beziehungen zwischen großräumigen atmosphärischen Zirkulationsmustern (Wetterlagen) und den lokalen Auswirkungen auf meteorologische Größen erhalten bleiben. Die unterschiedlichen IPCC-Szenarien bewirken jeweils spezifische Verschiebungen in der Häufigkeit von Wetterlagen.

Diese grundsätzliche „Modellphilosophie“ wird hier auch für die Ableitung von regionalen Projektionen selbstorganisierter Waldvegetationsentwicklung übernommen. Es wird angenommen, dass diejenigen Kombinationen ökoklimatischer Parameter und Indizes, die heute die Verbreitungsgrenzen der Waldgesellschaften bestimmen, auch unter den Bedingungen eines gewandelten Klimas ihre Bedeutung beibehalten werden. Die jeweiligen IPCC-Szenarien bewirken entsprechend dieser Annahme lediglich Verschiebungen in der Verbreitung der heute bekannten Waldgesellschaften. Tatsächlich jedoch kann nicht ausgeschlossen werden, dass neuartige Konstellationen von Umweltbedingungen auch zu neuen Vergesellschaftungen von Baumarten führen werden. Die folgenden Auswertungen tragen daher einen sehr hypothetischen Charakter und dienen vor allem der Veranschaulichung der Frage, welche Dimension ein möglicher klimabedingter Wandel der Waldvegetation haben könnte und in welchen Grenzen das Konzept klimaplastischer Wälder als Anpassungsstrategie an einen Klimawandel geeignet erscheint.

Aus der potenziellen natürlichen Verbreitung der europäischen Buchen- und Buchenmischwälder unter heutigen Klimabedingungen (Abb. 19) und den Daten europäischer Klimastationen wurden Spannweiten bioklimatischer Indizes berechnet (Abb. 21). Diese Spannweiten bezeichnen die ökologische Amplitude, innerhalb derer sich die Rot-Buche (*Fagus sylvatica*) in den Hauptstadien selbst organisierter Waldgesellschaften in der oberen Baumschicht behaupten kann. Demnach haben europäische Buchenmischwälder ihren Verbreitungsschwerpunkt im subozeanischen und gemäßigt subkontinentalen, kühlen bis mäßig warmen Klima unter humiden und subhumiden Bedingungen. Sie meiden weitgehend sommertrockene Lagen.

Zu beachten ist dabei, dass innerhalb der ausgewiesenen Amplituden nicht alle beliebigen Kombinationen von Indizes möglich sind. So dringen Buchenmischwälder in subkontinentale Klimate (Jahrestemperaturschwankungen zwischen 18 und 22 K) nur vor, wenn gleichzeitig hinreichend humide Verhältnisse gegeben sind. In diesen Fällen wird die Verbreitung der Buchenwälder vor allem durch die Wintertemperaturen (Frosthärte der Buche) begrenzt. Dies ist z.B. der Fall bei den montanen Buchenwäldern Südosteuropas oder auch an der nordöstlichen und nördlichen Verbreitungsgrenze der baltischen Buchenwälder.



**Abb. 19:** Potenzielle natürliche Verbreitung von Buchen- und Buchenmischwäldern, in denen die Buche als dominante Art in der Baumschicht auftritt, unter den heutigen Klimabedingungen (Bohn & Neuhäusl 2000, 2003).

Die sich durch Brandenburg ziehende südöstliche Verbreitungsgrenze der baltischen Buchen- und Buchenmischwälder wird hingegen nicht durch die Wintertemperaturen sondern durch den Wasserhaushalt während der Vegetationsperiode bestimmt (Abb. 21). Unter diesen subhumiden Bedingungen erweist sich die Jahrestemperaturschwankung im Bereich des Übergangs zwischen subozeanischem und subkontinentalem Klima als der am schärfsten zwischen den Waldklima-Regionen (s. Abb. 6) diskriminierende Index (Tab. 1).

Als nächstes wurde die Frage untersucht, inwieweit sich die heutige Verbreitungsgrenze der Buchenmischwälder unter verschiedenen Klimaszenarien verändert. Untersucht wurde das „niedrigere“ Emissionsszenario B1, das von einem Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis Mitte des 21. Jahrhunderts und einer deutlichen Abnahme bis 2100 ausgeht (CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Atmosphäre 540 ppm in 2100 im Vergleich zu 380 ppm heute durch Reduktion der Emissionen bis auf Stand vor 1990) und das „höhere“ Emissionsszenario A1B, das zwischen der Mitte des 21. Jahrhunderts und 2100 nur einen leichten Rückgang unterstellt (CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Atmosphäre 710 ppm in 2100 im Vergleich zu 380 ppm heute).

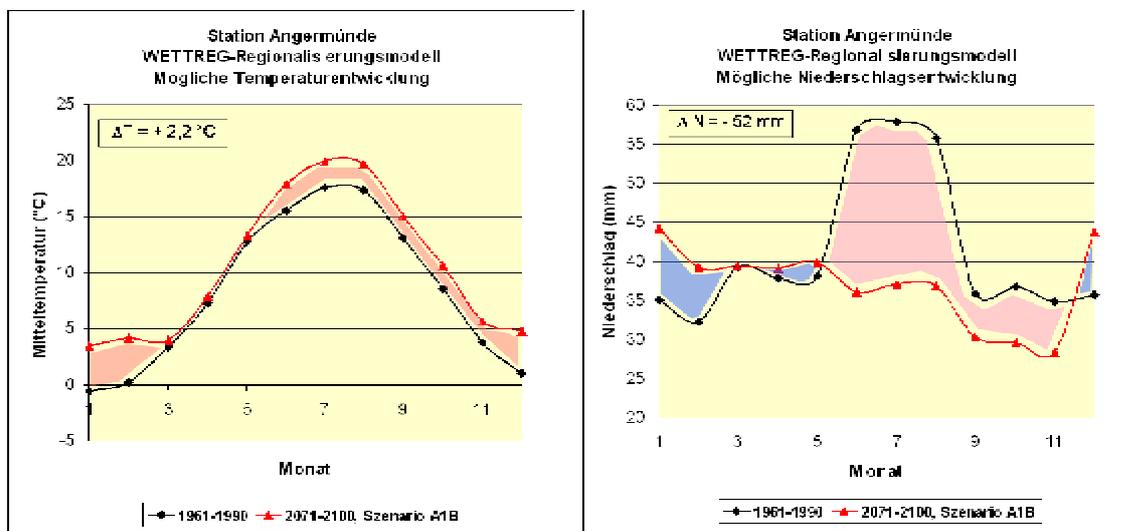
**Tab. 1:** Zuordnung der Klimastationen des DWD zu den klimatisch bedingten Hauptgruppen natürlicher Waldgesellschaften in Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg aufgrund der mittleren Kontrollläufe 1961-1990 des Klima-Regionalisierungsmodells WETTREG.

<b>Klimatisch bedingte Hauptgruppen natürlicher Waldgesellschaften</b>	<b>Jahrestemperaturschwankung (Kontinentalitätsindex) in K</b> $I_c = T_{\max} - T_{\min}$	<b>DWD-Klimastationen</b>
Buchenwälder	$I_c < 18$	Arkona, Putbus, Barth, Rostock-Warnemünde, Greifswald, Boltenhagen, Teterow, Ückermünde, Schwerin, Goldberg, Waren, Boizenburg, Marnitz, Neuglobsow, Neuruppin
Eichen-Buchenwälder Winterlinden-Hainbuchen-Buchenwälder	$18 \leq I_c \leq 18,5$	Angermünde, Zehdenick, Potsdam
Eichenwälder Winterlinden-Hainbuchenwälder	$I_c > 18$	Manschnow, Müncheberg, Lindenberg, Cottbus

Beide Szenarien weisen für die Region einen Klimatrend aus, der anhand von mittlerem jährlichen Niederschlags- und Temperaturverlauf beispielhaft für die unseren Versuchsflächen nächstgelegene Klimastation Angermünde (Abb. 20) und in den Spannweiten okoklimatischer Indizes für die gesamte NEWAL-NET-Modellregion (Abb. 21-23) dargestellt werden kann. Dieser Klimatrend ist durch zwei Hauptelemente gekennzeichnet. Zum einen wird die ozeanische gegenüber der kontinentalen Klimaprägung verstärkt, was sich in einer deutlich abnehmenden Jahrestemperaturschwankung äußert. Der zunehmende Einfluss des atlantischen Ozeans über verstärkt auftretende West- und Südwestwetterlagen ist nach den Szenarien in den Winter- und Frühjahrsmonaten zu beobachten. Für die abnehmende Jahrestemperaturschwankung ist eine zunehmende Wintermilde verantwortlich, die mit einer früher einsetzenden und insgesamt verlängerten Vegetationsperiode einhergeht. Gleichzeitig wird eine deutlich erhöhte Winterfeuchte und auch eine erhöhte Feuchte zu Beginn der Vegetationsperiode im zeitigen Frühjahr erwartet. Dieses Klimaelement ist grundsätzlich laubwaldfreundlich und insbesondere auch buchenwaldfreundlich.

Gleichzeitig jedoch deuten die Szenarien auf eine zunehmende submediterrane Tönung des Klimas hin, die sich in einer Nivellierung des jährlichen Niederschlagsverlaufs und einer sich verstärkt ausprägenden Sommertrockenheit äußert. Zahlreiche ökophysiologische Befunde belegen, dass die Rot-Buche im Vergleich zu den heimischen Eichen, Linden oder der Hainbuche gegenüber sommerlichem Trockenstress wesentlich sensitiver reagiert (Leuschner 1998;

Backes & Leuschner 2000; Rennenberg *et al.* 2004; Manthey *et al.* 2007), dies wird auch durch die im vorhergehenden Abschnitt II.1.3 dargestellten eigenen Untersuchungen belegt. Die zunehmende Sommertrockenheit würde in selbst organisierter Waldentwicklung in weiten Teilen der Modellregion die heute im potenziellen natürlichen Waldbild noch absolut dominierende Baumart Rot-Buche (Abb. 6) zugunsten der Mischbaumarten des klimaplastischen Waldes wie insbesondere der Trauben-Eiche, der Linden, der Hainbuche oder des Spitz-Ahorns zurückdrängen. Baumarten wie der Feld-Ahorn, die Elsbeere, die Wildbirne oder die Feld-Ulme aber auch die Flaum-Eiche würden in diesen Wäldern zunehmend Nischen finden.



**Abb. 20:** Wahrscheinliche Entwicklung ausgewählter Klimaparameter für den Zeitraum 2071 bis 2100 im Vergleich zu 1961 bis 1990 nach dem IPCC-Klimaszenario A1B im heutigen subozeanisch-subkontinentalen Übergangsklima des nordostdeutschen Tieflands.

Gerade aufgrund dieser im Hinblick auf die Konkurrenzkraft der Buche widersprüchlichen Elemente des projizierten Klimatrends würde sich eine lagegenaue Projektion der Verbreitungsgrenzen insbesondere zwischen reinen Buchenwäldern und Eichen-Buchenwäldern bzw. Winterlinden-Hainbuchen-Buchenwäldern für die nächsten 50 bis 100 Jahre als sehr spekulativ erweisen. Da die genetische Variation der Buche innerhalb der Bestände in Mitteleuropa sehr hoch ist (Konnert *et al.* 2000), kann eine hohe Klimaplastizität der Buche auf der Ebene der Waldbaum-Population (Abb. 3) und damit ein hohes Potenzial zur selektiven Anpassung an Trockenstress durchaus unterstellt werden. Aus der waldgeografisch-ökoklimatischen Analyse der natürlichen Vegetation Europas ergibt sich, dass die südwestliche Verbreitungsgrenze der Buchenmischwälder (Südwest-Frankreich, Nordost-Spanien) durch den sommerlichen Wasserhaushalt bestimmt wird. Ein ombrothermischer Index  $I_o$  von wenigstens 4,0 und ein ombrothermischer Index der zwei wärmsten Sommermonate  $I_{os2}$  von wenigstens 2,4 sind erforderlich, damit die

Rot-Buche zumindest auf Böden mit hinreichender Wasserhaltefähigkeit dauerhafter Bestandteil der herrschenden Baumschicht bleibt. Unter der Annahme, dass diese aus der südwestlichen Verbreitungsgrenze der Buchenwälder ermittelten Grenzwerte durch selektive Anpassung der Buchenpopulation im Modellgebiet auch realisiert werden können, kann somit zumindest die Verbreitungsgrenze zwischen Buchenmischwäldern auf der einen Seite und Eichen- bzw. Linden-Hainbuchen-Wäldern auf der anderen Seite projiziert werden. Die genannten Grenzwerte werden in beiden Klimaszenarien B1 und A1B innerhalb des Modellgebietes bis zum Jahr 2050 lediglich für die Station Manschnow unterschritten, die für das Trockenwaldgebiet an der Oder repräsentativ ist (Abb. 6). Damit kann es als durchaus wahrscheinlich gelten, dass der Großteil des heutigen potenziellen Buchen- und Buchenmischwaldgebietes der Modellregion zur Mitte des 21. Jahrhunderts als Buchenmischwaldgebiet anzusprechen ist. In Abhängigkeit von den Emissionsszenarien wird sich die Grenze der Buchenmischwälder zu den Eichenwäldern und Linden-Hainbuchen-Wäldern bis zum Ende des 21. Jahrhunderts jedoch sehr wahrscheinlich in westliche Richtung verschieben. Für das „höhere“ Emissionsszenario A1B, das von einer nur leichten Reduzierung der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen zwischen der Mitte und dem Ende des 21. Jahrhunderts und einem Anstieg der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration von derzeit 380 ppm auf 710 ppm ausgeht, verläuft die Buchenmischwaldgrenze um 2100 in Nord-Süd-Richtung etwa auf dem 12. Längengrad zwischen Rostock und Goldberg, d.h. bereits westlich der NEWAL-NET-Modellregion.

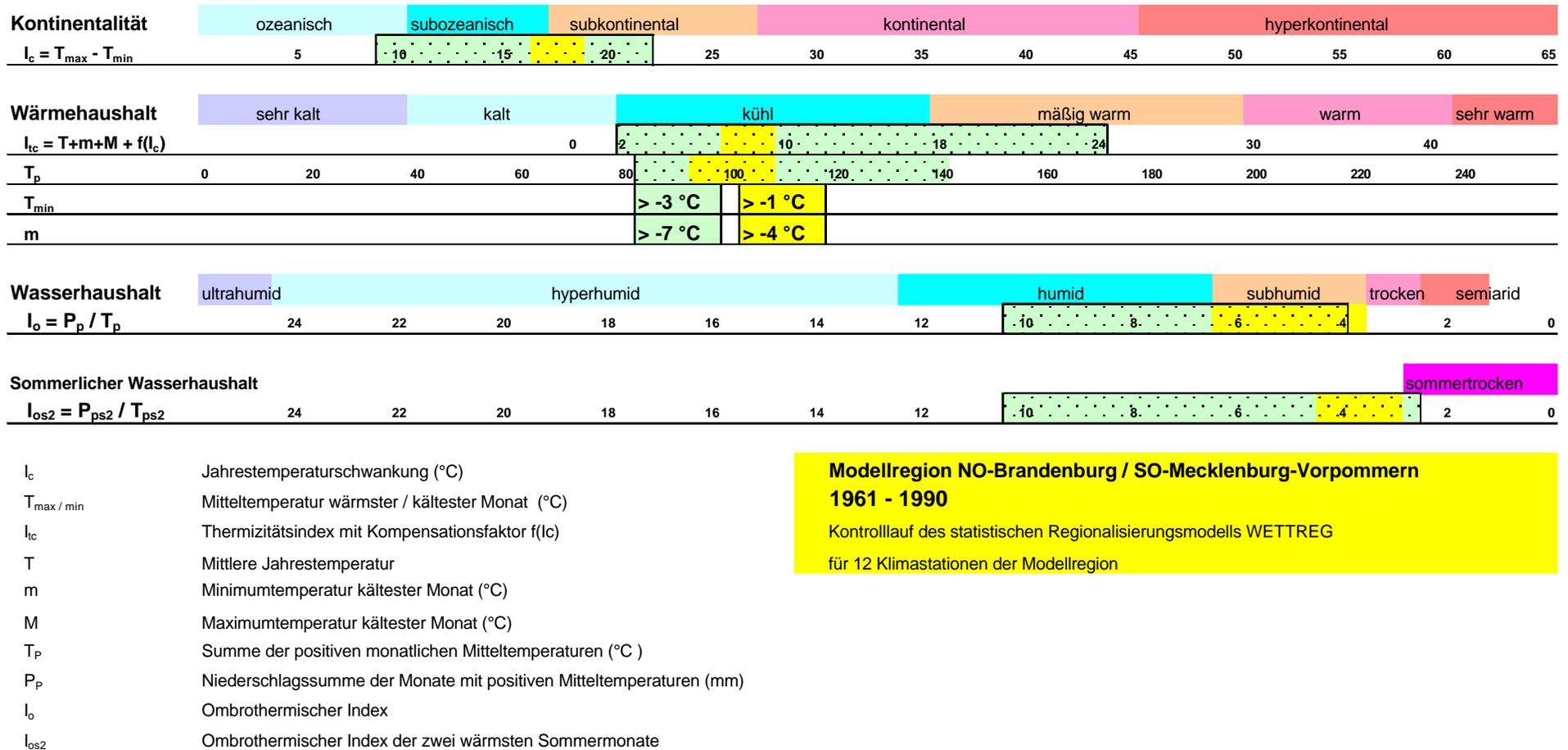
**Tab. 2:** Zuordnung der Klimastationen des DWD zu den klimatisch bedingten Hauptgruppen natürlicher Waldgesellschaften in Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg aufgrund des „höheren“ Emissionsszenarios A1B für den Zeitraum 2071-2100 des Klima-Regionalisierungsmodells WETTREG.

Klimatisch bedingte Hauptgruppen natürlicher Waldgesellschaften	Ombrothermischer Index $I_o$ (mm/K)	Ombrothermischer Index der zwei wärmsten Sommermonate $I_{os2}$ (mm/K)	DWD-Klimastationen
Buchenwälder, Eichen-Buchenwälder und Linden-Hainbuchen-Buchenwälder	$I_o \geq 4,0$	$I_{os2} \geq 2,4$	Rostock-Warnemünde, Boltenhagen, Schwerin, Goldberg, Boizenburg, Marnitz
Eichenwälder und Linden-Hainbuchenwälder	$I_o < 4,0$	ODER $I_{os2} < 2,4$	Arkona, Putbus, Barth, Greifswald, Teterow, Ückermünde, Waren, Neuglobsow, Angermünde, Zehdenick, Neuruppin Manschnow, Müncheberg, Potsdam, Lindenberg, Cottbus

Die vorstehende Analyse belegt ungeachtet aller bestehenden Unsicherheiten, dass die Eichen-Buchenwälder und Linden-Hainbuchen-Buchenwälder des klimatischen Übergangsgebietes der Modellregion als natürliche Vorbilder für klimaplastische Wirtschaftswälder geeignet sind. Der wahrscheinliche, für das norddeutsche Tiefland zu erwartende Klimatrend führt nicht in ein kontinental getöntes Waldsteppenklime, sondern in ein subozeanisches Laubmischwald-Klima mit submediterraner Tönung. Sollten die hier angenommenen Klimaszenarien eintreffen, würde die Rot-Buche aufgrund der erwarteten Sommertrockenheit im norddeutschen Tiefland mit zunehmender geografischer Länge (östlicher Lage) stärker an Konkurrenzkraft verlieren und die Bedeutung der Mischbaumarten der klimaplastischen Buchenmischwälder in gleichem Maße zunehmen. Während also vor allem am nördlichen und nordöstlichen Rand des baltischen Buchenwaldareals (Süd-Schweden, Baltikum) bei hinreichender Humidität aufgrund zunehmender Wintertemperaturen ein deutlicher Arealgewinn des Buchenwaldes zu erwarten ist (vgl. auch (Box & Manthey 2006)), ist an der durch das nordostdeutsche Tiefland verlaufenden südöstlichen Grenze der baltischen Buchenwälder aufgrund zunehmender Sommertrockenheit ein eher geringfügiger Arealverlust, aber eine deutliche Verbreiterung des Gürtels von Eichen-Buchenwäldern und Linden-Hainbuchen-Buchenwäldern nach Westen wahrscheinlich.

## Ökologische Diagnose der europäischen Buchen- und Buchenmischwälder

(Grundlagen: Karte der natürlichen Vegetation Europas, BfN 2000; Weltklimadaten; bioklimatische Klassifikation in Anlehnung an Rivas-Martínez et al. 1999)

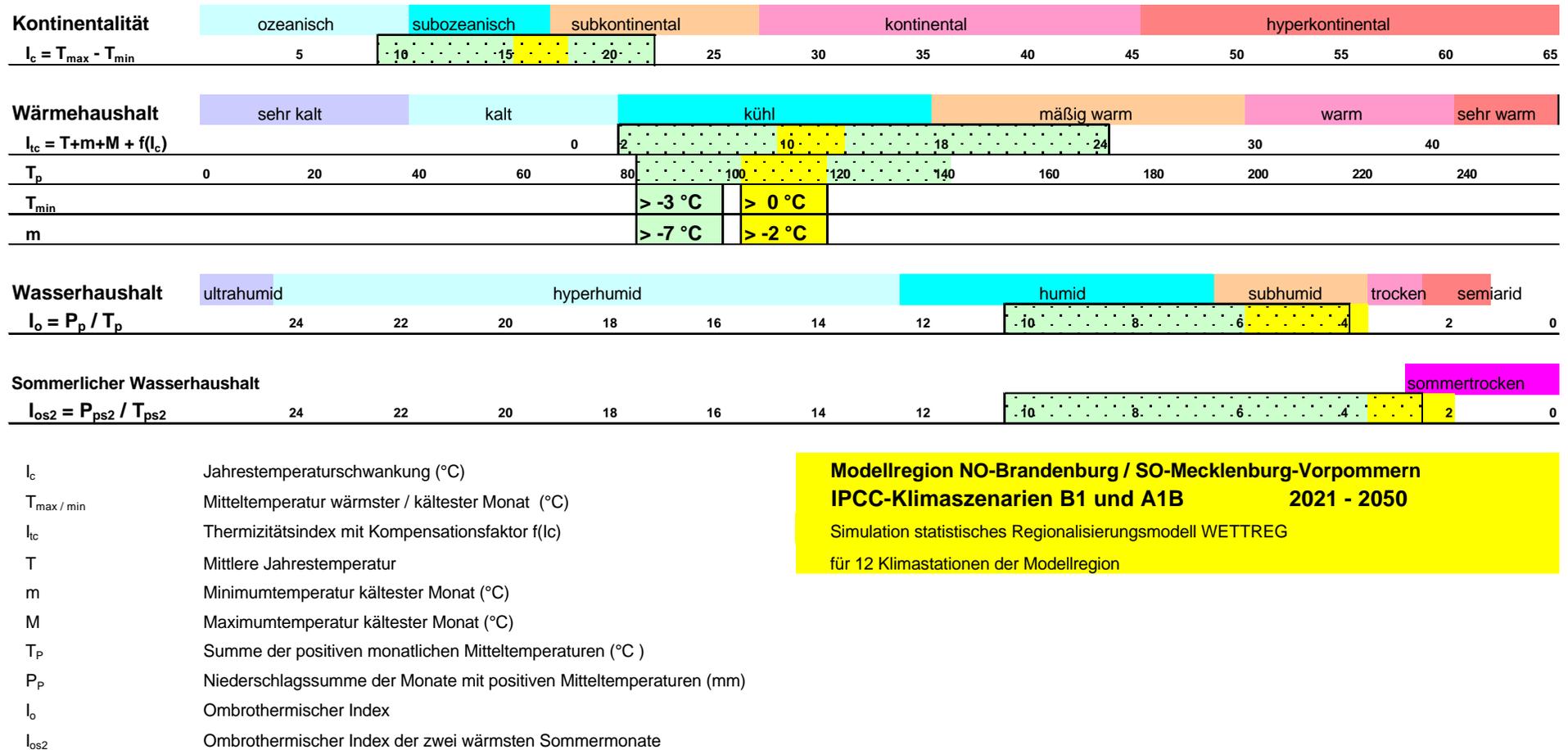


**Modellregion NO-Brandenburg / SO-Mecklenburg-Vorpommern  
 1961 - 1990**  
 Kontrolllauf des statistischen Regionalisierungsmodells WETTREG  
 für 12 Klimastationen der Modellregion

**Abb. 21:** Ökologische Diagnose der europäischen Laubwälder, in denen die Rot-Buche (*Fagus sylvatica*) dauerhafter Bestandteil der herrschenden Baumschicht ist (Abb. 19). Die Spannweiten der Indizes sind als grüne Balken eingezeichnet. Die gelben Markierungen kennzeichnen die klimatische Amplitude in der NEWAL-NET-Modellregion (Abb. 6) nach dem Kontrolllauf 1961-1990 des statistischen Regionalisierungsmodells WETTREG.

## Ökologische Diagnose der europäischen Buchen- und Buchenmischwälder

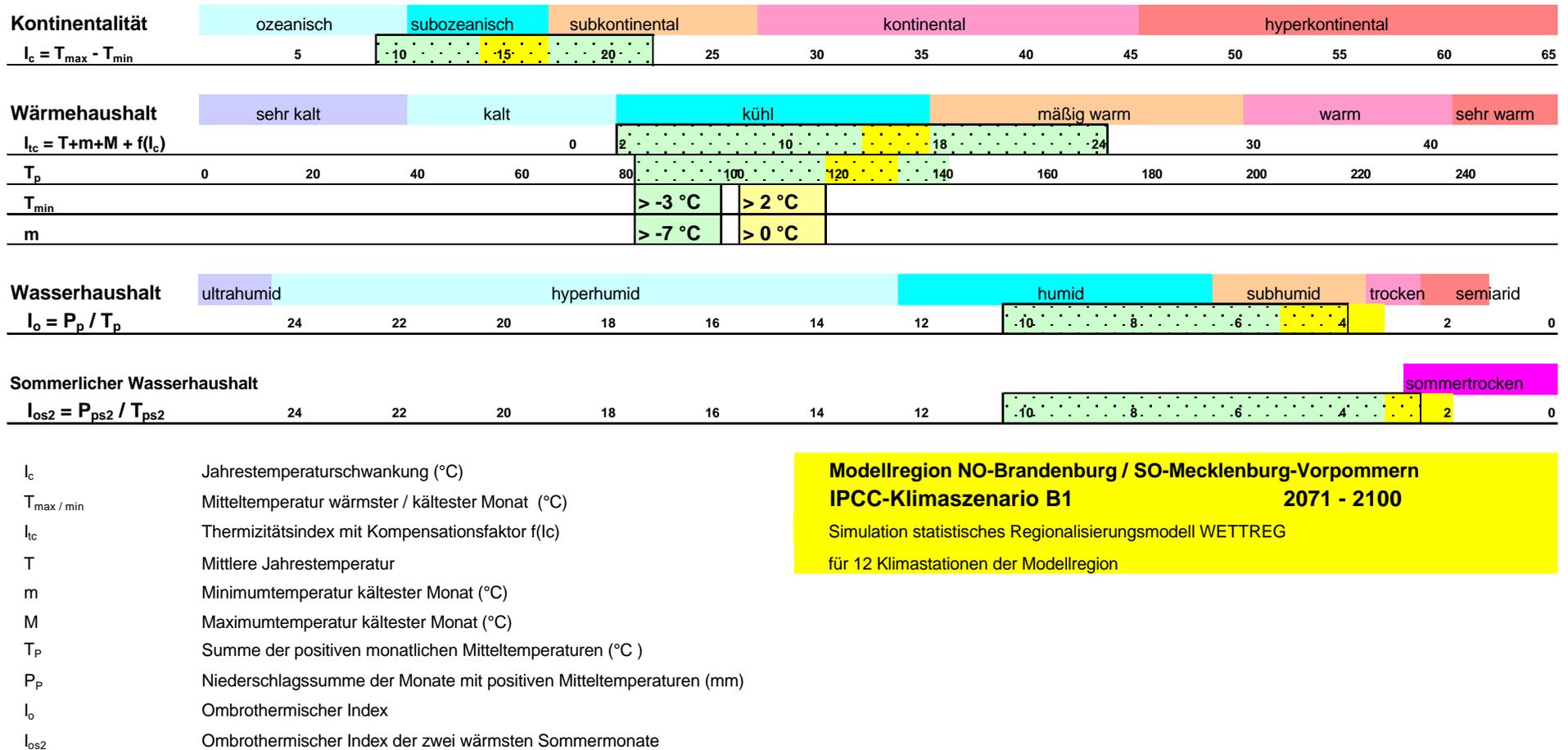
(Grundlagen: Karte der natürlichen Vegetation Europas, BfN 2000; Weltklimadaten; bioklimatische Klassifikation in Anlehnung an Rivas-Martínez et al. 1999)



**Abb. 22:** Spannweiten ökologischer Indizes in der NEWAL-NET-Modellregion nach den IPCC-Klimaszenarien B1 und A1B für den Zeitraum 2021-2050 nach dem WETTREG-Modell (gelb markiert) im Vergleich zur ökologischen Amplitude der europäischen Laubwälder, in denen die Rot-Buche (*Fagus sylvatica*) dauerhafter Bestandteil der herrschenden Baumschicht ist (grün markiert).

## Ökologische Diagnose der europäischen Buchen- und Buchenmischwälder

(Grundlagen: Karte der natürlichen Vegetation Europas, BfN 2000; Weltklimadaten; bioklimatische Klassifikation in Anlehnung an Rivas-Martínez et al. 1999)



### Modellregion NO-Brandenburg / SO-Mecklenburg-Vorpommern IPCC-Klimaszenario B1

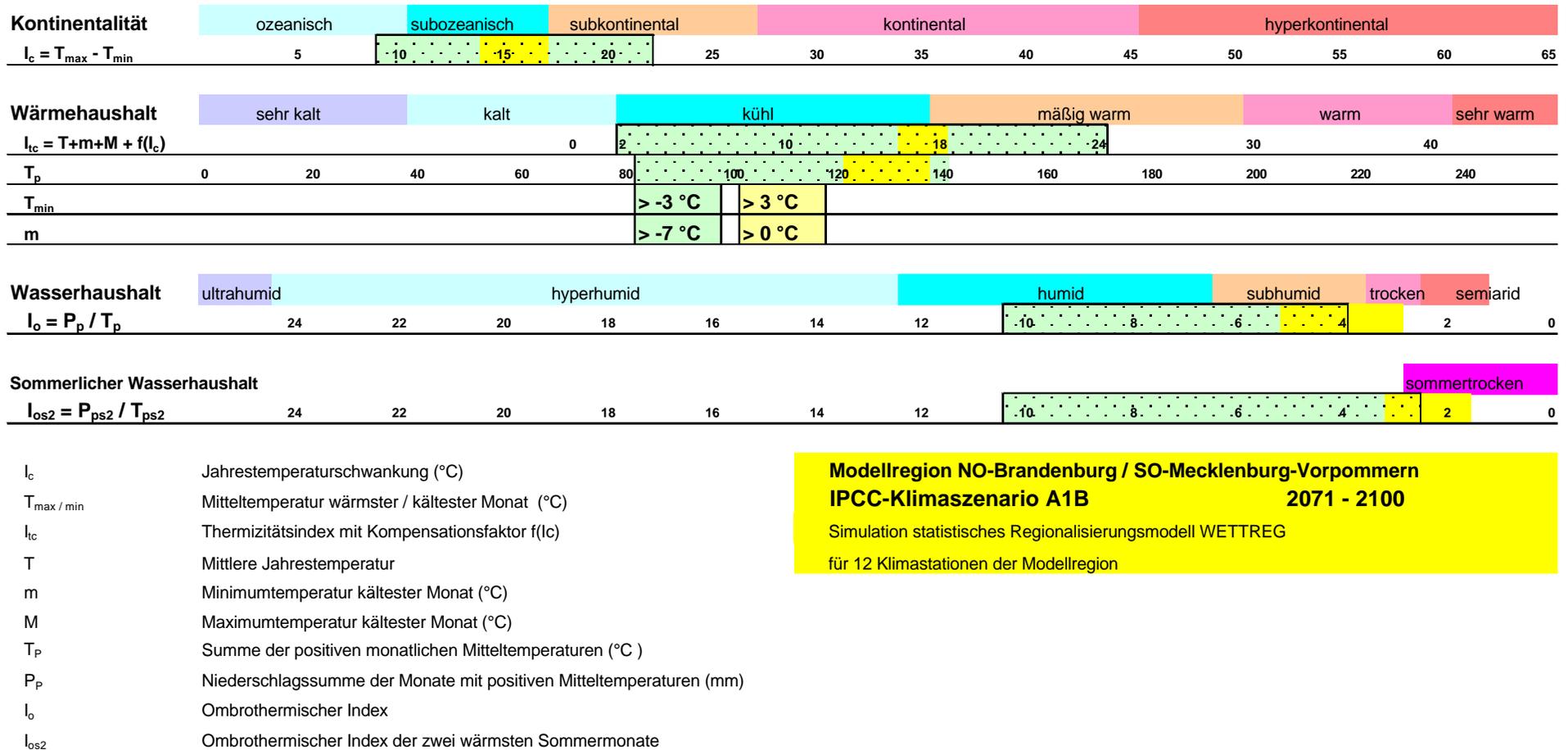
2071 - 2100

Simulation statistisches Regionalisierungsmodell WETTREG  
für 12 Klimastationen der Modellregion

**Abb. 23:** Spannweiten ökologischer Indizes in der NEWAL-NET-Modellregion nach dem IPCC-Klimaszenario B1 für den Zeitraum 2071-2100 nach dem WETTREG. Modell (gelb markiert) im Vergleich zur ökologischen Amplitude der europäischen Laubwälder, in denen die Rot-Buche (*Fagus sylvatica*) dauerhafter Bestandteil der herrschenden Baumschicht ist (grün markiert).

## Ökologische Diagnose der europäischen Buchen- und Buchenmischwälder

(Grundlagen: Karte der natürlichen Vegetation Europas, BfN 2000; Weltklimadaten; bioklimatische Klassifikation in Anlehnung an Rivas-Martínez et al. 1999)



### Modellregion NO-Brandenburg / SO-Mecklenburg-Vorpommern IPCC-Klimaszenario A1B 2071 - 2100

Simulation statistisches Regionalisierungsmodell WETTREG  
für 12 Klimastationen der Modellregion

**Abb. 24:** Spannweiten ökologischer Indizes in der NEWAL-NET-Modellregion nach dem IPCC-Klimaszenario A1B für den Zeitraum 2071-2100 nach dem WETTREG. Modell (gelb markiert) im Vergleich zur ökologischen Amplitude der europäischen Laubwälder, in denen die Rot-Buche (*Fagus sylvatica*) dauerhafter Bestandteil der herrschenden Baumschicht ist (grün markiert).

## II.1.5 Die ökologischen Freiheitsgrade des Kiefernbaus im ostdeutschen Tiefland – Verfahren der quantitativen Einschätzung der ökologischen Integrität von Kiefernreinbeständen

Die Baumart Kiefer besitzt eine breite ökologisch-klimatische Amplitude, insbesondere ist sie in hervorragender Weise an sommertrockene Standortsverhältnisse angepasst. Ökologische Risiken des Kiefernbaus sind angesichts des erwarteten Klimawandels in Folge eines Mangels an steter Winterruhe und plötzlichen Übergängen zwischen milden Perioden und starken Frostereignissen zu erwarten. Vor allem in großflächigen Reinbeständen sind Gefährdungen mit erheblicher Relevanz für die Wirtschaftlichkeit durch Insektenkalamitäten, auf besseren Böden durch Pilzinfektionen und in zunehmendem Maße durch Waldbrand gegeben. Die ökologischen Freiheitsgrade des Kiefernbaus liegen vor allem auf armen bis mäßig nährstoffversorgten Sandböden. Für die Kiefernreinbestände der Modellregion wurde eine räumlich auflösende quantitative Einschätzung ihrer ökologischen Integrität durchgeführt. Für mehr als 40 % aller Kiefernreinbestände der Modellregion ergibt sich demnach die Notwendigkeit der Umwandlung in klimaplastische Laubmischwälder bis zum Jahr 2050.

Die Waldkiefer (*Pinus sylvestris*) ist diejenige Nadelbaumart mit der größten Verbreitung weltweit. Mit Ausnahme der stark ozeanischen Klimagebiete am Atlantik und Pazifik erstreckt sie sich über den gesamten eurasischen Kontinent. Im Norden reicht ihre natürliche Verbreitung bis über den Polarkreis, im Süden bis in die montane Stufe des Mediterrangebietes (Rubner 1953). Ihre natürliche Hauptverbreitung hat sie im boreal-kontinentalen Nadelwaldgebiet Eurasiens, der Taiga. Dieser Verbreitung entspricht eine breite ökologische Amplitude sowohl in klimatischer wie in edaphischer Hinsicht, sie reicht von nassen bis extrem trockenen, von extrem armen bis kalkreichen Standortsverhältnissen. In Nordmitteleuropa wird die Kiefer von Natur aus durch Konkurrenz mit Laubbäumen, vor allem der Buche, an die ökologischen Ränder dieser Amplitude gedrängt.

Seit Beginn des 19. Jahrhunderts wurden mit der geregelten Forstwirtschaft in großem Umfang Kiefern-Reinbestände als Antwort auf Holznot und Landschaftsdevastation begründet und in zweiter und teilweise dritter Generation fortgeführt (Schwartz 1991). Es kam zur Ausbildung neuer, sekundärer Vegetationsformen, die wir im Unterschied zu den natürlichen Waldgesellschaften als Kiefern-Forstgesellschaften bezeichnen (Hofmann 1964, 2007; Jenssen 2008).

Heute stockt die Kiefer auf knapp der Hälfte der Landeswaldfläche Mecklenburg-Vorpommerns und auf knapp 80 % der Landeswaldfläche Brandenburgs. Die Zielwaldplanungen beider Länder sehen langfristig eine deutliche Reduzierung dieses Anteils vor. Wesentlicher Auslöser der Bemühungen zur Reduzierung des

Kiefernanteils waren ökologische Probleme des großflächigen Kiefernbaus insbesondere in der heute zweiten und dritten Generation.

Der Kiefernbaum seit 200 Jahren auf zumeist devastierten und oberbodendegradierten Standorten hat wesentlich zu einer Humus- und Nährstoffakkumulation und zur Ausbildung eines waldfähigen Klein- und Landschaftsklimas beigetragen, so dass der Großteil dieser Standorte heute wieder laubwaldfähig ist. Im Vergleich zur potenziellen natürlichen Laubwaldbestockung ist jedoch vor allem auf besseren Standorten noch ein deutlich schlechterer Standortzustand unter Kiefer zu verzeichnen (Hofmann 1991, 2007). Hiermit verbunden ist eine nur unzureichende Nutzung der natürlichen Standortpotenziale vor allem auf den klimatisch und edaphisch begünstigten Grundmoränenstandorten Mecklenburg-Vorpommerns und Nordbrandenburgs. Hier werden bei derzeitiger Baumartenzusammensetzung lediglich 86% desjenigen durchschnittlichen Holzzuwachses erreicht, der bei potentieller natürlicher, vor allem durch die Buche dominierter Baumartenzusammensetzung möglich wäre. Demgegenüber werden in den niederschlagsärmeren, überwiegend durch leichte Sandböden charakterisierten Waldgebieten des mittleren und südlichen Brandenburgs unter der derzeitigen Kieferndominanz bereits 96% des natürlichen Potentials an durchschnittlichem Holzzuwachs erbracht (Hofmann 1986; Jenssen & Hofmann 2005b).

Die im Abschnitt II.1.4 dargestellten Klimaszenarien weisen für das nordostdeutsche Tiefland einen Klimatrend aus, der sich durch zunehmende Wintermilde und erhöhte Sommertrockenheit auszeichnet. Vitalitätseinbußen der Kiefer sind in Folge eines Mangels an steter Winterruhe und plötzlichen Übergängen zwischen milden Perioden und starken Frostereignissen zu erwarten. Andererseits ist die Baumart Kiefer in hervorragender Weise an sommertrockene Standortverhältnisse angepasst. Dies zeigt sich etwa an ihrer Fähigkeit, vor allem in lichten Bestandesstrukturen einen Großteil des Niederschlages aus dem Bereich der Kronendachlücken in den Kronenbereich umzuverteilen (Jenssen 1996). Ursache dieser Umverteilung sind turbulente Luftbewegungen, die aus der hohen aerodynamischen Rauigkeit der Kiefernkronen resultieren. Damit verbunden ist jedoch auch eine hohe Interzeption im Kronendach und vor allem in lichten, grasreichen Beständen am Waldboden, die zu vergleichsweise niedrigen Sickerwasserausträgen führt (Lütze 1984; Jenssen 1997; Müller *et al.* 2002).

Emissionsmuster von Stickstoffgasen am Waldboden von Kiefern-Baumholzbeständen belegen, dass hohe Rauigkeit und Interzeptionsoberflächen des Kronendachs mit einer ausgesprochenen Auskämmwirkung für atmogene Fremdstoffe verbunden sind (Jenssen 2002; Jenssen *et al.* 2002). Dies führt zu einer erhöhten Fremdstoffdeposition in Kiefernbeständen mit negativen Folgen für Stabilität, Landschaftswasserhaushalt und einer potentiellen Belastung von Grundwasser und Atmosphäre.

Ökologische Probleme des Kiefern-Anbaus mit erheblicher Relevanz für die Wirtschaftlichkeit sind insbesondere in großflächigen Reinbeständen durch Insektenkalamitäten, vor allem auf besseren Böden durch pilzliche Schaderreger und unter frühjahrs- und sommertrockenen Witterungsbedingungen durch Waldbrand gegeben.

Vergleicht man die potenzielle natürliche mit der aktuellen Waldvegetation auf den 1,9 Mio. ha derzeitiger Waldfläche des ostdeutschen Tieflandes hinsichtlich ihrer Pflanzenartenzusammensetzung, so wird deutlich, dass der großflächige Kiefern-Anbau zwar mit einer starken Monotonisierung des Waldbildes, im Mittel jedoch mit einer Erhöhung der Pflanzenartenvielfalt verbunden war. Die flächengewogene mittlere Pflanzenarten-Anzahl ist gegenüber einer potenziellen naturnahen Bestockung um 3 Arten auf derzeit insgesamt 20 verschiedene Arten pro 400 m<sup>2</sup> erhöht. Im reichen bis kräftigen Standortsbereich ist ein Verlust typischer Laubwaldarten der Bodenvegetation von etwa 250 000 ha Bodenbedeckung zu verzeichnen. Diese wurden vor allem durch Himbeere, Brombeere und Moosarten ersetzt. Im mittleren bis armen Standortsbereich hat die Verdrängung von Laubwäldern durch Nadelbaumforsten auf insgesamt 1,2 Mio. ha Waldfläche vor allem zu enormen Zugewinnen für Moose (600 000 ha), Drahtschmiele (300 000 ha), Adlerfarn und Zwergsträucher wie Blaubeere, Preiselbeere oder Heidekraut geführt (Jenssen & Hofmann 2002). Damit wurde zugleich eine erhebliche Vergrößerung der Winteräsungsvorräte für das wiederkäuende Schalenwild eingeleitet (Hofmann & Jenssen 2002).

Zusammenfassend ergibt sich, dass die ökologischen Freiheitsgrade des Kiefern-Anbaus vor allem auf armen bis mäßig nährstoffversorgten Sandböden liegen. In diesen Standortsbereichen besitzt die Kiefer eine in Bezug zu den gegebenen Standortspotenzialen befriedigende Massen- und Wertleistung sowie wahrscheinlich auch eine relativ hohe Anpassungsfähigkeit im Hinblick auf zu erwartende klimatische Veränderungen. Gerade auf armen bis mäßig nährstoffversorgten Sandböden bilden Kiefernforsten wertvolle Lebensräume für viele geschützte Tier- und Pflanzenarten und sichern eine hohe Winteräsung für Schalenwildarten. Auch der Erholungswert von Kiefernbeständen als Waldwandergebiet und im Hinblick auf das Sammeln von Beeren und Pilzen sollte durchaus Beachtung finden. Das alles würde bei einem Waldumbau verloren gehen. Hier sind Kompromisse gefragt.

Vor allem in großflächigen Kiefern-Reinbeständen sollte durch gezielte Förderung und Einbringung von Laubholz die Stabilität gegenüber Schaderreger-Gradationen (Majunke *et al.* 2005) und Waldbränden erhöht werden. Auf ziemlich armen Standorten sind spannungsarme Mischungen von Kiefer mit Buche und Traubeneiche bei vertretbaren Pflegeaufwänden möglich (Bilke 2005) und erhöhen die Struktur- und Artenvielfalt. Vor allem auf mittelmäßig nährstoffversorgten Böden bietet sich eine Verringerung der Großflächigkeit durch Schaffung von Mosaiken aus Kiefernforsten und Laubwäldern an.

Eingeschränkt werden sollte der Kiefernabau vor allem in Einzugsgebieten hydrologisch sensibler Landschaftselemente wie Seen oder Mooren und in Trinkwassereinzugsgebieten sowie an Standorten mit starker Fremdstoffbelastung.

Ein Waldumbau in Richtung baumartenreicher klimaplastischer Laubmischwälder ist sinnvoll auf Standorten mit mittlerer bis kräftiger und dringlich auf solchen mit kräftiger und reicher Nährkraft. Hier nutzt die Kiefer die standörtlichen Produktionspotenziale nur ungenügend und ist zudem in ihrer Stabilität durch tierische Schädlinge und Pilze besonders stark gefährdet. Die Kiefernbestände in diesem Standortsbereich sind zwar quantitativ durch eine hohe Artenvielfalt gekennzeichnet, bieten jedoch kaum Lebensraum für geschützte Pflanzenarten. Gerade die Lebensräume der Mull- und Moderbuchenwälder mit ihren typischen Laubwald-Artenspektren wurden durch die Waldrodungen des Mittelalters in starkem Maße zurückgedrängt. Da sie eine hauptsächlich auf Mitteleuropa beschränkte Vegetationsform darstellen, ist eine Erhöhung des Flächenanteils buchenreicher Waldgesellschaften ein wichtiger Beitrag zur Erhaltung der Biodiversität auf globaler Ebene. Mit einer gegenüber den Kiefernforsten um etwa ein Drittel oder 3-5 Tonnen pro Hektar und Jahr erhöhten effektiven CO<sub>2</sub>-Einbindung in die oberirdische Holzbiomasse (Hofmann *et al.* 2002) stellt ein solcher Waldumbau in diesem Standortsbereich zudem einen im Vergleich mit den technogenen Emissionen zwar bescheidenen, aber dennoch wertvollen Beitrag zum Klimaschutz dar.

Aus den Untersuchungen im BMBF-Förderschwerpunkt „Zukunftsorientierte Waldwirtschaft“ ergibt sich, dass ein frühzeitiger Unterbau im Hinblick auf die ökologischen Vorteilswirkungen sinnvoll ist und daher auch dort durchgeführt werden sollte, wo diese Wirkungen im Vordergrund stehen (Jenssen & Hofmann 2005b). Die Frage Unter- oder Vornbau muss aus waldbaulichen, betriebswirtschaftlichen und auch klimapolitischen Erfordernissen heraus betrachtet und entschieden werden.

Im Rahmen des Teilprojektes wurde ein quantitatives Verfahren entwickelt, das eine flächendeckende Einschätzung der ökologischen Integrität von Kiefernreinbeständen und der daraus folgenden Notwendigkeit ihres Umbaus in klimaplastische Laubmischwälder erlaubt. Dieses Verfahren stellt ein geeignetes Hilfsmittel dar, um im Rahmen der Waldentwicklungsplanung eine langfristige und großflächige Übersichtsplanung über Priorität, Umfang und Abfolge der erforderlichen Umwandlungsmaßnahmen zu erstellen.

## Grundlagen und Verfahren einer flächendeckenden Einschätzung der ökologischen Integrität von Kiefernforsten:

Umweltpolitische Zielsetzungen sind auf die Herstellung und dauerhafte Sicherung des „guten ökologischen Zustandes“, der „Ökosystem-Gesundheit“ oder der „ökologischen Integrität“ naturnaher Ökosysteme gerichtet. Der Begriff der „ökologischen Integrität“ definiert ein Ziel oder eine Leitlinie zur Vorsorge vor unspezifischen ökologischen Risiken (Barkmann *et al.* 2001). Angesichts der Tatsache, dass der für die Zukunft erwartete Standorts- und Klimawandel über forstlich relevante Planungszeiträume hinweg weitgehend unvorhersagbar ist und die biologisch-ökologischen Komplexwirkungen sich verändernder physikalischer und chemischer Umweltparameter nur schwer einschätzbar sind, gewinnt die Vorsorge vor unspezifischen ökologischen Risiken insbesondere für Wälder als langlebige und monumentale Ökosysteme eine ständig wachsende Bedeutung.

Das zentrale Element der ökologischen Integrität im definierten Sinne ist nach übereinstimmender Ansicht vieler Autoren die Selbstorganisationsfähigkeit der Ökosysteme (Kay 1993; Müller *et al.* 2000; Barkmann *et al.* 2001; Jenssen & Hofmann 2003). Selbstorganisationsfähigkeit umfasst dabei insbesondere die Fähigkeit, unter vergleichbaren Umweltbedingungen die spezifischen Ökosystemstrukturen zu reproduzieren (Selbstreproduktion), die Fähigkeit zur Selbstregulation von Strukturen und Prozessen, die Fähigkeit, nach temporären Störungen in den Ausgangszustand zurückzukehren (Elastizität oder Resilienz) und die Fähigkeit zur strukturellen Anpassung an veränderliche Umweltbedingungen ohne längere Sukzessionsfolgen, die wir in Abgrenzung zur Elastizität oder Resilienz auch als Plastizität bezeichnen (Jenssen *et al.* 2007). Die Nutzung von Potenzialen der Selbstorganisation hat eine wirtschaftliche Bedeutung, wenn es um den Einsatz von Naturverjüngung oder die Reduzierung forstlicher Eingriffe zur Stabilitätssicherung geht (Jenssen & Hofmann 1996).

Gleichberechtigt mit der Forderung nach Sicherung der „ökologischen Integrität“ steht die Forderung nach umfassendem Schutz und langfristiger Sicherung der Biodiversität, die durch das Übereinkommen über die biologische Vielfalt (CBD) auf der UNCED-Konferenz in Rio de Janeiro 1992 sanktioniert wurde. Betrachtet man beide umweltpolitischen Zielsetzungen im Zusammenhang, so wird deutlich, dass Schutz und Nutzung der Ökosysteme nicht eine maximale, sondern eine in ihrer funktionalen Bedeutung für die Selbstorganisationsfähigkeit „optimale“ Biodiversität gewährleisten müssen.

In sämtlichen, auch in den von Menschen geschaffenen Ökosystemen laufen selbstorganisierte Prozesse ab, allerdings ist die Fähigkeit zur Selbstorganisation in unterschiedlichem Maße ausgebildet. Insbesondere die Fähigkeit zur Selbstreproduktion kann zu einer praktisch anwendbaren und ökologisch sinnvollen Abgrenzung von Wäldern und Forsten genutzt werden (Jenssen & Hofmann 2003). Während Wald-Ökosysteme ihre spezifische Struktur unter vergleichbaren Umweltbedingungen reproduzieren, erfordern Forst-Ökosysteme zu ihrer dauerhaften Erhaltung und Reproduktion in der Regel Bewirtschaftungsaufwände, die der permanenten Tendenz zur Naturwald-Regeneration entgegen wirken.

Die recht grobe Unterscheidung zwischen Wald- und Forst-Ökosystemen ist jedoch für eine Bewertung des ökologischen Zustandes dieser Systeme nicht hinreichend. Daher wird anhand der Artenzusammensetzung (hier beschränkt auf die Pflanzenartenzusammensetzung) ein kontinuierliches Abstandsmaß des aktuellen Zustandes eines Ökotyps zu dem auf dem jeweiligen Standort natürlichen oder selbstorganisierten Vegetationspotenzial abgeleitet, das als praktisch anwendbarer Indikator für die Selbstorganisationsfähigkeit und damit auch für eine standörtlich differenzierte Abschätzung von Stabilitätsrisiken genutzt werden kann (Jenssen 2008).

Der Referenzzustand für die Bewertung des aktuellen ökologischen Zustandes ist das natürliche Potenzial der Artendiversität. Artendiversität wird hier als Shannon-Information über die Artenzusammensetzung definiert (Jenssen 2006, 2007):

$$H(p_1, \dots, p_s) = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i . \quad (1)$$

Die  $p_i$  beschreiben die Wahrscheinlichkeitsverteilung über alle im Ökosystem auftretenden Arten  $i=1, \dots, s$ . Die folgenden Aussagen beziehen sich ausschließlich auf die Diversität der Pflanzenarten. Die Wahrscheinlichkeiten  $p_i$  für das Vorkommen der mit  $i$  indizierten Art an einem bestimmten Ort werden aus den Deckungsprozenten  $D_i$  aller bodenbewohnenden Pflanzen (Flechten, Moos-, Farn- und Samenpflanzen) auf hinreichend großen Flächen desselben Ökosystemtyps ermittelt:

$$p_i = \frac{D_i}{\sum_{j=1}^s D_j} \quad (2)$$

Unter ähnlichen ökologischen Rahmenbedingungen, also in Ökotypen, die demselben Ökosystemtyp zugehörig sind, sollten sich aufgrund der zirkulären Wechselwirkungen zwischen den abiotischen Faktoren und den biologischen Strukturen, welche die Identität des Ökosystems bestimmen, mit zunehmender Stichprobenzahl bzw. anwachsender Probefläche auch die charakteristischen Vegetationsmuster reproduzieren. Dies bedeutet jedoch, dass die als strukturelle Information über die Artenzusammensetzung definierte Artendiversität einem Sättigungswert zustrebt. Aus einer umfangreichen Datenbank der mitteleuropäischen Wald- und Forstvegetation wurden Vegetationsaufnahmen jeweils eines Ökosystemtyps zusammengestellt und analysiert. Diese Aufnahmen wurden unter ähnlichen ökologischen Rahmenbedingungen (pflanzengeografische Region, Klima- und Höhenstufe, lokalstandörtliche Bedingungen, Bewirtschaftungsbedingungen), aber an verschiedenen Orten und zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführt. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Änderung der vegetationsstrukturellen Information oder Pflanzenartendiversität  $H$  mit der Stichprobengröße (Fläche)  $A$  einem hyperbolischen Sättigungsgesetz

$$\frac{dH}{dA} = C_H \cdot (H^o - H)^\chi \quad (3)$$

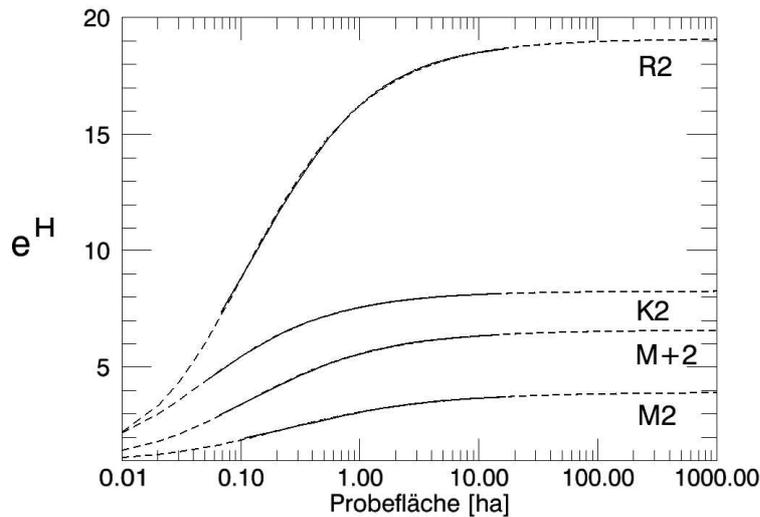
mit  $\chi > 1$  genügt (Jenssen 2007). Dies bedeutet, dass der Zuwachs an Information oder Diversität mit zunehmender Stichprobengröße bei fixierten „ökologischen Koordinaten“ immer geringer wird und den Grenzwert

$$\lim_{A \rightarrow \infty} H(A) = H^o \quad (4)$$

nicht übersteigt (Abb. 25). Die Sättigungsdiversitäten  $H^o$  beschreiben flächenunabhängige Potenziale der Artenvielfalt für unterschiedliche Ökosystemtypen, die im Hinblick auf Umweltbedingungen, Standortfaktoren, Vegetationsstrukturen und Ökosystemprozesse in sich homogen und von anderen Ökosystemtypen verschieden sind. Die Sättigungsdiversitäten  $H^o$  beschreiben flächenunabhängige Potenziale der Artenvielfalt für unterschiedliche Ökosystemtypen, die im Hinblick auf Umweltbedingungen, Standortfaktoren, Vegetationsstrukturen und Ökosystemprozesse in sich homogen und von anderen Ökosystemtypen verschieden sind. Im Sinne der allgemeinen Systemtheorie (Bertalanffy 1969) können diese Potenziale der Artenvielfalt auch als Fließgleichgewichtszustände interpretiert werden, die unter bestimmten ökologischen Rahmenbedingungen auf sehr großen Flächen und nach langen Zeiten der ungestörten Entwicklung angenähert werden. Die Sättigungsdiversitäten  $H^o$  entsprechen Fließgleichgewichtsverteilungen  $p_i^o$  der Pflanzenarten, die aus hinreichend großen Stichprobenumfängen abgeleitet werden können:

$$H(p_1, \dots, p_s) \xrightarrow{A \rightarrow \infty} H^o(p_1^o, \dots, p_s^o) \quad (5)$$

Diese Gleichgewichtspotenziale stellen das Referenzsystem für die Artenzusammensetzung von Ökotypen des jeweiligen Typs dar. Wählt man als Referenzsystem die sich ohne direkten menschlichen Einfluss selbst organisierende Fließgleichgewichtsverteilung, sprechen wir auch von den natürlichen Vegetationspotenzialen der Standorte. In diesem Falle beschreiben die  $p_i^o$  die selbstorganisierten Verteilungen der Pflanzenarten unter den jeweiligen Standortbedingungen, die der Modellkonstruktion der potenziellen natürlichen Vegetation entsprechen (Tüxen 1956).



**Abb.25:** Zunahme der nach Gln. (1,2) definierten Pflanzenartendiversität über der Probefläche in 4 Buchenwald-Ökosystemen des ostdeutschen Tieflandes. Die 4 Kurven entsprechen den selbstorganisierten (potenziellen natürlichen) Verteilungen der Pflanzenarten jeweils auf mäßig nährstoffversorgten (M2), mäßig nährstoffversorgten bis nährkräftigen (M+2), nährkräftigen (K) und nährstoffreichen (R2) mittelfrischen Standorten im feuchten und mäßig feuchten Tieflandklima (Tf, Tm). Die durchgezogenen Kurvenabschnitte wurden als Mittelwerte der Pflanzenartendiversität aus den Deckungsprozenten von insgesamt 905 Einzelaufnahmen berechnet, die gestrichelten Kurvenabschnitte wurden nach Gl. (3) modelliert. Die Pflanzenartendiversitäten der Ökosystemtypen streben mit zunehmender Probefläche jeweils einem Sättigungswert zu (Gln. 4,5), der dem natürlichen Vegetationspotenzial des Standortes entspricht.

Der „Abstand“ der Artenzusammensetzung eines Ökotops zu dem oben beschriebenen natürlichen Vegetationspotenzial des Standortes kann mittels einer informationstheoretischen Maßzahl, der so genannten Kullback-Information (Kullback 1951) quantifiziert werden:

$$K(p_1, \dots, p_S, p_1^o, \dots, p_S^o) = \sum_{i=1}^S p_i \ln \left( \frac{p_i}{p_i^o} \right) \quad (6)$$

Die Kullback-Information beschreibt den Informationsgewinn nach Messung des aktuellen Vegetationszustandes eines Ökotops in Bezug zu einer bekannten Gleichgewichtsverteilung, die dem Ökosystemtyp entspricht. Wird das natürliche Vegetationspotenzial, also der potenzielle natürliche Wald-Ökosystemtyp als Referenz gewählt, ist die Kullback-Information ein Maß für die Naturferne der aktuellen Artenzusammensetzung. Je geringer dieses Abstandsmaß, desto ähnlicher ist die Artenkonfiguration des Ökotops dem natürlichen Vegetationspotenzial des Standortes.

Die potenziellen natürlichen Vegetationsmuster  $p_1^o, \dots, p_S^o$ , die sich auf hinreichend großen Flächen derselben „ökologischen Koordinate“ reproduzieren, stehen in einem engen funktionalen Zusammenhang mit den ökosystemaren Prozessen. Aus diesem Grunde kann das über die Artenzusammensetzung definierte Abstandsmaß als ein komplexer Indikator für die Selbstorganisationsfähigkeit oder die „ökologische Integrität“ interpretiert werden.

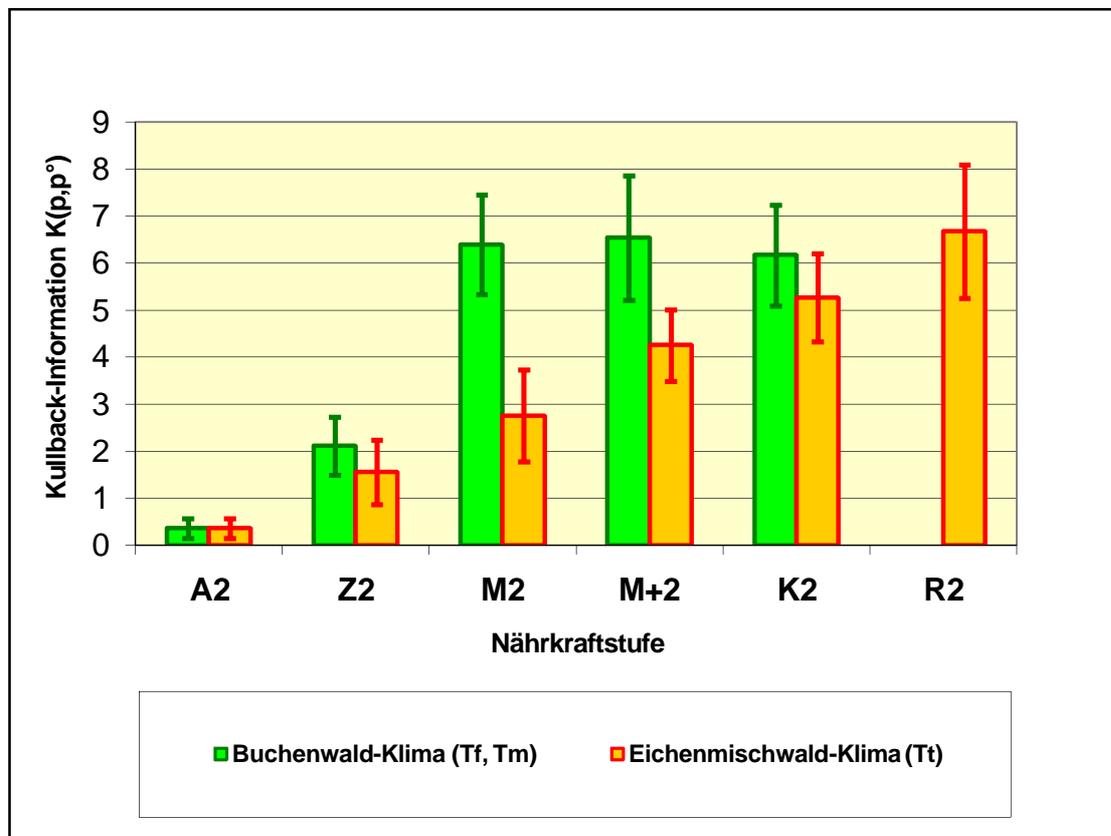
Die Naturferne der im ostdeutschen Tiefland auf grundwasserfreien Standorten ausgebildeten Kiefernforsten nimmt mit zunehmender Bodennährkraft und bei gleicher Bodennährkraft mit zunehmender Ozeanität des Klimas zu (Abb. 26). Je höher die Naturferne der Artenzusammensetzung, desto größer sind jedoch auch die wirtschaftlichen Erhaltungsaufwände gegen die ständig wirkende Tendenz zur Naturwald-Regeneration und damit auch die Stabilitätsrisiken für die Kiefernbestände. Auf nährkräftigen Böden unter subozeanischem Klimaeinfluss sind die Tendenzen zur Naturwald-Regeneration besonders stark, was am zahlreichen Unterwuchs standortsheimischer Laubbaumarten und dem vitalen Auftreten mehrerer Laub-Straucharten erkennbar ist. Diese Tendenz spiegelt sich darin wieder, dass die Naturferne der Artenzusammensetzung gegenüber mäßig nährstoffversorgten Standorten wieder leicht absinkt. Gleichzeitig ist hier die Gefährdung der Kiefer besonders durch Pilz-Schaderegner sehr groß. Auf reichen Standorten finden sich unter subozeanischem Klimaeinfluss praktisch keine Beispiele mehr für Kiefernforsten, die eine Quantifizierung des Abstandsmaßes erlauben würden.

Andererseits stimmt die relativ hohe Naturnähe der Kiefernforsten auf ziemlich armen Sandstandorten - unter subkontinentalem Klimaeinfluss auch auf mäßig nährstoffhaltigen Böden (Abb. 26) - mit der Erfahrung überein, dass hier die ökologische Sicherheit der Kiefernforsten relativ hoch ist, wobei sie gleichzeitig eine interessante wirtschaftliche Alternative zu wenig produktiven Laub- und Laubmischwäldern darstellen. Je größer die Naturnähe der Kiefernforsten, desto größer ist auch die Chance, die Kiefer auf natürlichem Wege mit einem vertretbarem Maß an vorbereitender Bodenbearbeitung und begleitender Kulturpflege zu verjüngen.

Die Naturferne der Artenzusammensetzung kann auch als ein zeitliches Abstandsmaß interpretiert werden: je kleiner der Wert, desto schneller und „sanfter“ verläuft die Naturwald-Regeneration und desto geringer das Risiko, dass ein sich selbst überlassenes Forstökosystem zusammenbricht und sich das natürliche Vegetationspotenzial des Standortes nur über längere Sukzessionsfolgen ausbilden kann. Je größer die Naturferne, umso dringlicher ist die Notwendigkeit aktiver Maßnahmen des Waldumbaus.

Die in diesem Abschnitt zusammengefassten Erkenntnisse zu den ökologischen Gefährdungen der Kiefernforsten führen zu der in Tabelle 3 dargestellten Klassifikation. Zukünftig sollte eine Abschätzung der ökologischen Risiken von Forst-Ökosystemen neben der bisher betrachteten topischen Ebene auch die landschaftliche Dimension umfassen. Der vorgeschlagene Kullback-Indikator dürfte auch hierfür ein wichtiges Hilfsmittel sein. Grundsätzliche Überlegungen führen zu folgender Hypothese: je höher die Naturferne der Artenzusammensetzung in der Umgebung eines Ökotops bzw. je ausgedehnter die Waldungen mit hoher Naturferne, desto größer die hieraus folgenden ökologischen Risiken. Diese Hypothese wird durch

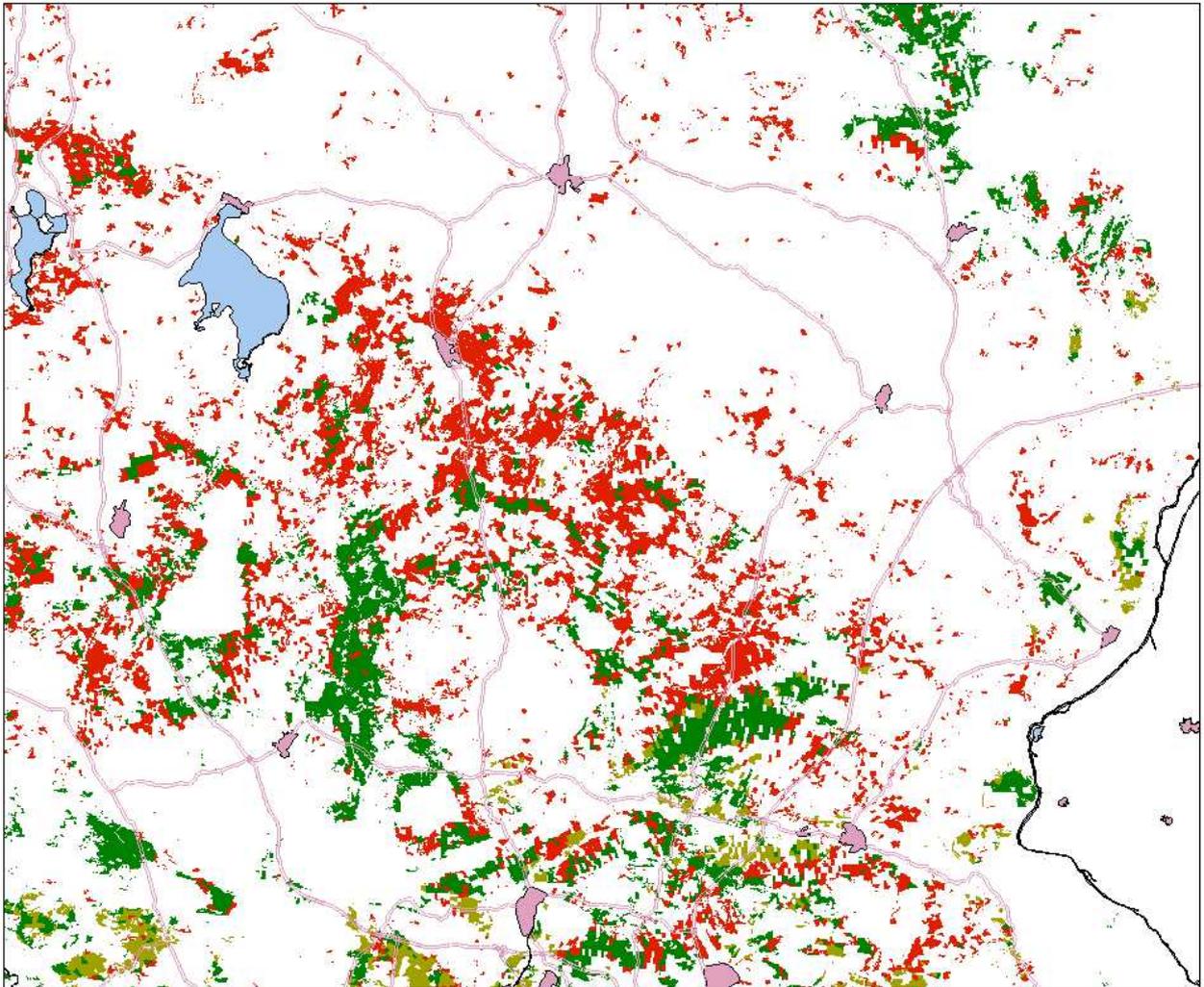
zahlreiche Befunde z.B. im Hinblick auf die Gefährdung durch Schadinsekten bestätigt.



**Abb. 26:** Der als Kullback-Information nach Gl. (6) quantifizierte „Abstand“ der Pflanzenartenzusammensetzung von Kiefernbeständen des ostdeutschen Tieflandes zu den selbstorganisierten (natürlichen) Vegetationspotenzialen in Abhängigkeit von der Nährkraftstufe (A2-arm, Z2-ziemlich arm, M2-mäßig nährstoffhaltig, M+2-mäßig nährstoffhaltig bis kräftig, K2-kräftig, R2-reich) mittelfrischer Standorte jeweils unter subatlantischem (Tf, Tm) und unter subkontinentalem (Tt) Klimaeinfluss. Die Mittelwerte und die Standardabweichungen der Kullback-Information wurden aus insgesamt 956 Einzelaufnahmen in Kiefernbeständen, die natürlichen Vegetationspotenziale aus 1054 Einzelaufnahmen in den zugehörigen potenziellen natürlichen Waldgesellschaften (Hofmann & Pommer 2005) berechnet. Die Kullback-Information beschreibt die heutige Naturferne der Artenzusammensetzung und kann als praktisch anwendbarer Indikator für die „ökologische Integrität“ der Kiefernbestände interpretiert werden.

**Tab. 3:** Klassifizierung der Kiefernforsten im nordostdeutschen Tiefland in Klassen der ökologischen Integrität aufgrund ihrer quantifizierten Naturferne der Pflanzenartenzusammensetzung und relativer Anteil an den Kiefernreinbeständen in der Modellregion NEWAL-NET, die derzeit auf insgesamt 224 000 ha ausgebildet sind.

Ökologische Integrität	Kullback-Information $K(p,p^\circ)$	Prozentualer Anteil an der Gesamtheit der Kiefernreinbestände
hoch	0 - 3	36 %
mittel	3 - 5	8 %
gering	5 - 9	56 %



**Abb. 27:** Einteilung der auf der Waldfläche der NEWAL-NET-Modellregion Nordost-Brandenburg / Südost-Mecklenburg Vorpommern (400 000 ha grundwasserferne Standortsbereiche der eingerichteten Holzbodenfläche) ausgebildeten Kiefernreinbestände nach ihrer ökologischen Integrität (rot – gering, olivgrün – mittel, grün – hoch). Räumliche Auflösung: Forstabteilung, jeweils vorherrschender Bestand der Abteilung. Quelle: Datenspeicher Wald Forstverwaltungen Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern.

Derzeit sind 56 % von knapp 400 000 ha eingerichteter Holzbodenfläche im grundwasserfreien Standortsbereich der Modellregion NEWAL-NET Kiefernreinbestände. Die flächendeckende Einschätzung der ökologischen Integrität der Kiefernreinbestände führt zu dem Ergebnis, dass mehr als die Hälfte dieser Bestände eine hohe Naturferne besitzt und damit auch vergleichsweise hohen Risiken unterliegt bzw. hohe forstliche Erhaltungsaufwände erfordert (Tab. 3). Die räumliche Verteilung zeigt eine Konzentration der Kiefernreinbestände mit hoher Naturferne der Artenzusammensetzung bzw. niedriger ökologischer Integrität entlang des Endmoränenzuges des Pommerschen Stadiums der Weichseleiszeit, der das Gebiet von Nordwest nach Südost durchzieht (Abb. 27). Hier findet sich ein Großteil

forstlich genutzter Standorte mit guter Nährstoff- und Wasserversorgung. Die Kiefernreinbestände mit vergleichsweise hoher Naturnähe und Selbstorganisationsfähigkeit sind hingegen in den Sander- und Binnendünengebieten konzentriert.

Die derzeitige Altersklassenstruktur der Kiefernreinbestände schränkt die auch aus wirtschaftlicher Sicht sinnvollen Möglichkeiten ihrer Überführung in Waldstrukturen mit höherer Naturnähe der Artenzusammensetzung deutlich ein (Tab. 4). So sind in 19 % der Kiefernreinbestände bis zum Jahr 2050 keine Maßnahmen erforderlich bzw. aufgrund des Alters der Bestände nicht möglich. In 39 % aller Kiefernreinbestände scheint es sinnvoll, durch Steuerung und Förderung natürlicher Laubbaumgeneration im Zuge forstlicher Pflegemaßnahmen eine Erhöhung des Laubbaumanteils und damit auch von Vielfalt und Stabilität zu erzielen. In 42 % aller Kiefernreinbestände jedoch sind aufgrund mangelnder ökologischer Integrität und der erreichten Bestandesalter in den nächsten Jahrzehnten bis zum Jahr 2050 Maßnahmen des Voranbaus angeraten, die eine Umwandlung in klimaplastische Laubmischwälder zum Ziel haben. Diese Maßnahmen betreffen 24 % der gesamten eingerichteten Holzbodenfläche der Modellregion.

**Tab. 4:** Waldbaulicher Handlungsbedarf in Kiefernreinbeständen der NEWAL-NET-Modellregion zur Erhöhung der ökologischen Integrität, ermittelt auf der Grundlage der quantifizierten Integritätseinschätzung in Tab. 3 und der Altersklassenverteilung der Bestände.

<b>Empfohlene waldbauliche Maßnahmen in Kiefernreinbeständen</b>	<b>Prozentualer Anteil an der Gesamtheit der Kiefernreinbestände</b>
Umwandlung in klimaplastische Laubmischwälder durch Voranbau bis zum Jahr 2050	42 %
Erhöhung des Laubbaumanteils durch Steuerung natürlicher Sukzessionen im Rahmen von Pflegemaßnahmen	39 %
Keine Maßnahmen bis zum Jahr 2050	19 %

## II.1.6 Die Grüne Douglasie im klimaplastischen Wald des Tieflandes – ökoklimatisch-waldgeografische Grundlagen

Eine ökoklimatische Diagnose der von der Grünen Douglasie dominierten natürlichen Waldgesellschaften der nordwestamerikanischen Küstenregion und die Berücksichtigung der bereits weit über hundert Jahre währenden Versuche mit fremdländischen Baumarten in der Modellregion führen zu der Einschätzung, dass die gruppen- und horstweise Einbringung der Grünen Douglasie und auch der Küsten-Tanne in den klimaplastischen Laubmischwald der nördlichen und westlichen Teile der Modellregion nicht mit erhöhten ökologischen Risiken verbunden ist. Dies gilt insbesondere bei Berücksichtigung der nach heutigem Wissensstand als wahrscheinlich geltenden regionalisierten IPCC-Klimaszenarien, wobei sich der Anbau auf mindestens mäßig nährstoffversorgte Böden hinreichender Wasserhaltekapazität beschränken sollte.

### Zur Methodik der Untersuchungen:

Die ökoklimatische Diagnose wurde unter Nutzung der bereits im Abschnitt II.1.4 verwandten bioklimatischen Parameter und Indizes nach Rivas-Martínez und Mitarbeitern, der von diesen Autoren bearbeiteten Vegetationstranssekten, die eine Angrenzung der wichtigsten Einheiten der Potenziellen Natürlichen Vegetation Nordamerikas anhand dieser ökoklimatischen Parameter und Indizes erlauben (Rivas-Martínez *et al.* 1999; Rivas-Martínez *et al.* 2002) sowie der Szenarienberechnungen meteorologischer Parameter des WETTREG-Regionalisierungsmodells (Spekat *et al.* 2007) durchgeführt.

Nicht zuletzt aus wirtschaftlichen Gründen sollten Nadelbäume ein wichtiger Bestandteil des regionalen Waldportfolios bleiben. Wie bereits im letzten Abschnitt II.1.5 ausgeführt, wird die heimische Kiefer auch in Zukunft eine herausragende Rolle in den Wäldern des ostdeutschen Tieflandes einnehmen. Allerdings wird sie auf arme bis mäßig nährstoffversorgte Standorte zurückgedrängt. Die heimische Baumart Fichte, die in Deutschland von Natur aus fast ausschließlich im oberen Bergland geschlossene Wälder bilden würde, erweist sich im nordostdeutschen Tiefland gerade auch unter den Bedingungen einer weiter zunehmenden Erwärmung und häufiger werdender extremer Sturmereignisse als äußerst instabil und wird hier unter diesen Bedingungen in Zukunft keine nennenswerte Rolle mehr spielen. Es stellt sich angesichts dieser Situation die Frage, ob das Spektrum der Nadelbaumarten im regionalen Waldportfolio auf mäßig nährstoffversorgten und nährkräftigen Standorten in stärkerem Maße als bisher um ausländische Nadelbaumarten ergänzt werden sollte. Dabei spielt die Douglasie eine ganz besondere Rolle, da hier seit mehr als hundert Jahren praktische Erfahrungen in größerem Umfang vorliegen.

Die Douglasie, die vor der Eiszeit in den Wäldern des nordostdeutschen Tieflandes heimisch war, wurde hier im 19. Jahrhundert in forstlichen Anbauten (wieder)

eingebürgert (Stähr & Kohlstock 2002). In Preußen wurde 1881 mit systematischen Anbauversuchen amerikanischer Baumarten begonnen (Lockow 2002). Bereits Schwappach wies darauf hin, dass die Anbauwürdigkeit ausländischer Baumarten letztlich erst nach Ablauf einer Umtriebszeit beurteilt werden kann (Schwappach 1891). Nach weit über 100jähriger Beobachtungsdauer wurde daher begonnen, bisherige Aufnahmen auszuwerten und forstpraktische Schlussfolgerungen abzuleiten. Der Eberswalder Waldwachstumskundler Lockow hat aus diesem Grunde im Frühjahr 2000 sämtliche noch in Beobachtung stehenden Anbauversuche (139 Einzelflächen und 28 ausländische Baumarten) in den Lehroberförstereien Freienwalde, Chorin und Finowtal waldwachstumskundlich aufgenommen und in der Zusammenschau der bisher erfolgten Aufnahmen ausgewertet (Lockow 2002). Er kommt zu dem Ergebnis, dass „die im westlichen Nordamerika weit verbreitete Douglasie ... alle in sie gesetzten ertragskundlichen und waldbaulichen Erwartungen im vollen Maße erfüllt“. Neben ihres im Vergleich mit allen anderen heimischen und ausländischen Baumarten überragenden Ertragsniveaus und der günstigen Holzeigenschaften hebt Lockow insbesondere ihre besondere Eignung für die horst- und gruppenweise Einbringung in Laub- und Nadelholzbestockungen hervor und kommt zu dem Schluss: „Die Douglasie ist daher wie keine andere ausländische Baumart für den forstlichen Anbau geeignet“ (Lockow 2002).

Diese Erkenntnis teilt auch ein Großteil von Forstpraktikern und Waldbesitzern, und so mussten sich die Wissenschaftler im Teilprojekt im Verlauf des partizipatorischen Prozesses der Leitbildentwicklung mit der Frage auseinandersetzen, inwieweit die Baumart Douglasie Bestandteil klimaplastischer Wälder des Tieflandes sein könnte. Das Leitbild des klimaplastischen Waldes beruht auf der Erkenntnis, dass die ökologischen Risiken des Anbaus unterschiedlicher Baumarten bei einem Klimawandel voneinander abhängig sind. Im klimaplastischen Wald wird die kleinräumige Vielfalt der standörtlichen Bedingungen genutzt, um Baumarten unterschiedlicher waldgeografischer und damit klimatischer Herkunft miteinander in eine Wechselwirkung zu bringen, die das ökologische Gesamtrisiko auf der Ebene des Bestandes, des Betriebes und der Region erheblich senkt.

Der Aufbau klimaplastischer Wälder orientiert sich dabei an natürlichen Konstruktionsprinzipien. Eine hohe Naturnähe wird vor allem auch angestrebt, um eine möglichst hohe Fähigkeit der Waldbestände zur strukturellen Selbstorganisation sicherzustellen. Damit wird das Prinzip der Bionik im Waldbau verstärkt angewandt. Natürliche Vorbilder in der Modellregion sind vor allem Eichen-Buchenwälder und Winterlinden-Hainbuchen-Buchenwälder, die sich bereits heute in heimischen Regionen mit erhöhter Klimavariabilität in Selbstorganisation ausbilden. Mit einem sich wandelnden Klima wird sich jedoch auch die Waldnatur verändern. Das sich künftig in der Modellregion ausbildende Klima kann eine hohe Ähnlichkeit mit heutigen Klimaten anderer Regionen entwickeln, so dass es grundsätzlich nicht abwegig erscheint, natürliche Vorbilder klimaplastischer Wälder auch in diesen Regionen zu analysieren.

Aus den im Abschnitt II.1.4 dargestellten regionalen Szenarien ergibt sich für die Modellregion ein erwarteter Klimawandel hin zu einem wärmeren, stärker subozeanisch geprägten Klima bei gleichzeitig auftretender submediterraner Klimatönung, die sich in einer Angleichung von Sommer- und Winterniederschlägen bei zunehmender Sommertrockenheit äußern. Dieser auf einer Zeitachse von hundert Jahren erwartete Klimawandel kann im räumlichen Nebeneinander im pazifischen Küstengebirge Nordwestamerikas beobachtet werden (Abb. 31-35). Das ist die Heimat der „grünen“ Varietät der Douglasie, der so genannten Küstenform (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*), die hier ausschließlich betrachtet wird. Sie tritt dort zwischen dem 35. und dem 55. Breitengrad, also zwischen Kalifornien und British Columbia auf, schwerpunktmäßig in Oregon um den 45. Breitengrad (Hennig 1951; Walker 1999). Der Abstand vom pazifischen Ozean, Breitengrad und Höhe über dem Meeresspiegel sind Faktoren, die die meteorologischen Größen Niederschlag, Luftfeuchte, Temperatur und Länge der Vegetationsperiode in vielfältigen Kombinationen variieren. Diesen weiten klimatischen Amplituden sind die Grüne Douglasie, aber auch die Küsten-Tanne (*Abies grandis*) in ihrer Westostverbreitung angepasst (Müller 1938). Ein übereinstimmendes Klimatelement des Verbreitungsgebietes ist dabei die Niederschlagsverteilung mit einem Winter- und Frühjahrsmaximum und einem Sommerminimum.

In der potenziellen natürlichen Vegetation ihres ursprünglichen Verbreitungsgebietes tritt die Grüne Douglasie als dominanter Bestandteil der oberen Baumschicht vor allem in zwei Hauptgruppen von Waldgesellschaften auf. Während sie die unmittelbaren Küstenzonen mit ozeanischem Seeklima meidet, tritt sie von Westen her erstmalig im Regenschatten des Küstengebirges auf, gemeinsam mit Riesen-Lebensbaum (*Thuja plicata*) und Hemlockstanne (*Tsuga heterophylla*) (Abb. 28).

In dieser Vergesellschaftung ist sie hauptsächlich in den Westkaskaden, bis zum Hauptkamm des mehrkettigen Kaskadengebirges anzutreffen. In diesem Bereich ist das Klima ausgesprochen subozeanisch und humid, durch sehr milde Winter, hohe Winterniederschläge und Luftfeuchte, aber eine ausgeprägte Sommertrockenheit gekennzeichnet (Abb. 31). Mit zunehmendem Abstand vom Pazifik und damit auch abnehmender Luftfeuchte, aber bei immer noch hinreichender Bodenfeuchte mischt sich zusätzlich die Küsten-Tanne zumeist einzel- und truppweise in den Douglasiengrundbestand ein (Müller 1938). In den Ostkaskaden ist das Klima hingegen bereits subkontinental mit teilweise hoher Winterkälte, subhumiden Wasserhaushaltsbedingungen und ebenfalls durch eine hohe Sommertrockenheit geprägt. Hier tritt die Douglasie verstärkt in Mischung mit der Küsten-Tanne (*Abies grandis*) auf (Abb. 29). Im Übergang von subhumiden zu trockenen Klimaten mit noch stärkerem kontinentalen Einschlag verlieren beide Baumarten deutlich an Konkurrenzkraft und treten in ihren an Trockenheit angepassten Klimaformen zwischen- und unterständig in von Gelb-Kiefer (*Pinus ponderosa*) und Küsten-Kiefer (*Pinus contorta*) dominierten Waldgesellschaften auf (Müller 1938).



**Abb. 28:** In der natürlichen Vegetation ihres nordwestamerikanischen Herkunftsgebietes tritt die Grüne Douglasie unter subozeanischen und humiden aber sommertrockenen Klimabedingungen in Vergesellschaftung mit dem Riesen-Lebensbaum (links) und der Westamerikanischen Hemlockstanne (rechts) auf. Die Fotos stammen aus den 110 bis 120jährigen preußischen Anbauversuchen im NEWAL-NET-Modellgebiet (Revier Maienpfuhl, Abt. 162). Als Begleitbaumarten der Douglasie verlieren diese beiden Baumarten beim Übergang in subhumide und subkontinentale Klimate deutlich an Konkurrenzkraft (Fotos: M. Jenssen).

Die ökoklimatische Diagnose der beiden Typen von Waldgesellschaften, in denen die Grüne Douglasie als bestandesbildende Baumart auftritt (Abb. 31) und der Vergleich mit dem in der zweiten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts in der Modellregion vorherrschenden Klima (Abb. 32) zeigt, dass dieses heutige Klima im Schnittpunkt beider Waldgesellschaften zwischen subozeanischem und subkontinentalem Klima liegt. Die potenzielle Vergesellschaftung mit Riesen-Lebensbaum und Hemlockstanne wäre dabei auf die humideren Gebietsteile des heutigen Buchenwaldgebietes beschränkt. Die untersuchten Klimaszenarien weisen einen mehr oder weniger stark ausgeprägten Trend in Richtung eines subhumiden bis trockenen, durch Sommertrockenheit ausgezeichneten Klimas aus (Abb. 33-35). Die zunehmende Sommertrockenheit ist dabei ein übereinstimmendes Merkmal der beiden Waldgesellschaften, die von der Grünen Douglasie dominiert werden. Zunehmende Wintermilde, Sommerwärme und eine verlängerte Vegetationsperiode würden Wachstum und Konkurrenzkraft der Douglasie sehr wahrscheinlich fördern

(Otto 1990). Gleichzeitig wird aber auch deutlich, dass die Verbreitung der Douglasienmischwälder nicht durch die sommerliche Austrocknung, entsprechend der Szenarien aber in den östlichen Teilen des Modellgebietes zunehmend durch den Gesamtwasserhaushalt begrenzt werden würde (Abb. 33-35).



**Abb. 29:** In der natürlichen Vegetation ihres nordwestamerikanischen Herkunftsgebietes tritt die Grüne Douglasie (links) unter subkontinentalen, subhumiden und humiden sowie ausgesprochen sommertrockenen Klimabedingungen hauptsächlich in Vergesellschaftung mit der Küsten-Tanne (rechts) auf. Die Fotos stammen aus den 110 bis 120jährigen preußischen Anbauversuchen im NEWAL-NET-Modellgebiet (Revier Maienpfuhl, Abt. 162). Beide Baumarten sind angesichts des erwarteten Klimawandels für die horstweise Einmischung in den klimaplastischen Laubmischwald prinzipiell geeignet (Fotos: M. Jenssen).

Aus den vorgenannten Befunden können folgende Empfehlungen abgeleitet werden: grundsätzlich sind die Grüne Douglasie, aber auch die aus der pazifischen Küstenregion stammende Klimarasse der Küsten-Tanne im Hinblick auf den erwarteten Klimawandel für eine Einbringung in den klimaplastischen Laubmischwald der Modellregion aus ökoklimatischer Sicht geeignet. Die mit dem Leitbild des klimaplastischen Waldes verfolgte Strategie der Risikosenkung kann jedoch nur erfolgreich umgesetzt werden, wenn der Anbau ausschließlich kleinflächig und in Mischung mit den einheimischen, potenziellen natürlichen Baumarten erfolgt. Der großflächige Anbau in Reinbeständen hingegen würde neue Gefährdungen wie

Invasionen und Massenvermehrungen von Parasiten und Pathogenen aus dem Ursprungsgebiet provozieren (Schaefer *et al.* 2006).

Der Vergleich der ökoklimatischen Amplituden der europäischen Laubwälder, in denen die Rot-Buche dauerhafter Bestandteil der herrschenden Baumschicht ist (Abb. 21) und der westamerikanischen Douglasienmischwälder (Abb. 32) zeigt eine hohe Übereinstimmung, wobei letzere wesentlich stärker an Sommeraridität angepasst sind. Gleichwohl sind – bezogen auf den Gesamtwasserhaushalt – mindestens subhumide Klimabedingungen erforderlich, wenn die Douglasie in ihrem ursprünglichen Verbreitungsgebiet bestandesbildend auftritt. Dort werden höchste Wuchsleistungen auf tiefgründigen, lockeren und frischen Mischlehmen mittlerer Nährstoffversorgung erreicht (Thomasius & Hartig 1989; Otto 1990). Im nordostdeutschen Tiefland bilden nicht oder kaum pseudovergleyte Geschiebelehme und (an)lehmmige, tiefgründige mäßig frische bis frische Sande mit tiefanstehendem bewegten Grundwasser geeignete Standorte (Stähr & Kohlstock 2002). Eine gute Wasserhaltefähigkeit der Böden bei hinreichender Durchlüftung ist offensichtlich eine Voraussetzung, um sommertrockene Perioden unter weniger humiden Klimabedingungen ohne Vitalitätseinbußen zu überstehen.



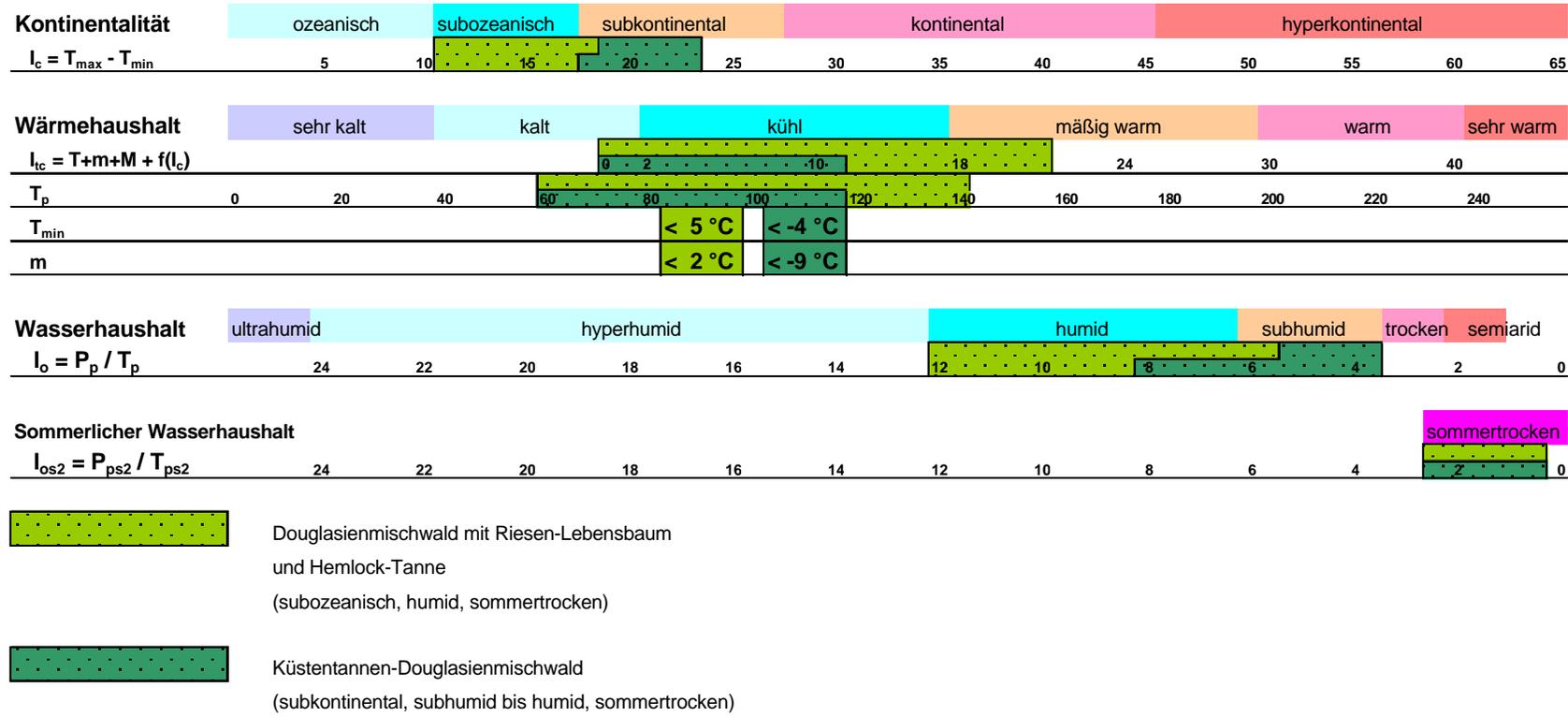
**Abb. 30:** Klimaplastischer Hainbuchen-Buchenwald mit gruppen- und horstweise beigemischten Douglasien im Revier Maienpfehl, Abt. 162 (Fotos: M. Jenssen).

Damit erweist sich die Douglasie als ideale Begleitbaumart klimaplastischer Linden-Hainbuchen-Buchenwälder, wobei hier aus ökologischen und waldbaulichen Gründen eine gruppen- und horstweise Beimischung (Abb. 30), d.h. die Entwicklung eines flächenweise getrennten Mischbestandes empfohlen wird (Stähr & Kohlstock 2002). Durch die gruppen- und horstweise Durchmischung von Nadel- und Laubbäumen wird die ökologische Sicherheit beim Anbau fremdländischer Nadelbäume entschieden erhöht.

In den heute bereits trockeneren, subkontinental getönten Gebieten der Modellregion, in denen vor allem Eichenmischwälder in der potenziellen natürlichen Vegetation dominieren würden, würde der Anbau der Douglasie zwar unter den jetzigen Klimabedingungen durchaus gute Erfolge zeitigen, nicht mehr jedoch angesichts der erwarteten und als wahrscheinlich geltenden Klimaszenarien.

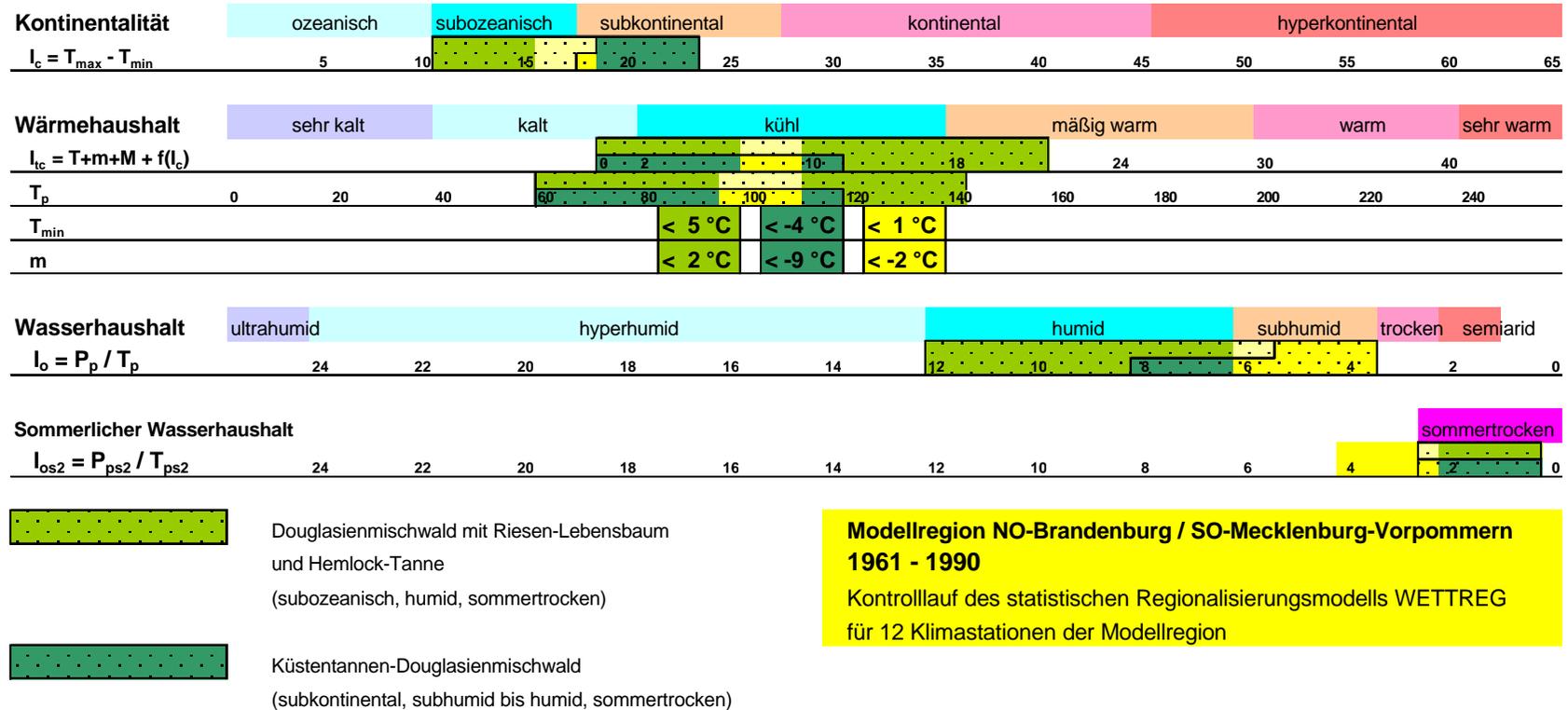
Höchste Bedeutung muss allerdings der Wahl der Klimarassen und Herkünfte beim Anbau von Douglasie und Küsten-Tanne beigemessen werden. Bisher haben sich bei beiden Baumarten jeweils die Küstenformen und innerhalb dieser vor allem diejenigen Herkünfte bewährt, die aus den niederen Lagen der Westkaskaden (Britisch-Kolumbien, Washington, Oregon) stammen (Müller 1938; Hennig 1951; Flöhr 1956). Im Sinne des Konzeptes klimaplastischer Wälder sollten diese Herkünfte auch weiterhin bevorzugt werden, wobei sich angesichts der erwarteten Klimaszenarien schwerpunktmäßig die südlicheren Herkünfte aus Oregon und dem nördlichen Kalifornien eignen. Von höchster Bedeutung ist jedoch die Sicherstellung einer hinreichenden genetischen Variabilität innerhalb der angebauten Populationen der Baumarten. Innerhalb der geeigneten Herkünfte sollten daher möglichst viele Saatgutbestände beerntet werden, um die Klimaplastizität auf Populationsebene zu erhöhen und eine selektive Anpassung der sich verjüngenden und aufwachsenden Horste an das sich wandelnde Klima zu ermöglichen.

**Ökologische Diagnose der von der Grünen Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*) dominierten natürlichen Waldgesellschaften der nordwestamerikanischen Küstenregion (nach Daten von Rivas-Martínez et al. 1999)**

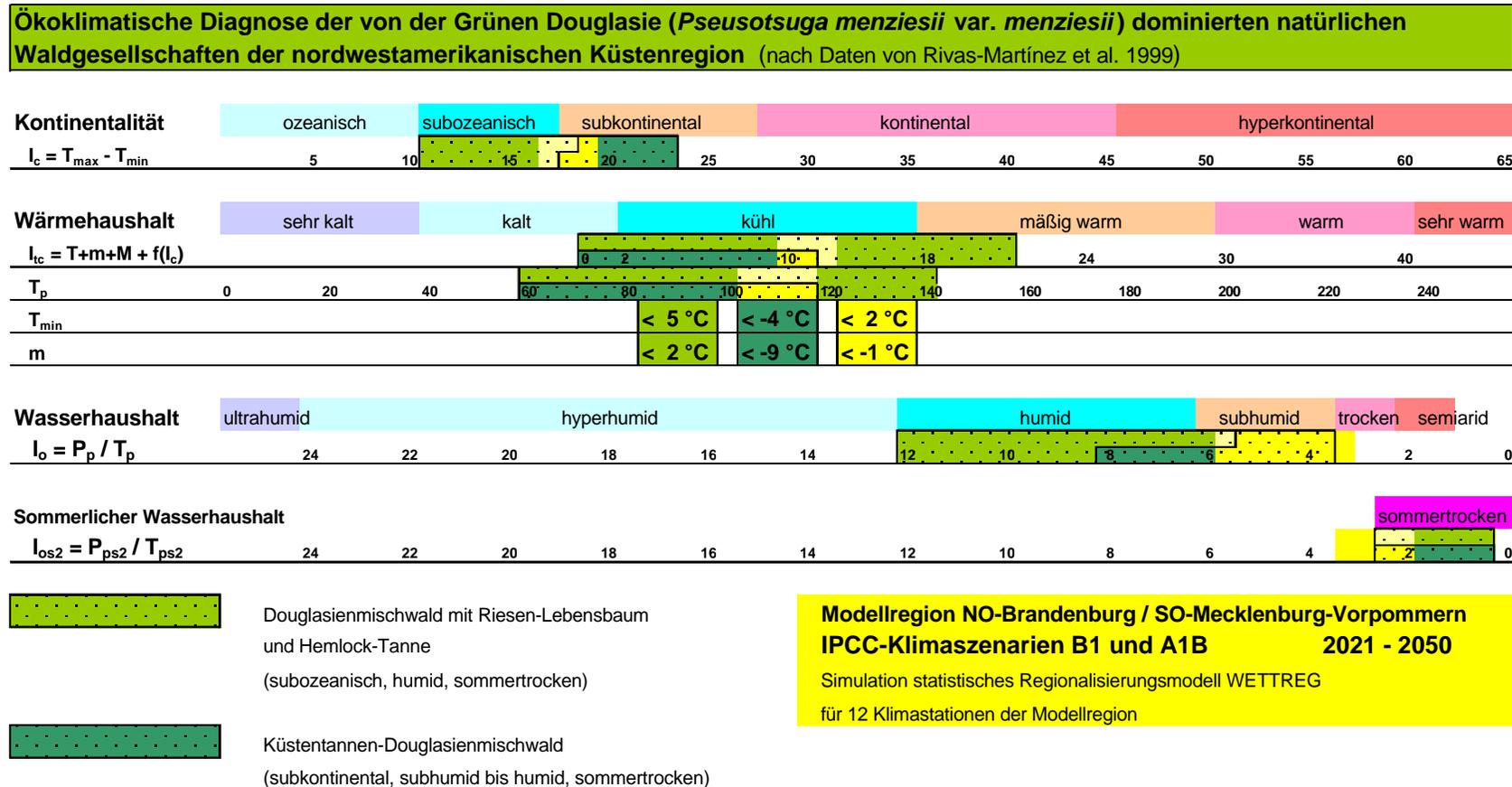


**Abb. 31:** Ökologische Diagnose der von der Grünen Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*) dominierten natürlichen Waldgesellschaften der nordwestamerikanischen Küstenregion (nach Daten von (Rivas-Martínez et al. 1999). Die Spannweiten der Indizes für die beiden Hauptformen der Waldgesellschaften sind als grüne Balken eingezeichnet.

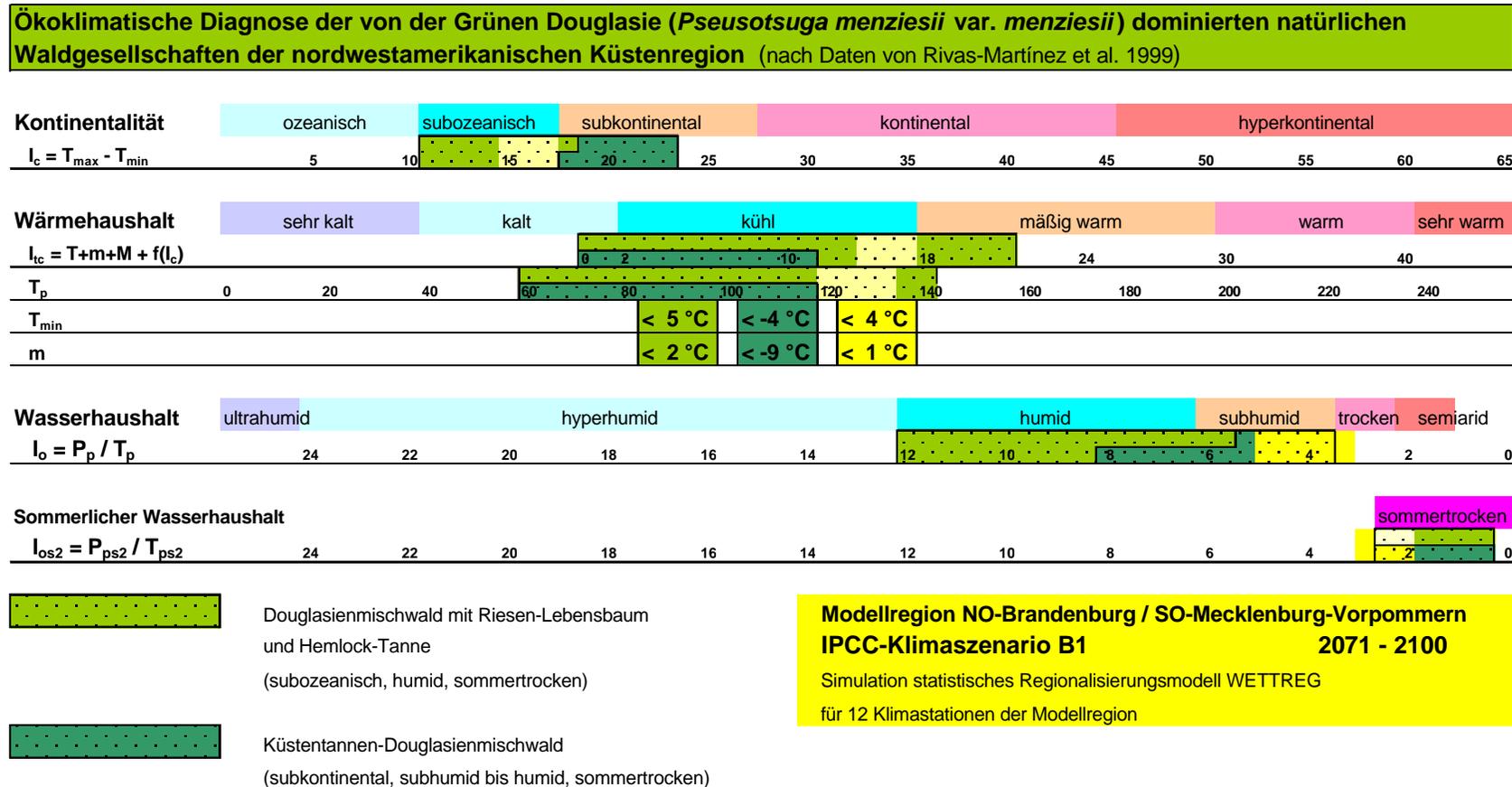
**Ökoklimatische Diagnose der von der Grünen Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*) dominierten natürlichen Waldgesellschaften der nordwestamerikanischen Küstenregion (nach Daten von Rivas-Martínez et al. 1999)**



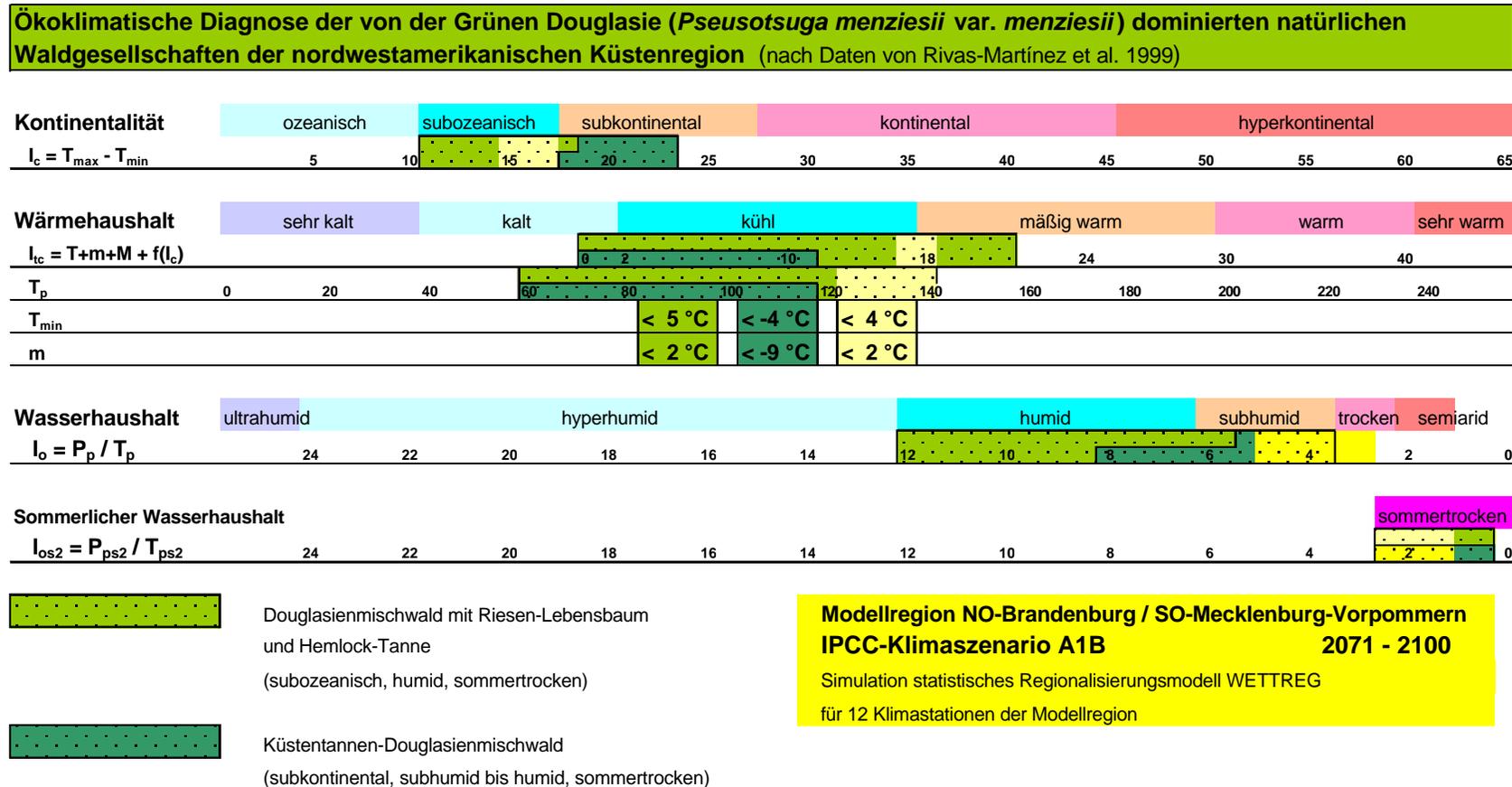
**Abb. 32:** Ökoklimatische Diagnose der von der Grünen Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*) dominierten natürlichen Waldgesellschaften der nordwestamerikanischen Küstenregion (nach Daten von (Rivas-Martínez et al. 1999). Die Spannweiten der Indizes für die beiden Hauptformen der Waldgesellschaften sind als grüne Balken eingezeichnet. Die gelben Markierungen kennzeichnen die klimatische Amplitude in der NEWAL-NET-Modellregion (Abb. 6) nach dem Kontrolllauf 1961-1990 des statistischen Regionalisierungsmodells WETTREG (Spekat et al. 2007).



**Abb. 33:** Ökoklimatische Diagnose der von der Grünen Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*) dominierten natürlichen Waldgesellschaften der nordwestamerikanischen Küstenregion (nach Daten von (Rivas-Martínez et al. 1999). Die Spannweiten der Indizes für die beiden Hauptformen der Waldgesellschaften sind als grüne Balken eingezeichnet. Die gelben Markierungen kennzeichnen die klimatische Amplitude in der NEWAL-NET-Modellregion (Abb. 6) nach den IPCC-Klimaszenarien B1 und A1B des statistischen Regionalisierungsmodells WETTREG (Spekat et al. 2007) für den Zeitraum 2021-2050.



**Abb. 34:** Ökoklimatische Diagnose der von der Grünen Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*) dominierten natürlichen Waldgesellschaften der nordwestamerikanischen Küstenregion (nach Daten von (Rivas-Martínez et al. 1999). Die Spannweiten der Indizes für die beiden Hauptformen der Waldgesellschaften sind als grüne Balken eingezeichnet. Die gelben Markierungen kennzeichnen die klimatische Amplitude in der NEWAL-NET-Modellregion (Abb. 6) nach dem IPCC-Klimaszenario B1 des statistischen Regionalisierungsmodells WETTREG (Spekat et al. 2007) für den Zeitraum 2071-2100.



**Abb. 35:** Ökoklimatische Diagnose der von der Grünen Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*) dominierten natürlichen Waldgesellschaften der nordwestamerikanischen Küstenregion (nach Daten von (Rivas-Martínez et al. 1999). Die Spannweiten der Indizes für die beiden Hauptformen der Waldgesellschaften sind als grüne Balken eingezeichnet. Die gelben Markierungen kennzeichnen die klimatische Amplitude in der NEWAL-NET-Modellregion (Abb. 6) nach dem IPCC-Klimaszenario A1B des statistischen Regionalisierungsmodells WETTREG (Spekat et al. 2007) für den Zeitraum 2071-2100.

## II.1.7 Bewirtschaftungsmodell für die nach dem Leitbild klimaplastischer Wälder optimierten Landnutzungsszenarien

Die erarbeiteten ökologischen Grundlagen des klimaplastischen Waldes wurden genutzt, um für die grundwasserfernen Standortsbereiche der Waldfläche der Modellregion Nordost-Brandenburg/Südost-Mecklenburg-Vorpommern ein vereinfachendes Bewirtschaftungsmodell zu entwickeln, das dem Leitbild klimaplastischer Wälder entspricht. Das Bewirtschaftungsmodell umfasst insgesamt 42 unterschiedliche waldbauliche Zielstrukturen, die nach den heutigen Waldklima-Regionen und den forstlichen Standortsklassen für Bodennährkraft und Bodenfeuchte gegliedert sind. Für jede Zielstruktur wurden waldbauliche Behandlungsvorschriften definiert, die ihre Entwicklung aus den gegenwärtig vorhandenen Waldstrukturen beschreiben. Zielstrukturen und Behandlungsvorschriften bilden gemeinsam ein bewusst vereinfachendes und schematisierendes Bewirtschaftungsmodell, das im Rahmen eines Computermodells implementiert wurde.

### Zur Methodik der Untersuchungen:

Die Erarbeitung eines bewusst vereinfachenden Bewirtschaftungsmodells dient als Grundlage für die flächenkonkrete Erstellung von computergestützten Waldentwicklungsszenarien in der NEWAL-NET-Modellregion. Es ist daher weniger als waldbauliche Handlungsanweisung für die forstliche Praxis als vielmehr als Grundlage eines Computeralgorithmus zur Veranschaulichung prinzipieller Konsequenzen der Umsetzung des Leitbildes klimaplastischer Wälder in der Modellregion gedacht. Die Vielfalt der auf der (grundwasserfernen) Waldfläche der Modellregion auftretenden Waldstrukturen wird dabei in 15 verschiedene ökologische Bestandesstrukturtypen (Hofmann *et al.* 2008) gegliedert:

1. **Nadelbaum-Lichtbaum-Typ,**  
z.B. Kiefern- und Lärchenbestände
2. **Nadelbaum-Schattbaumtyp,**  
z.B. Fichten-, Tannen- oder Douglasienbestände
3. **Nadelbaum-Lichtbaum-Schattbaum-Typ,**  
z.B. Kiefern-Fichtenbestände, Kiefern-Douglasienbestände
4. **Nadelbaum-Laubbaum-Lichtbaum-Typ,**  
z.B. Kiefern-Eichen-Bestände, Kiefern-Birken-Bestände
5. **Nadelbaum-Laubbaum-Lichtbaum-Schattbaum-Typ,**  
z.B. Kiefern-Linden-Hainbuchen-Buchenbestände
6. **Nadelbaum-Laubbaum-Schattbaum-Lichtbaum-Typ,**  
z.B. Fichten-Eichenbestände
7. **Nadelbaum-Laubbaum-Schattbaum-Typ,**  
z.B. Douglasien-Linden-Hainbuchen-Buchenbestände
8. **Nadelbaum-Laubbaum-Lichtbaum-Halbschattbaum-Typ,**  
z.B. Kiefern-Ahornbestände, Kiefern-Ebereschenbestände
9. **Nadelbaum-Laubbaum-Schattbaum-Halbschattbaum-Typ,**  
z.B. Ahorn-Douglasienbestände

10. **Laubbaum-Lichtbaum-Typ,**  
z.B. Eichenbestände
11. **Laubbaum-Schattbaum-Typ,**  
z.B. Buchenbestände, Linden-Hainbuchen-Buchenbestände
12. **Laubbaum-Halbschattbaum-Typ,**  
z.B. Ahornbestände, Eschenbestände
13. **Laubbaum-Lichtbaum-Schattbaum-Typ,**  
z.B. Eichen-Buchenbestände
14. **Laubbaum-Lichtbaum-Halbschattbaum-Typ,**  
z.B. Eichen-Ahornbestände
15. **Laubbaum-Halbschattbaum-Schattbaum-Typ,**  
z.B. Ahorn-Eschen-Buchenbestand

Die Waldfläche der Modellregion wurde in einer groben standörtlichen Klassifizierung in drei Klimagebiete (Buchenwald-Klima, Eichen-Buchenwald- bzw. Linden-Hainbuchen-Buchenwald-Klima, Kiefern-Eichenwald- bzw. Linden-Hainbuchenwald-Klima) sowie die Nährkraftstufen Reich (R), Kräftig (K), Mäßig nährstoffhaltig (M), Ziemlich Arm (Z), und Arm (A) eingeteilt. Als Feuchtestufe des Bodens bzw. des Mesoreliefs wurden jeweils die Stufen Frisch (1) sowie Mittelfrisch und Trocken (2-3) unterschieden (Kopp & Schwanecke 1994).

Mit Hilfe der für das Modellgebiet erarbeiteten Karte der heutigen potenziellen natürlichen Vegetation (Abschnitt II.1.2) und der am Waldkunde-Institut Eberswalde entwickelten Datenbank der mitteleuropäischen Waldvegetation wurden für die jeweiligen Standorte wahrscheinliche Amplituden einer naturnahen Baumartenzusammensetzung abgeleitet. Mit Hilfe der im Abschnitt II.1.5 dargestellten Methodik zur Abschätzung der ökologischen Integrität und unter Berücksichtigung der wahrscheinlichen Klimaszenarien (Abschnitte II.1.4 und II.1.6) wurden forstwirtschaftlich relevante Zielstrukturen mit hoher Klimaplastizität und Selbstorganisationsfähigkeit abgeleitet. Besondere Berücksichtigung fanden dabei die Bestandeszieltypen der Länder Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern (Röhe 1999, 2002; Luthardt 2006). Weiterhin wurden die aus zahlreichen Diskussionen zur Entwicklung des Leitbildes insbesondere im Rahmen der Landschaftswerkstatt Schorfheide-Chorin gemeinsam mit den verschiedenen Nutzern der Waldlandschaft erarbeiteten Zielvorstellungen verarbeitet. Am Ende dieses partizipatorischen Prozesses der Leitbildentwicklung wurden die in diesem Abschnitt ausgewiesenen 42 waldbaulichen Zielstrukturen abgeleitet.

Eine weitere Aufgabe bestand darin, unter Berücksichtigung der räumlichen und zeitlichen Ordnung im Walde waldbauliche Behandlungsvorschriften abzuleiten, die eine Entwicklung der ausgewiesenen Zielstrukturen aus den gegenwärtig vorhandenen Waldstrukturen erlauben. Hierzu wurden auf der Grundlage der am Waldkunde-Institut Eberswalde entwickelten Datenbank der mitteleuropäischen Waldvegetation den verschiedenen Baumarten für jede ausgewiesene Standortsklasse die entsprechenden Bonitäten zugewiesen. Verwendung fanden hierbei die Bonitierungssysteme des Brandenburgischen Datenspeichers Wald II (DSW II). Die hieraus abgeleiteten Wachstumsverläufe der Baumarten und die erarbeiteten Kenntnisse zu ihrem interspezifischen Konkurrenzverhalten (siehe auch Abschnitt II.1.3) wurden genutzt, um die zur Erzielung möglichst spannungsfreier Mischungen der Zielbaumarten erforderliche räumliche und zeitliche Ordnung für die verschiedenen Standortsklassen herzustellen. Diese schematischen Behandlungsvorschriften dienen der Implementation eines Computermodells zur Berechnung von Waldnutzungsszenarien auf der Aggregationsebene der Forstabteilung (Abschnitt II.1.8).

## Zielstrukturen auf nährstoffarmen grundwasserfreien Sandstandorten

**Tab. 5: Nadelbaum-Laubbaum-Lichtbaum-Typ** auf nährstoffarmen grundwasserfreien Sandstandorten. Die Tabelle weist die mittleren prozentualen Mengenanteile der Baumarten an der Zielstruktur in der jeweiligen Standortsklasse aus.

Klimagebiet	Buchenwald-Klima		Eichen-Buchenwald-Klima		Kiefern-Eichenwald-Klima	
	A 1	A 2-3	A 1	A 2-3	A 1	A 2-3
<b>Baumart</b>						
Kiefer	80	85	85	85	85	85
Sand-Birke	10	10	10	10	10	10
Trauben-Eiche		5	5	5	5	5
SEI/TEI-Bastarde	5					
Buche	5					

### Behandlungsvorschriften für numerisches Szenarienmodell:

#### Einschichtige Kiefern-Reinbestände:

- In der 3. Altersklasse Entwicklung der Zielstruktur in natürlicher Sukzession nach Gruppendurchforstung
- In der 5. – 8. Altersklasse Vorausverjüngung (Naturverjüngung) der Zielstruktur
- Ab 8. Altersklasse Umtrieb und Begründung der Zielstruktur als Kultur

#### Sonstige einschichtige Reinbestände:

- Vorausverjüngung 10 Jahre vor Umtriebszeit mit vorhandener Baumart

#### Einschichtige Mischbestände:

- Vorausverjüngung 10 Jahre vor Umtriebszeit der Hauptbaumart mit vorhandenen Baumarten
- Fichte bei Umtrieb durch Eiche oder Birke ersetzen

#### Mehrschichtige Bestände:

- Entnahme des hiebsreifen Hauptbestandes und Überführung von Zwischen- und Unterstand in Oberstand
- Wenn Zwischen- und Unterstand kleiner oder gleich 2/3 des entnommenen Oberstandes, wird Restfläche mit Kiefer bestockt
- Wenn kein hiebsreifer Hauptbestand vorhanden ist: Entnahme hiebsreifer Teile aus Oberstand, Fläche des verbleibenden Oberstandes bei entsprechender Absenkung der Grundflächen um entnommenen Flächenanteil erweitern

## Zielstrukturen auf ziemlich nährstoffarmen grundwasserfreien Sandstandorten

**Tab. 6: Nadelbaum-Laubbaum-Lichtbaum-Halbschattbaum-Typ** auf ziemlich nährstoffarmen grundwasserfreien Sandstandorten. Die Tabelle weist die mittleren prozentualen Mengenanteile der Baumarten an der Zielstruktur in der jeweiligen Standortsklasse aus.

Klimagebiet	Buchenwald-Klima		Eichen-Buchenwald-Klima		Kiefern-Eichenwald-Klima	
	Z 1	Z 2-3	Z 1	Z 2-3	Z 1	Z 2-3
<b>Nährkraft-Feuchte</b>						
<b>Baumart</b>						
Kiefer	70	70	70	75	80	80
Trauben-Eiche		10		10		10
Stiel-Eiche	10		15	5	10	5
Buche	10	10				
Sand-Birke	5	5	5	5	5	5
Eberesche			5	5	5	
Aspe	5	5	5			

### Behandlungsvorschriften für numerisches Szenarienmodell:

#### Einschichtige Kiefern-Reinbestände:

- In der 3. und 4. Altersklasse Entwicklung von 10% Eiche und 5% Birke (Buchenwald-Klima: 5% Buche, 5% Eiche, 5% Birke) in natürlicher Sukzession nach Gruppendurchforstung
- In der 6. – 8. Altersklasse Vorausverjüngung (Naturverjüngung) der Zielstruktur
- Ab 8. Altersklasse Umtrieb und Begründung der Zielstruktur als Kultur

#### Sonstige einschichtige Reinbestände:

- Vorausverjüngung 10 Jahre vor Umtriebszeit mit vorhandener Baumart, dabei Fichten durch Douglasie ersetzen

#### Einschichtige Mischbestände:

- Vorausverjüngung 10 Jahre vor Umtriebszeit der Hauptbaumart mit vorhandener Baumart
- Fichte bei Umtrieb durch Douglasie ersetzen

#### Mehrschichtige Bestände:

- Entnahme des hiebsreifen Hauptbestandes und Überführung von Zwischen- und Unterstand in Oberstand
- Wenn Zwischen- und Unterstand kleiner oder gleich 2/3 des entnommenen Oberstandes, wird Restfläche mit Kiefer bestockt
- Wenn kein hiebsreifer Hauptbestand vorhanden ist: Entnahme hiebsreifer Teile aus Oberstand, Fläche des verbleibenden Oberstandes bei entsprechender Absenkung der Grundflächen um entnommenen Flächenanteil erweitern

## Zielstrukturen auf mäßig nährstoffversorgten grundwasserfreien Sandstandorten

**Tab. 7: Laubbaum-Nadelbaum-Lichtbaumtyp** auf mäßig nährstoffversorgten grundwasserfreien Sandstandorten (außer M+). Die Tabelle weist die mittleren prozentualen Mengenanteile der Baumarten an der Zielstruktur in der jeweiligen Standortsklasse aus.

Klimagebiet	Buchenwald-Klima		Eichen-Buchenwald-Klima		Eichenwald-Klima	
	M 1	M 2-3	M 1	M 2-3	M 1	M 2-3
<b>Baumart</b>						
Trauben-Eiche	30	80	30	60	20	20
Stiel-Eiche	60		60		70	20
Kiefer		20		40		60
Europ. Lärche	10		10		10	

**Tab. 8: Laubbaum-(Nadelbaum)- Schattbaumtyp** auf mäßig nährstoffversorgten grundwasserfreien Sandstandorten (außer M+). Die Tabelle weist die mittleren prozentualen Mengenanteile der Baumarten an der Zielstruktur in der jeweiligen Standortsklasse aus.

Klimagebiet	Buchenwald-Klima		Eichen-Buchenwald-Klima		Eichenwald-Klima	
	M 1	M 2-3	M 1	M 2-3	M 1	M 2-3
<b>Baumart</b>						
Buche	50	50	30	20		
Hainbuche	30	30	50	60	80	60
Winter-Linde					20	40
Douglasie	20	20	20	20		

### Behandlungsvorschriften für numerisches Szenarienmodell:

#### Einschichtige Kiefern-Reinbestände:

- 3. Altersklasse bis Alter 70 Einbringung der Baumarten der Schattbaum-Zielstruktur
- 7. Altersklasse Vorausverjüngung Zielstruktur Lichtbaumtyp
- Ab 8. Altersklasse Umtrieb und Begründung der Zielstruktur Lichtbaumtyp als Kultur

#### Einschichtige Lärchen-Reinbestände:

- Ab 3. Altersklasse Einbringung der Baumarten der Schattbaum-Zielstruktur

Einschichtige Eichen-Reinbestände:

- Ab Alter 50 Einbringung der Baumarten der Schattbaum-Zielstruktur

Einschichtige Fichten-Reinbestände:

- Vorausverjüngung 10 Jahre vor Umtriebszeit mit 30% Douglasie, 20% Küstentanne, 30% Buche und 20% Hainbuche

Sonstige Einschichtige Reinbestände:

- Vorausverjüngung 20 Jahre vor Umtriebszeit mit Zielstruktur Schattbaum-Typ

Einschichtige Mischbestände:

- Lichtbaum-Mischbestände mit führendem Anteil von Kiefer, Eiche oder Lärche werden in 3. Altesklasse mit Zielstruktur Schattbaum-Typ unterbaut
- Sonst Vorausverjüngung 10 Jahre vor Umtriebszeit der Hauptbaumart mit vorhandenen Baumarten, Ersatz von Fichte durch Douglasie

Mehrschichtige Bestände:

- Entnahme des hiebsreifen Hauptbestandes und Überführung von Zwischen- und Unterstand in Oberstand
- Wenn Zwischen- und Unterstand kleiner oder gleich  $\frac{2}{3}$  des entnommenen Oberstandes, wird Restfläche mit Hainbuche bestockt
- Wenn kein hiebsreifer Hauptbestand vorhanden ist: Entnahme hiebsreifer Teile aus Oberstand, Fläche des verbleibenden Oberstandes bei entsprechender Absenkung der Grundflächen um entnommenen Flächenanteil erweitern

## Zielstrukturen auf nährkräftigen grundwasserfreien Sandstandorten

**Tab. 9: Laubbaum-Nadelbaum-Lichtbaum-Halbschattbaum-Typ** auf nährkräftigen grundwasserfreien Sandstandorten (incl. M+). Die Tabelle weist die mittleren prozentualen Mengenanteile der Baumarten an der Zielstruktur in der jeweiligen Standortklasse aus.

Klimagebiet	Buchenwald-Klima		Linden-Hainbuchen-Buchenwald-Klima		Linden-Hainbuchenwald-Klima	
	K 1	K 2-3	K 1	K 2-3	K 1	K 2-3
<b>Baumart</b>						
Stiel-Eiche	30	15	30	15	30	15
Trauben-Eiche	15	30	15	30	15	30
Spitz-Ahorn	15	10	15	10	15	10
Esche	10		10		10	
Vogel-Kirsche	20	20	20	20	20	20
Elsbeere		5		5		5
Wildbirne		5		5		5
Wildapfel		5		5		5
Flatter-Ulme	5		5		5	
Europ. Lärche	5	10	5	10	5	10

**Tab. 10: Laubbaum-(Nadelbaum)-Schattbaumtyp** auf nährkräftigen grundwasserfreien Sandstandorten (incl. M+). Die Tabelle weist die mittleren prozentualen Mengenanteile der Baumarten an der Zielstruktur in der jeweiligen Standortklasse aus.

Klimagebiet	Buchenwald-Klima		Linden-Hainbuchen-Buchenwald-Klima		Linden-Hainbuchenwald-Klima	
	M 1	M 2-3	M 1	M 2-3	M 1	M 2-3
<b>Baumart</b>						
Buche	50	50	30	25		
Hainbuche	15	15	30	35	50	50
Winter-Linde	5	10	10	25	40	45
Berg-Ahorn	30	10	20	5	10	5
Douglasie		10	10	10		
Küstentanne		5				

Behandlungsvorschriften für numerisches Szenarienmodell:

Einschichtige Kiefern-Reinbestände:

- Alter 50 bis 80 Einbringung der Baumarten der Zielstruktur Schattbaum-Typ
- Ab Alter 110 Vorausverjüngung Zielstruktur Lichtbaum- / Halbschattbaum-Typ
- Ab 8. Altersklasse Umtrieb und Begründung der Zielstruktur Lichtbaum- /Halbschattbaum-Typ als Kultur

Einschichtige Lärchen-Reinbestände:

- Ab 3. Altersklasse Einbringung der Baumarten der Zielstruktur Schattbaumtyp

Einschichtige Eichen-Reinbestände:

- Ab Alter 60 Einbringung der Baumarten der Zielstruktur Schattbaumtyp

Einschichtige Fichten-Reinbestände:

- Vorausverjüngung 10 Jahre vor Umtriebszeit mit 30% Douglasie, 20% Küstentanne, 30% Buche und 20% Hainbuche

Sonstige einschichtige Reinbestände:

- Vorausverjüngung 10 Jahre vor Umtriebszeit mit Zielstruktur Schattbaum-Typ

Einschichtige Mischbestände:

- Lichtbaum-Mischbestände mit führendem Anteil von Kiefer, Eiche oder Lärche werden in 4. Altersklasse mit Zielstruktur Schattbaum-Typ unterbaut
- Sonst Vorausverjüngung 10 Jahre vor Umtriebszeit der Hauptbaumart mit vorhandenen Baumarten, Ersatz von Fichte durch Douglasie

Mehrschichtige Bestände:

- Entnahme des hiebsreifen Hauptbestandes und Überführung von Zwischen- und Unterstand in Oberstand
- Wenn Zwischen- und Unterstand kleiner oder gleich  $\frac{2}{3}$  des entnommenen Oberstandes, wird Restfläche mit Hainbuche bestockt
- Wenn kein hiebsreifer Hauptbestand vorhanden ist: Entnahme hiebsreifer Teile aus Oberstand, Fläche des verbleibenden Oberstandes bei entsprechender Absenkung der Grundflächen um entnommenen Flächenanteil erweitern

## Zielstrukturen auf nährstoffreichen grundwasserfreien Sandstandorten

**Tab. 11: Laubbaum- Schattbaum-Halbschattbaum-Typ (edellaubholzreich, stufig) auf nährstoffreichen grundwasserfreien Sandstandorten.** Die Tabelle weist die mittleren prozentualen Mengenanteile der Baumarten an der Zielstruktur in der jeweiligen Standortsklasse aus.

Klimagebiet	Buchenwald-Klima		Linden-Hainbuchen-Buchenwald-Klima		Linden-Hainbuchenwald-Klima	
	R 1	R 2-3	R 1	R 2-3	R 1	R 2-3
<b>Nährkraft-Feuchte</b>						
<b>Baumart</b>						
Buche	10	10	5	5		
Hainbuche	10	5	10	10	20	15
Winter-Linde		5	5	10	5	20
Sommer-Linde		10		5		
Berg-Ahorn	25	15	20	10	10	5
Spitz-Ahorn			10	10	15	15
Feld-Ahorn		5		5		5
Esche	20	15	20	10	20	10
Berg-Ulme	20	10	15	5	5	
Flatter-Ulme			5		5	5
Feld-Ulme				5		5
Vogel-Kirsche	15	15	10	10	5	5
Elsbeere		5		5	5	5
Wildbirne				5	5	5
Wildapfel		5		5	5	5

### Behandlungsvorschriften für numerisches Szenarienmodell:

#### Einschichtige Kiefern-Reinbestände:

- Ab Alter 70 Vorausverjüngung mit Baumarten der Zielstruktur
- Ab Alter 110 Umtrieb und Begründung der Zielstruktur als Kultur

#### Einschichtige Lärchen-Reinbestände:

- Ab 3. Altersklasse Einbringung der Baumarten der Zielstruktur

#### Einschichtige Eichen-Reinbestände:

- Ab Alter 70 Einbringung der Baumarten der Zielstruktur

#### Einschichtige Fichten-Reinbestände:

- Vorausverjüngung 10 Jahre vor Umtriebszeit mit 30% Douglasie, 20% Küstentanne, 30% Buche und 20% Hainbuche

Sonstige einschichtige Reinbestände:

- Vorausverjüngung 10 Jahre vor Umtriebszeit mit Zielstruktur Schattbaum-Typ

Einschichtige Mischbestände:

- Vorausverjüngung 10 Jahre vor Umtriebszeit der Hauptbaumart mit vorhandenen Baumarten, Ersatz von Fichte durch Douglasie

Mehrschichtige Bestände:

- Entnahme des hiebsreifen Hauptbestandes und Überführung von Zwischen- und Unterstand in Oberstand
- Wenn Zwischen- und Unterstand kleiner oder gleich  $\frac{2}{3}$  des entnommenen Oberstandes, wird Restfläche mit Hainbuche bestockt
- Wenn kein hiebsreifer Hauptbestand vorhanden ist: Entnahme hiebsreifer Teile aus Oberstand, Fläche des verbleibenden Oberstandes bei entsprechender Absenkung der Grundflächen um entnommenen Flächenanteil erweitern

### **II.1.8 Waldentwicklungsszenario nach dem Leitbild klimaplastischer Wälder für den Zeitraum 2006 bis 2100<sup>1</sup>**

Es wurde für 400 000 ha eingerichteter Holzbodenfläche im grundwasserfreien Standortsbereich des NEWAL-NET-Modellgebietes ein mögliches klimaplastisch optimiertes Waldnutzungsszenario für den Zeitraum 2006 bis 2100 abgeleitet. Die räumliche Auflösung ist die Ebene der Forstabteilung. Dabei wurde die in jeder Forstabteilung flächenmäßig vorherrschende Bestandesgruppierung auf die gesamte Abteilungsfläche übertragen (Aggregation). Dieses Szenario dient als Grundlage für Modellberechnungen anderer Projektpartner, die wahrscheinliche Wirkungen der Umsetzung des Leitbildes z.B. auf den Landschaftswasserhaushalt, die Kohlenstoffbindung, die Emission klimarelevanter Spurengase, das Rohholzaufkommen oder die faunistische Artendiversität abschätzen.

Als Kontrastszenario wurde ein Szenario „business as usual“ abgeleitet, das die bis 2006 in den Waldstrukturen angelegte Baumartenverteilung in die Zukunft fortschreibt, ohne dass neue Waldumbaumaßnahmen eingeleitet würden. Das Kontrastszenario „business as usual“ dient dazu, den Einfluss der veränderten Bewirtschaftung von anderen Faktoren wie z.B. dem Klimawandel oder den Konsequenzen der in den heutigen Waldstrukturen festgelegten Altersklassenverteilung abgrenzen zu können. Der mögliche Einfluss von Risikofaktoren wie Sturm, Schädlingskalamitäten, Witterungsextremen oder Schadstoffeinträgen konnte im Rahmen der Szenarienberechnung jedoch nicht berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse der Szenarienrechnung belegen, dass die durch die naturräumliche Ausstattung der Modellregion gegebenen Potenziale der Baumartendiversität derzeit nur ungenügend genutzt werden. Die natürlichen Diversitätspotenziale erlauben den Aufbau klimaplastischer Waldbestände, die bei vergleichsweise geringen ökologischen Risiken und vertretbaren Bewirtschaftungsaufwänden auch in Zukunft forstliche Wertschöpfung durch nachhaltige Ressourcennutzung erlauben.

#### **Kurzdokumentation der Landnutzungsszenarien auf der Waldfläche des Modellgebietes NEWAL-NET**

Das Modell wurde mit der Software IDL 7.0 der ITT Corporation, USA 2007, programmiert. Die Ergebnisdateien wurden als Tabellen einer MS Access-Datenbank für die anderen Teilprojekte bereit gestellt. Für den brandenburgischen und den mecklenburgischen Gebietsteil wurden jeweils getrennte Dateien erstellt, da die zu Grunde gelegten Datenspeicherauszüge etwas andere Strukturen besitzen. Die Dateien enthalten ein Feld zur Shape-Datei des Modellgebietes, das auf der Grundlage der Forstübersichtskarten beider Bundesländer erstellt wurde.

<sup>1</sup> Erstellt unter Verwendung von Projektauszügen des DSW2

**Abteilung\_BB\_G3\_2006****Abteilung\_MV\_G3\_2006**

Diese Dateien beschreiben den Ausgangszustand für die beiden Landnutzungsszenarien im Jahr 2006.

Der Flächensatz umfasst alle grundwasserfreien Standorte auf der Holzbodenfläche des Modellgebietes.

Die Datensätze sind abgeleitet aus den Informationen des von den Landesforstverwaltungen Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg übergebenen „Datenspeicher Wald“ (DSW) Stichjahr 2006 und der Kartierung der Potentiellen Natürlichen Vegetation (PNV, siehe Abschnitt II.1.2).

Dabei wurde die in jeder Forstabteilung flächenmäßig vorherrschende Bestandesgruppierung auf die gesamte Bestandesfläche übertragen (Aggregation). Fehlende Informationen der Standortkartierung sowie die Zuordnung zu den Waldklimagebieten wurden aus der PNV abgeleitet.

Die Daten spiegeln somit die in der Region derzeit vorherrschende (typische) Waldbestockung und die vorherrschenden Standortverhältnisse in einer flächenmäßig vergrößernden Form wieder.

Die holzmesskundlichen Daten des DSW wurden mit Hilfe des von der Landesforstanstalt Eberswalde (LFE) bereit gestellten Formelwerkes (DSW II) neu berechnet. Ausgehend von den im DSW vermerkten Bestandesaltern und Mittelhöhen wurden die Bestände nach den im Feld ET bezeichneten Ertragstafeln des Formelwerkes DSW II neu bonitiert. Die Mitteldurchmesser (DM) der Bestände wurden auf den entsprechenden Tafelwert gesetzt. Für Altbäume wurde der in der Tafel angegebene Wert im jeweiligen Umtriebsalter der Baumart eingesetzt, sofern im DSW keine anderen Informationen vermerkt waren. Die tatsächlichen Grundflächen (GF) wurden übernommen, sofern im DSW angegeben. Der Grundflächenschlussgrad (BG) wurde entsprechend des verwandten Tafelwerkes neu berechnet. Alle Vorrats- und Zuwachsgrößen wurden auf „0“ gesetzt und können aus den Bestandesdimensionen und dem Tafelwerk neu berechnet werden (Felder wurden aus Dateien gelöscht).

Die Umtriebsalter (UZ) wurden auf der Grundlage der aus der BWI für die beiden Bundesländer abgeleiteten Werte ermittelt und werden einheitlich für beide Landnutzungsszenarien verwandt.

**Abteilung\_BB\_G3\_oXXXX****Abteilung\_MV\_G3\_oXXXX****XXXX=2020, 2040, 2060, 2080, 2100**

Diese Dateien beschreiben die nach dem Leitbild klimaplastischer Wälder optimierten Landnutzungsszenarien in 20-Jahres-Intervallen.

Die Fortschreibung der holzmesskundlichen Daten erfolgte mittels des von der LFE bereit gestellten Formelwerkes (DSW II).

Für die Fortschreibung der Bestandesdaten wurden die aus dem DSW abgeleiteten Bonitäten verwandt. Für die Begründung neuer Bestände und die Einführung bisher nicht vorhandener Baumarten in die Bestände wurden Bonitäten verwandt, die aus den dendroökologischen Untersuchungen im Abgleich mit dem Datenspeicher für die entsprechenden Standorte abgeleitet wurden (Abschnitt II.1.3). Bei der Überführung von Unter- und Zwischenstand erfolgt eine sukzessive Anpassung (lineare Interpolation) der DSW-Bonitäten an die für die jeweiligen Standorte für die Oberschicht abgeleiteten Werte.

Berechnet wurden ausschließlich Mittelhöhen der Bestände, die durch die Bewirtschaftung der klimaplastischen Waldstrukturen in bestimmten Grenzen regulierbar sind. Die abgeleiteten

Bestandeskennwerte der klimaplastischen Waldstrukturen können für alle zu untersuchenden Klimaszenarien in Anwendung gebracht werden. Der mögliche Einfluss von Risikofaktoren wie Sturmereignissen, Schädlingskalamitäten, Temperaturextremen oder Schadstoffeinträgen auf die Bestandesentwicklung konnte im Rahmen der Szenarienberechnung jedoch nicht berücksichtigt werden.

### **Abteilung\_BB\_G3\_XXXX**

### **Abteilung\_MV\_G3\_XXXX**

### **XXXX=2020, 2040, 2060, 2080, 2100**

Diese Dateien beschreiben die einfache Fortschreibung der jetzigen Waldstrukturen in 20-Jahres-Intervallen („business as usual“). Über Unter- bzw. Voranbau bereits eingeleitete Waldumbaumaßnahmen verändern die aktuelle Baumartenzusammensetzung, jedoch werden keine neuen Maßnahmen mehr eingeleitet. Verjüngung erfolgt kahlschlagsfrei über Voranbau nach Auflichtung der Bestände.

Dieses Szenario setzt also die bis zum jetzigen Zeitpunkt in den Waldstrukturen angelegte Baumartenverteilung in die Zukunft fort. Es stellt ein Kontrastszenario zur der Waldbildoptimierung nach dem Leitbild klimaplastischer Wälder dar.

Die Fortschreibung der holzmesskundlichen Daten erfolgte wie im Falle der klimaplastisch optimierten Variante mittels des von der LFE bereit gestellten Formelwerkes (DSW II).

Für die Fortschreibung der Bestandesdaten wurden auch hier dieselben Bonitäten verwandt, der mögliche Einfluss von Risiken konnte ebenfalls nicht erfasst werden.

### Wichtige Ergebnisse der Szenarienberechnung im Hinblick auf die Verteilung von Baumarten und Bestandesstrukturtypen:

Derzeit dominieren auf zwei Dritteln der Waldfläche der Modellregion Reinbestände, nur auf einem Drittel sind Bestände mit wenigstens zwei Baumarten an der Waldzusammensetzung beteiligt (Abb. 36). In dem nach dem Leitbild klimaplastischer Wälder optimierten Waldnutzungsszenario reduziert sich der Anteil der Reinbestände bis zum Jahr 2040 auf 17% (Abb. 37) und bis zum Jahr 2100 auf weniger als 6% (Abb.38). Im Jahr 2100 sind dann auf knapp der Hälfte der Waldfläche Bestände mit drei oder vier Baumarten ausgebildet. Die Baumartendiversität erreicht auf den nährkräftigen und nährstoffreichen Standorten ihre höchsten Werte.

Dabei wird sich die Zahl der Baumarten, die einen Flächenanteil von mehr als einem Prozent an der Waldfläche der Modellregion besitzen, bereits innerhalb weniger Jahrzehnte verdoppeln (Tab. 12). Die Baumart Kiefer wird auch in Zukunft den größten Flächenanteil in der Modellregion einnehmen, allerdings wird sie auf arme bis mäßig nährstoffversorgte Standorte zurück gedrängt. Im Ergebnis sinkt ihr Flächenanteil von derzeit 72% auf 28% im Jahr 2100. Die Fichte verschwindet vollständig aus dem Gebiet, während das Spektrum der Nadelbaumarten auf mäßig nährstoffversorgten und nährkräftigen Standorten vor allem um die Douglasie ergänzt wird. Die Douglasie kann auf bis zu 6% und die Küsten-Tanne auf 1%

zunehmen. Der Anteil der Buche verdoppelt sich von 2006 bis 2100 von derzeit 13% auf 26%. Die heimischen Eichenarten nehmen von derzeit 5% auf 13% zu. Von den gebietsheimischen Baumarten, die derzeit einen Flächenanteil unter 1% besitzen, werden die Hainbuche auf 17%, die Linden (vorwiegend Winter-Linde) auf 3%, die Ahorne (Berg-Ahorn, Spitz-Ahorn, vereinzelt Feld-Ahorn) auf 2% und die Wildobstarten (Vogel-Kirsche, Elsbeere, Wild-Birne, Wild-Apfel, Eberesche) insgesamt auf 1,2% Flächenanteil anwachsen.

**Tab. 12:** Entwicklung der prozentualen Baumartenzusammensetzung auf den grundwasserfreien Waldstandorten der Modellregion Nordost-Brandenburg / Südost-Mecklenburg-Vorpommern nach dem klimaplastisch optimierten Waldentwicklungsszenario.

Baumart	2006	2020	2040	2060	2080	2100
Kiefer	71,6	57,8	48,2	41,6	35,7	28,0
Fichte	3,3	2,6	2,1	1,1	0,2	0,0
Douglasie	0,5	2,1	3,0	3,6	4,4	5,8
Küsten-Tanne	0,0	0,2	0,3	0,5	0,8	1,0
Trauben-Eiche	2,1	3,5	5,9	8,4	9,9	8,9
Stiel-Eiche	2,1	2,3	2,7	2,9	2,8	2,5
Trauben-/Stiel-Eiche	0,8	1,5	1,8	1,8	1,7	1,7
Sand-Birke	1,6	2,1	2,1	1,8	1,6	1,2
Rot-Buche	13,0	17,8	20,0	21,3	22,9	26,2
Hainbuche	0,7	4,9	7,3	9,5	12,1	16,7
Linden	0,2	0,9	1,4	1,6	2,0	2,7
Ahorne	0,4	0,8	1,3	1,7	1,9	2,1
Wildobst	0,0	0,3	0,7	1,1	1,3	1,2
Sonstige <1%	3,6	3,3	3,2	3,0	2,6	2,1

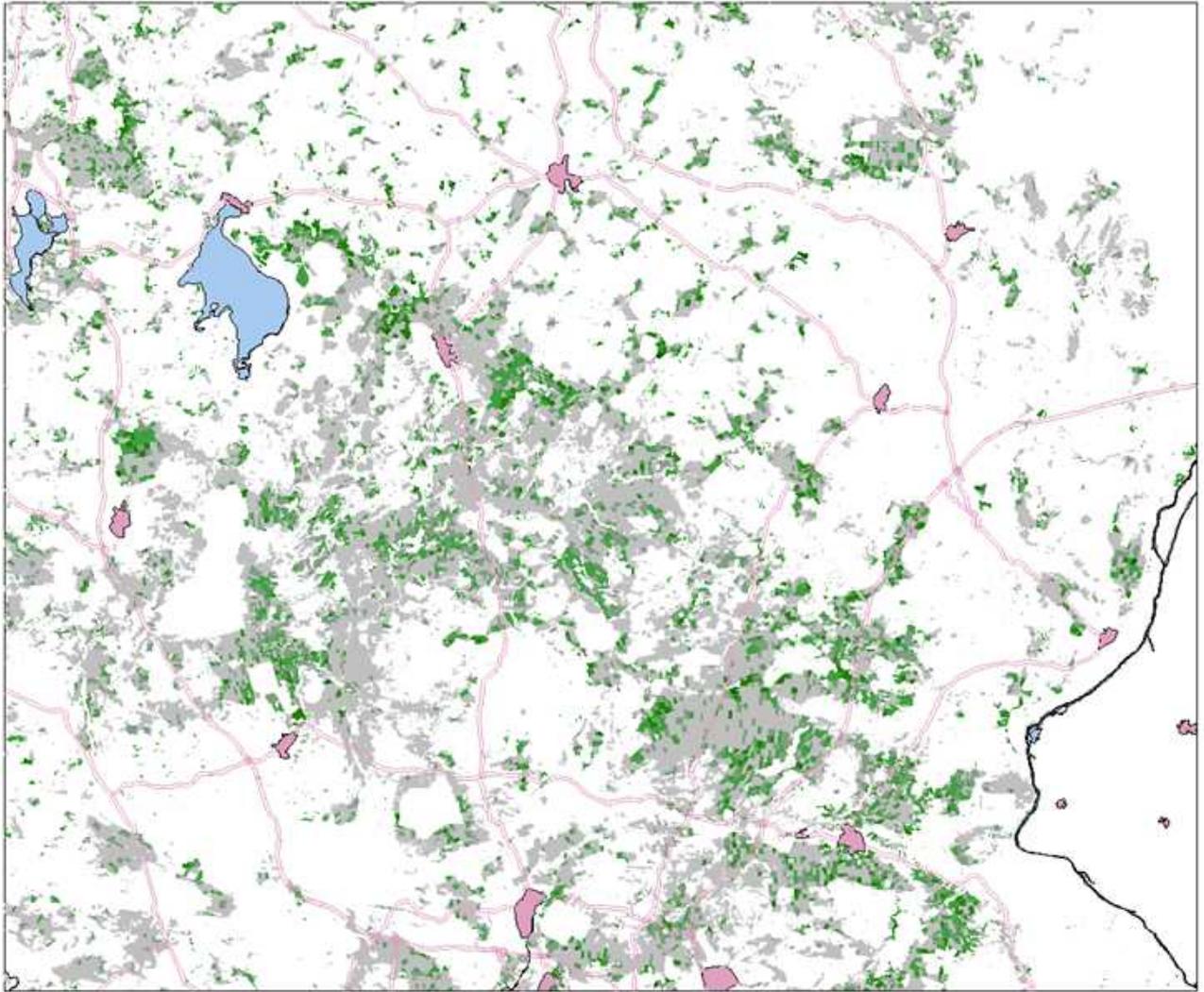
In dem nach dem Leitbild klimaplastischer Wälder optimierten Waldnutzungsszenario verringert sich der Anteil der mit erheblichen ökologischen Risiken und nachteiligen ökologischen Wirkungen einhergehenden Nadelbaumreinbestände in der Modellregion drastisch von derzeit 62% auf nur noch 1% im Jahre 2100, während sich der Anteil der Laubbaumbestände von derzeit 15% auf 43% erhöht (Tab. 13, Abb. 39-41). Nadelbäume bleiben eine wichtige ökonomische Säule der Forstwirtschaft in der Region, aber die ökologische Sicherheit des Nadelbaumanbaus wird durch gruppen- und horstweise Durchmischung von Nadel- und Laubbäumen erhöht. Dies äußert sich in der Zunahme der Nadelbaum-Laubbaum-Bestände von derzeit 23% auf 56% im Jahr 2100.

Der Anteil der Lichtwälder (2006: 69%; 2100: 15%) verringert sich in dem nach dem Leitbild klimaplastischer Wälder optimierten Waldnutzungsszenario deutlich zugunsten von Halbschatt- und Schattwäldern (2006: 10%; 2100: 33%). Gefördert werden vor allem Mischungen aus Lichtbaumarten und Schattbaumarten (2006: 21%; 2100: 50%), die einen besonders hohen waldbaulich-ökonomischen, aber auch ökologischen Wert besitzen. Solche Mischungen erlauben eine optimale Ausnutzung der vorhandenen Ressourcen, gewährleisten häufig eine verbesserte Bodenpflege und können gezielt zur Wertholzproduktion genutzt werden.

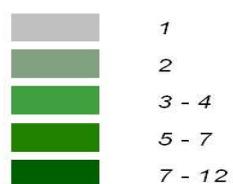
**Tab. 13:** Prozentuale Anteile der ökologischen Bestandesstrukturtypen auf den grundwasserfreien Waldstandorten der Modellregion Nordost-Brandenburg / Südost-Mecklenburg-Vorpommern nach dem klimaplastisch optimierten Waldentwicklungsszenario.

Ökologische Bestandesstrukturtypen	2006	2020	2040	2060	2080	2100
Nadelbaum-Lichtbaum	57,0	26,7	8,7	2,9	0,6	0,6
Nadelbaum-Schattbaum	2,0	3,4	1,8	1,7	0,6	0,1
Nadelbaum-Lichtbaum-Schattbaum	2,8	19,5	1,1	0,6	0,4	0,3
Nadelbaum-Laubbaum-Lichtbaum	9,4	17,0	19,9	20,9	18,3	12,9
Nadelbaum-Laubbaum-Lichtbaum-Schattbaum	11,0	16,4	42,2	41,1	38,5	27,2
Nadelbaum-Laubbaum-Schattbaum-Lichtbaum	0,5	1,0	0,5	0,3	0,3	0,2
Nadelbaum-Laubbaum-Schattbaum	0,7	1,1	1,3	1,5	2,6	2,9
Nadelbaum-Laubbaum-Lichtbaum-Halbschattbaum	1,8	0,8	1,2	0,7	0,2	0,2
Nadelbaum-Laubbaum-Schattbaum-Halbschattbaum	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Laubbaum-Lichtbaum	2,2	1,9	1,9	1,6	1,4	1,3
Laubbaum-Schattbaum	5,6	5,8	10,2	12,5	16,8	29,9
Laubbaum-Halbschattbaum	1,2	0,6	1,1	1,1	1,1	1,3
Laubbaum-Lichtbaum-Schattbaum	4,2	4,4	7,0	10,0	13,2	17,3
Laubbaum-Lichtbaum-Halbschattbaum	0,8	0,6	2,1	3,6	4,8	4,6
Laubbaum-Halbschattbaum-Schattbaum	0,6	0,6	1,0	1,3	1,2	1,2

Die Ergebnisse der Szenarienrechnung belegen, dass die durch die naturräumliche Ausstattung der Modellregion gegebenen Potenziale der Baumartendiversität derzeit nur ungenügend genutzt werden. Die natürlichen Diversitätspotenziale ermöglichen den Aufbau klimaplastischer Waldbestände, die bei vergleichsweise geringen ökologischen Risiken und vertretbaren Bewirtschaftungsaufwänden auch in Zukunft forstliche Wertschöpfung durch nachhaltige Ressourcennutzung gewährleisten.



*Baumartenzahl pro Bestand*

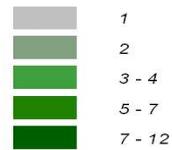


**Abb. 36:** Aktuelle Baumartenvielfalt (Zahl der Baumarten pro Bestand) auf der Waldfläche der NEWAL-NET-Modellregion Nordost-Brandenburg / Südost-Mecklenburg Vorpommern (400 000 ha grundwasserferne Standortbereiche der eingerichteten Holzbodenfläche). Räumliche Auflösung: Forstabteilung, jeweils vorherrschender Bestand der Abteilung. Quelle: Datenspeicher Wald Forstverwaltungen Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern, Stichjahr 2006.

2040

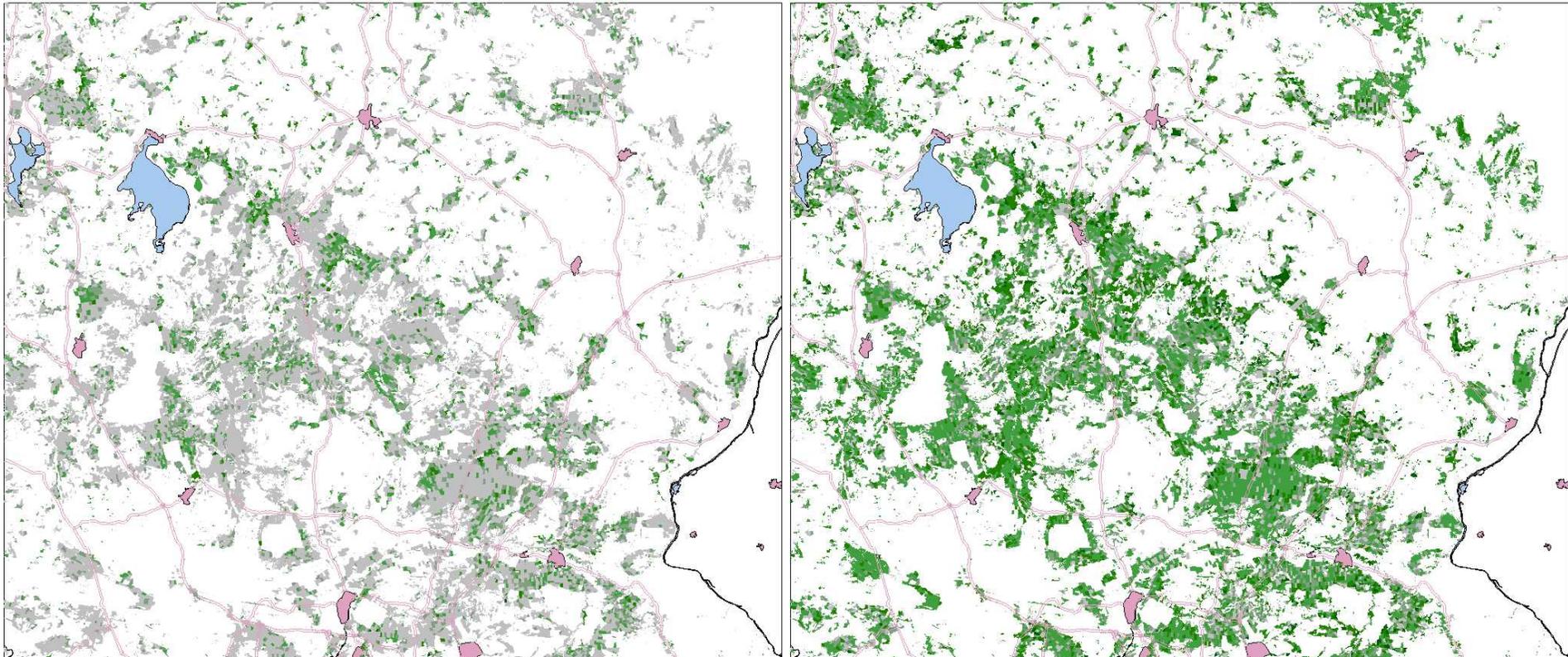
Fortschreibung heutiger  
Waldstrukturen

Baumartenzahl pro Bestand



2040

Klimaplastisch optimiertes  
Waldnutzungsszenario

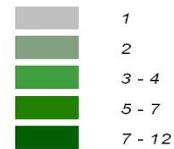


**Abb. 37:** Baumartenvielfalt (Zahl der Baumarten pro Bestand) im Jahr 2040 bei Fortschreibung der heutigen Waldstrukturen („business as usual“, links) und entsprechend des nach dem Leitbild klimaplastischer Wälder optimierten Waldnutzungsszenarios (rechts) auf der Waldfläche der NEWAL-NET-Modellregion Nordost-Brandenburg / Südost-Mecklenburg Vorpommern (400 000 ha grundwasserferne Standortsbereiche der eingerichteten Holzbodenfläche). Räumliche Auflösung: Forstabteilung, jeweils vorherrschender Bestand der Abteilung.

2100

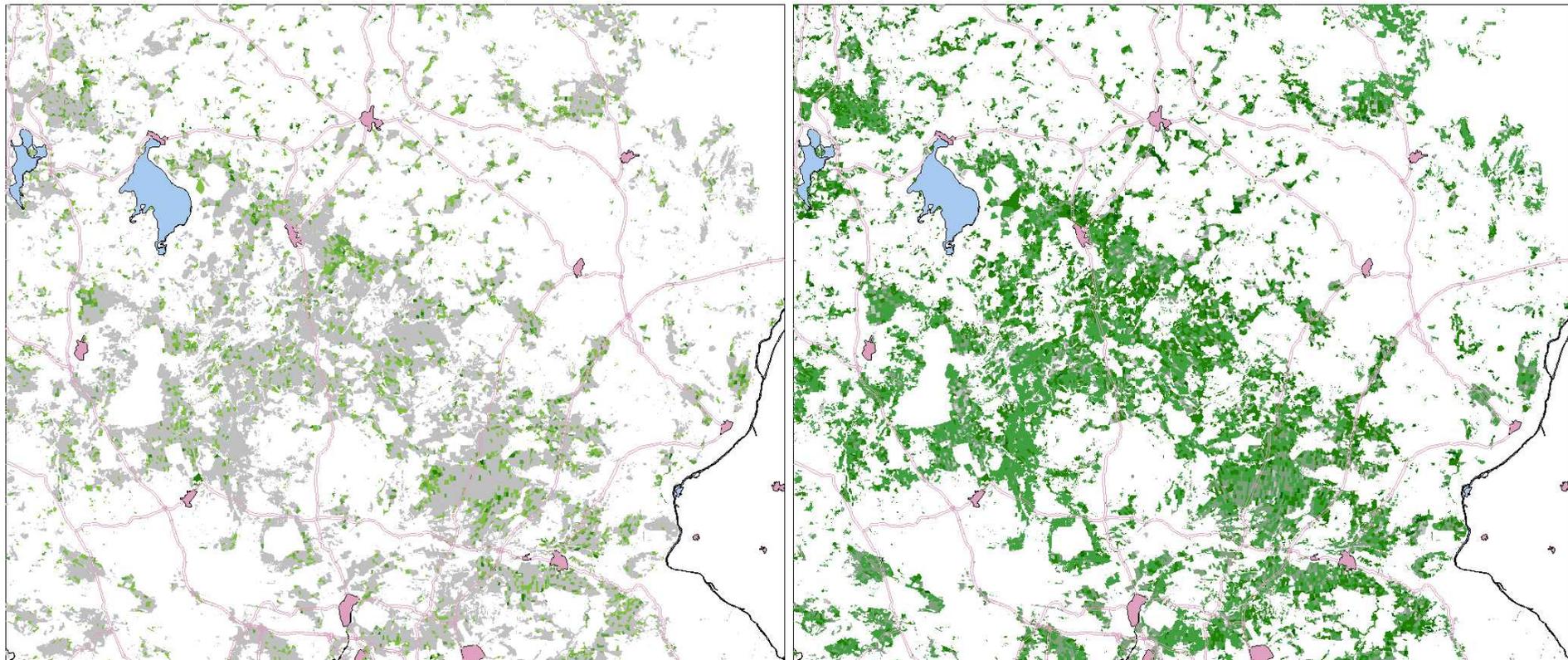
Fortschreibung heutiger  
Waldstrukturen

Baumartenzahl pro Bestand

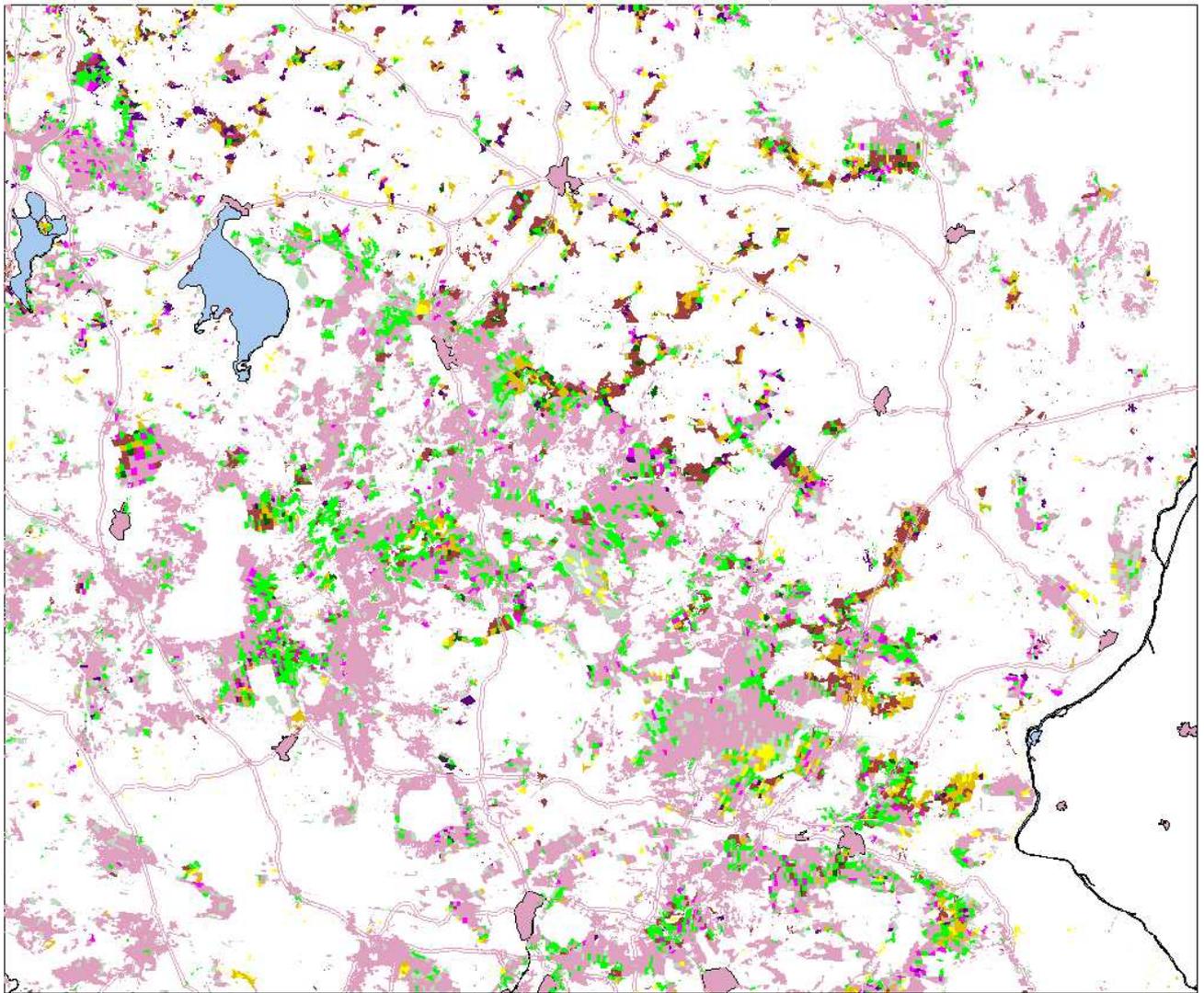


2100

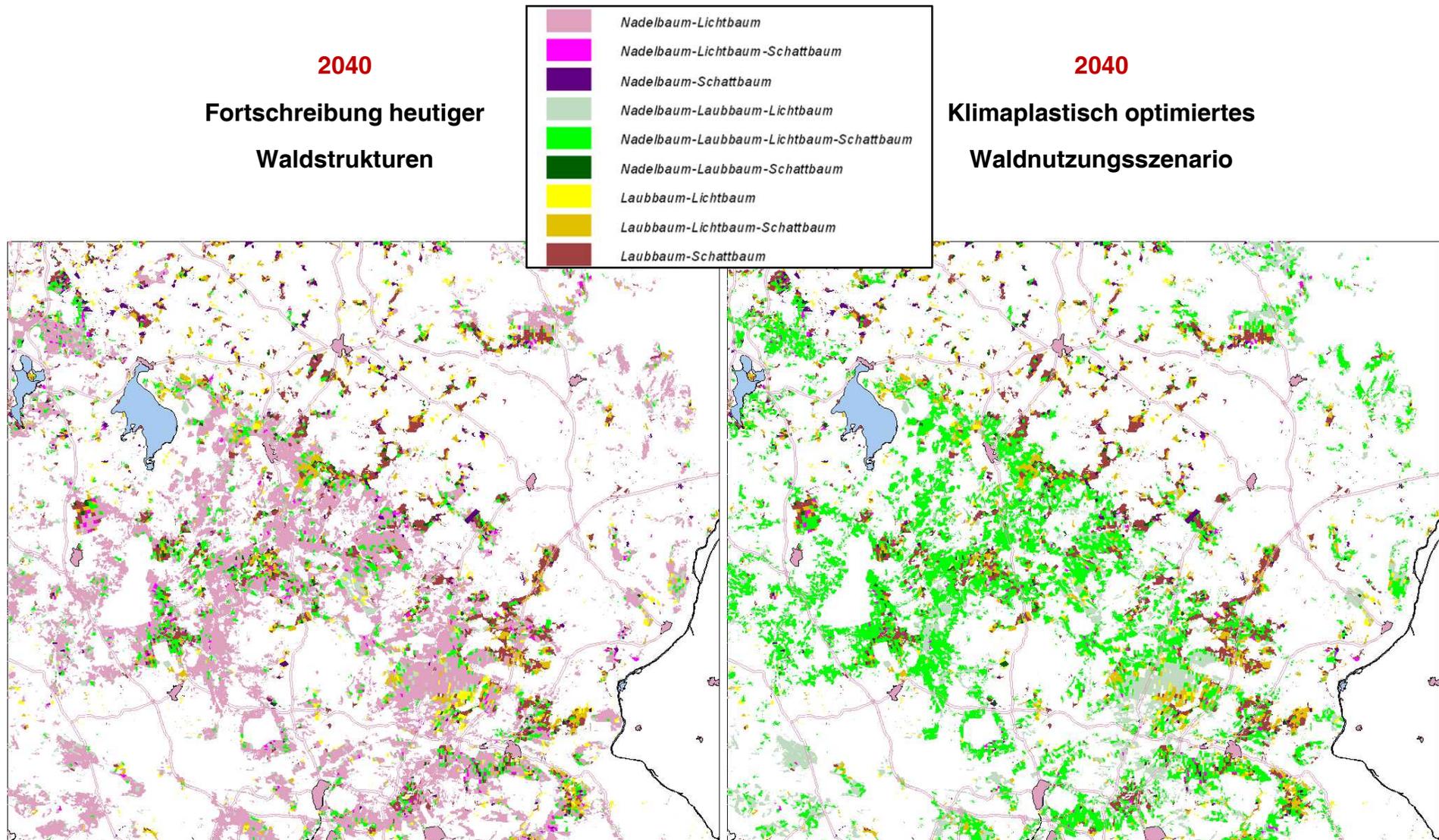
Klimaplastisch optimiertes  
Waldnutzungsszenario



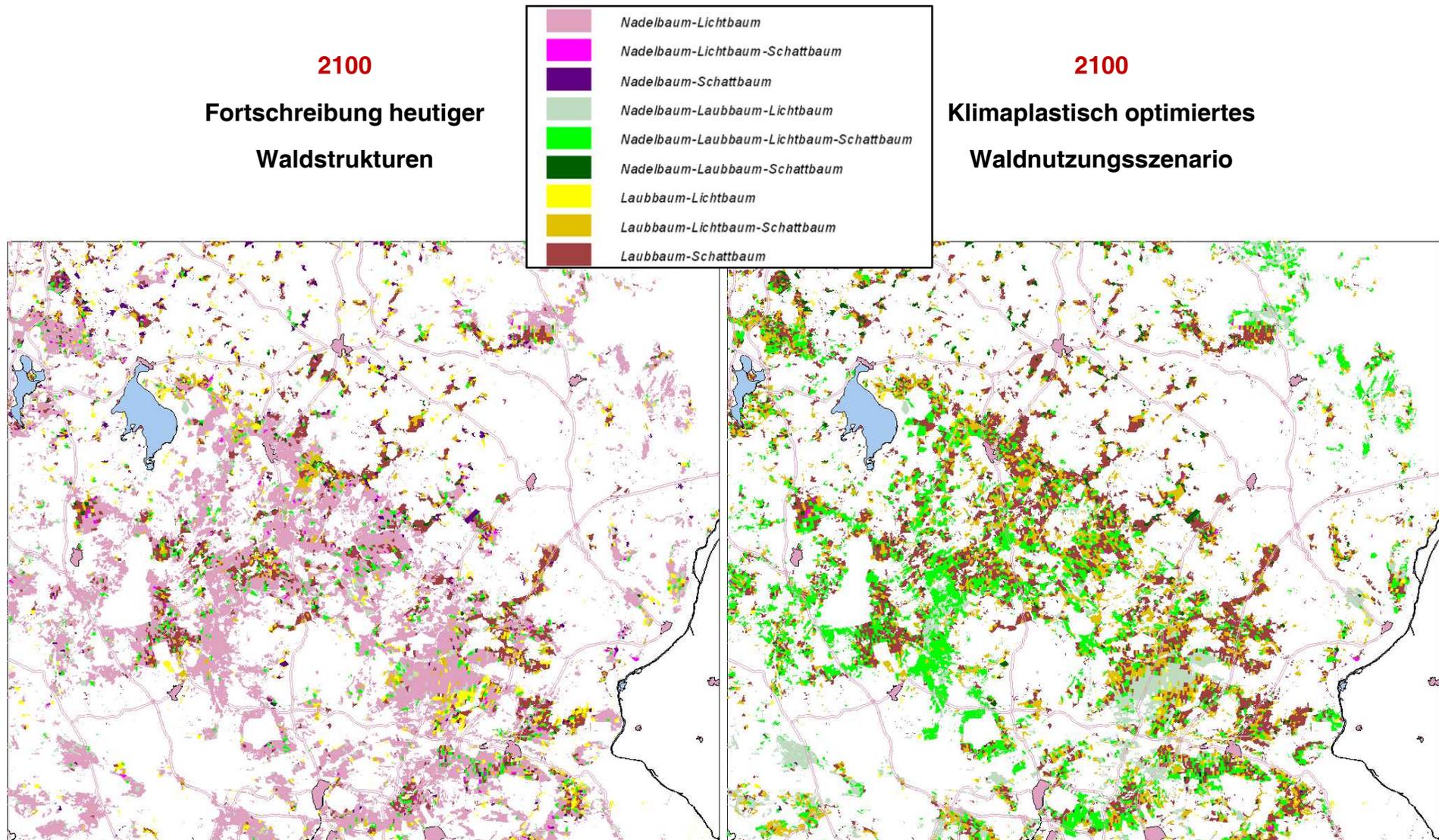
**Abb. 38:** Baumartenvielfalt (Zahl der Baumarten pro Bestand) im Jahr 2100 bei Fortschreibung der heutigen Waldstrukturen („business as usual“, links) und entsprechend des nach dem Leitbild klimaplastischer Wälder optimierten Waldnutzungsszenarios (rechts) auf der Waldfläche der NEWAL-NET-Modellregion Nordost-Brandenburg / Südost-Mecklenburg Vorpommern (400 000 ha grundwasserferne Standortsbereiche der eingerichteten Holzbodenfläche). Räumliche Auflösung: Forstabteilung, jeweils vorherrschender Bestand der Abteilung.



**Abb. 39:** Ökologische Bestandesstrukturtypen auf der Waldfläche der NEWAL-NET-Modellregion Nordost-Brandenburg / Südost-Mecklenburg Vorpommern (400 000 ha grundwasserferne Standortsbereiche der eingerichteten Holzbodenfläche). Räumliche Auflösung: Forstabteilung, jeweils vorherrschender Bestand der Abteilung. Quelle: Datenspeicher Wald Forstverwaltungen Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern, Stichjahr 2006.



**Abb. 40:** Ökologische Bestandesstrukturtypen im Jahr 2040 bei Fortschreibung der heutigen Waldstrukturen (links) und entsprechend des klimaplastisch optimierten Waldnutzungsszenarios (rechts) auf der Holzbodenfläche der NEWAL-NET-Modellregion. Räumliche Auflösung: Forstabteilung, jeweils vorherrschender Bestand der Abteilung.



**Abb. 41:** Ökologische Bestandesstrukturtypen im Jahr 2100 bei Fortschreibung der heutigen Waldstrukturen (links) und entsprechend des klimaplastisch optimierten Waldnutzungsszenarios (rechts) auf der Holzbodenfläche der NEWAL-NET-Modellregion. Räumliche Auflösung: Forstabteilung, jeweils vorherrschender Bestand der Abteilung.

## **II.1.9 Waldbauliche Maßnahmen zur Umsetzung des Leitbildes klimaplastischer Wälder**

Wichtige waldbauliche Maßnahmen zur Umsetzung des Leitbildes klimaplastischer Wälder sind u.a. die verstärkte Anwendung der Gruppendurchforstung, die Förderung von gut veranlagten Gruppen und Horsten der Zielbaumarten bei der Läuterung von Naturverjüngungen, das gezielte Auspflanzen von Windwurflicken und die Begründung mosaikartiger Vor- und Unterbauten in großflächigen Kiefernbeständen. Durch Ausnutzung der kleinräumigen Vielfalt der Standortsbedingungen können unterschiedliche Baumarten miteinander in eine Wechselwirkung gebracht werden, die das ökologische Gesamtrisiko auf der Ebene des Bestandes, des Betriebes und der Region erheblich senkt.

Die Entwicklung klimaplastischer Wirtschaftswälder nach natürlichen Konstruktionsprinzipien erfolgt wo immer dies möglich erscheint unter Nutzung und gezielter Förderung selbst organisierter Abläufe. Dabei sollte der Wirtschaftler im Sinne des Konzeptes des klimaplastischen Waldes vor allem auf die Förderung flächenhafter Mischungsstrukturen (Trupps, Gruppen, Horste) orientieren. Solche Horizontalstrukturen sind spannungsarm, da interspezifische Konkurrenzeffekte auf die Gruppenränder beschränkt werden. Hierdurch wird einer vorzeitigen Entmischung der Bestände vorgebeugt, Pflegeaufwände und Qualitätsverluste können minimiert werden.

In Kiefernforsten auf ziemlich armen und armen bis mäßig nährstoffversorgten Standorten, auf denen die Kiefer Hauptbaumart bleibt, können stabilitätsfördernde Beimischungen von Laubbäumen wie Eiche, Birke oder Eberesche häufig durch gezielte Förderung natürlicher Sukzessionen erzielt werden. Eine besonders vielfältige Horizontalstruktur, nämlich eine in Trupps und Gruppen in Erscheinung tretende ungleichmäßige Verteilung von Bäumen verschiedener Baumarten und verschiedenen Alters wird durch konsequente Anwendung der Gruppendurchforstung vor allem in den jüngeren und mittelalten Beständen der Kiefer erreicht. Die Gruppendurchforstung geht von der Beobachtung aus, dass Bäume mit guten oder schlechten Stammformen nicht gleichmäßig auf der Fläche verteilt sind sondern häufig „geklumpt“ vorkommen. Werden Gruppen vitaler Bestandeglieder nicht aufgelöst sondern Mattwüchsige in der Umgebung dieser Gruppen entfernt, so kann der homogene Reinbestand ohne Qualitätsverluste in relativ kurzer Zeit in einen horst-, gruppen- und truppweise ungleichaltrigen und gemischten Wald überführt werden (Greger 1995). Dies würde jedoch eine Abkehr von heute weitgehend üblichen schematischen Durchforstungsstrategien bedeuten. So führt eine übertrieben und großflächig angewandte Auslesedurchforstung durch die Entnahme der jeweils stärksten Bedränger der Ausleseebäume zu einer Monotonie gleichmäßig verteilter Z-Stämme, deren Schirmstellungen den Übergang zu einer vielfältigen Mosaikstruktur erschweren oder gar verhindern (Greger 1995).

Die Strategie der Förderung flächenhafter Baumartenmischungen sollte auch bei der Läuterung von Naturverjüngungen konsequent angewandt werden. So berichteten uns Förster, dass sie in der Naturverjüngung von Buchenwäldern zunehmend auftretende gut veranlagte Hainbuchen gruppen- und horstweise herausarbeiten (Abb. 42). Bei hohen Wilddichten muss dem selektiven Verbiss von Baumarten wie der Hainbuche oder Winter-Linde durch Zäunungen vorgebeugt werden.



**Abb. 42:** Forstlich bewirtschafteter Hainbuchen-Buchen-Mischwald auf nährkräftigem Standort mit natürlicher Verjüngung im April (Revier Grumsin). Durch den zeitigeren Blattaustrieb treten die Hainbuchen in der Verjüngung deutlich gegenüber den Rotbuchen hervor (Foto: M. Jenssen).

In Nadelbaumforsten mit hoher Naturferne, etwa auf den Moränenstandorten Nordbrandenburgs und Mecklenburg-Vorpommerns mit mindestens mittlerer bis kräftiger Nährstoffversorgung, aber auch in ausgedehnten Kiefernforstgebieten mit niedrigem natürlichem Regenerationspotenzial werden Verfahren der künstlichen Verjüngung klimaplastischer Wälder unumgänglich sein. Flächenhafte Mischungen der Zielbaumarten können durch gezieltes Auspflanzen von Windwurfklüften oder durch mosaikartiges Einbringen der Zielbaumarten begründet werden. Dabei sollte die horizontale Verteilung der verschiedenen Baumarten keinesfalls schematisch erfolgen, sondern auf der Grundlage einer hochauflösenden Standortserkundung (siehe auch praktische Beispiele im Abschnitt III.2.1). Eine solche kleinräumige Standortserkundung kann häufig durch den erfahrenen Forstmann über eine

Ansprache von Vegetation, Mikro- und Mesorelief und Boden selbst durchgeführt werden. Aus der häufig sehr beträchtlichen kleinstandörtlichen Differenzierung werden die räumlichen Muster der Baumartenzusammensetzung abgeleitet. Auf diese Weise kann es gelingen, die verschiedenen Baumarten entsprechend ihrer unterschiedlichen Standortsansprüche in kleinflächeweise getrennten Mischbeständen in Wechselwirkung zu bringen.

Von großer Bedeutung ist bei der künstlichen Verjüngung klimaplastischer Wälder die bessere Nutzung der genetischen Potenziale der Baumarten. Hierzu geeignete Maßnahmen wären verbesserte Verfahren der Herkunftssicherung, die Erhöhung der Anzahl der zugelassenen Saatgutbestände und die Einschränkung der Beerntung derselben Saatgutbestände in Folgejahren (Konnert & Hosius 2006).

## **II.1.10 Aktivitäten im Rahmen von Kooperationen innerhalb des NEWAL-NET-Projektverbundes**

### **II.1.10.1 Messung von Bestandesniederschlag und Stammabfluss in Hainbuchen-Buchen- und Winterlinden-Buchen-Mischbeständen unterschiedlicher Altersklassen (Kooperation Teilprojekt A, ZALF Müncheberg)**

Zur Abschätzung der landschaftshydrologischen Wirkungen klimaplastischer Wälder wurden ergänzende Messungen von Interzeptionsverdunstung und Stammabfluss an Hainbuche und Winter-Linde in Mischung mit Rot-Buche durchgeführt. Im Rahmen eines Schülerforschungsprojektes (Abschnitt II.1.10.4) wurden zusätzlich Stammabflussmessungen an Spitz-Ahorn durchgeführt. Die Interzeptionsverdunstung liegt in den jüngeren Buchen-Mischbeständen zwischen 10 bis 15 %, im älteren Hainbuchen-dominierten Buchen-Mischbestand zwischen 20 und 25 % und im älteren Linden-dominierten Buchen-Mischbestand um 30 % des Freilandniederschlages. Diese Ergebnisse bestätigen die Hypothese außerordentlich vorteilhafter hydroökologischer Wirkungen klimaplastischer Buchenmischwälder im Vergleich mit der derzeit dominierenden Nadelbaumbestockung. Der Anteil des Stammabflusses am Bestandesniederschlag liegt bei 2-5 % in Linden-dominierten Buchenmischwäldern und zwischen 5-15 % in Hainbuchen-dominierten Buchenmischwäldern, wobei klare Abhängigkeiten sowohl von Baumart und (durch Alter und Bestockungsdichte induzierter) Kronenform existieren. Die gewonnenen Daten wurden von dem Kooperationspartner zur Weiterentwicklung prozessorientierter Wasserhaushaltsmodelle und zur Regionalisierung von hydrologischen Wirkungen der Wälder genutzt.

### **II.1.10.2 Mitarbeit an Messung und Modellierung von Spurengasflüssen in unterschiedlichen Waldtypen (Kooperation Teilprojekt C, FZ Karlsruhe)**

Die Arbeitsgruppe des IMK-IFU des FZ Karlsruhe wurde bei der Auswahl und der Einrichtung der Messflächen im Modellgebiet unterstützt. Auf sämtlichen Untersuchungsplots, auf denen Kammermessungen von Spurengasflüssen und Untersuchungen mikrobieller Prozesse stattfanden, wurden Daten zu Kronendachstrukturen und Vegetationszusammensetzung erhoben und ausgewertet. Es erfolgte die Erfassung und Bearbeitung von 60 vollständigen Vegetationsanalysen und 41 digitalen Kronendachfotos, die Berechnung des strukturellen Abstandsmaßes (Kullback-Information) der 60 Vegetationsanalysen zu jeweils 3 Ökosystemtypen mit definierten Oberbodeneigenschaften, eine Bestimmung der Kronendach-Strukturelemente in oberer und unterer Baumschicht bzw. Strauchschicht sowie die Übergabe der Daten an die Arbeitsgruppe zur weiteren Bearbeitung im Rahmen von Regionalisierungsmodellen.

#### II.1.10.3 Mitarbeit an Modellierung von Habitatpotenzialen ausgewählter Tierarten im NEWAL-NET-Modellgebiet (Kooperation Teilprojekt D, GLN Kratzeburg)

Im Rahmen der Kooperation mit der GLN Kratzeburg wurden insbesondere methodische Grundlagen der Modellierung von Lebensraumpotenzialen ausgewählter Tierarten erarbeitet. Auf der Grundlage der Auszüge des Datenspeichers Wald wurden für sämtliche Waldbestände der Modellregion Diversitätsindizes zur Quantifizierung der Baumarten- und Strukturvielfalt berechnet. Diese Indizes wurden darüber hinaus für sämtliche Waldentwicklungsszenarien auf der Aggregationsebene der Forstabteilung berechnet und dem Teilprojekt in digitaler Form bereit gestellt. Ergebnisse der Zusammenarbeit wurden in einem gemeinsamen Vortrag (IALE 2009) vorgestellt und werden derzeit zur Publikation vorbereitet.

#### II.1.10.4 Durchführung eines Schülerforschungsprojektes zur Messung des Stammabflusses an der Baumart Spitz-Ahorn sowie Mitarbeit an weiteren Aktivitäten im Bereich Umweltbildung (Kooperation Teilvorhaben G, Humboldt-Universität)

In Kooperation mit dem Teilvorhaben Bildung und Kommunikation an der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin und der Naturschutzstiftung Schorfheide-Chorin wurde im Schuljahr 2006/2007 ein Schülerforschungsprojekt mit Schülern des Grundkurses Biologie der Gymnasialen Oberstufe des Albert-Einstein-Gymnasiums Angermünde konzipiert und durchgeführt.

Folgende Ziele wurden mit dem Schülerforschungsprojekt verfolgt:

- Praxisnahe Ergänzung des Unterrichts im Grundkurs Biologie (Themenkomplex Waldökosysteme), Erhöhung der Schülermotivation durch Integration aktueller und praxisrelevanter Forschung in den Unterricht
- Vermittlung von Fähigkeiten zum Aufbau, zur Durchführung und zur Auswertung von ökologisch-hydrologischen Experimenten unter Freilandbedingungen
- Vermittlung von Wissen, Werten und Verhaltensweisen zum verantwortungsbewussten Umgang mit der Umwelt, Biodiversität und Klimawandel

- Beförderung der gegenseitigen Öffnung von Schule, Wirtschaft und Wissenschaft

Ablauf des Schülerforschungsprojektes:

Das Schülerforschungsprojekt wurde mit einer Einführungsexkursion in das Untersuchungsgebiet (Waldflächen der Naturschutzstiftung Schorfheide-Chorin) im Anschluss an einen von der LGF der HUB durchgeführten Umweltbildungsworkshop eingeleitet (September 2006). An dieser Exkursion nahmen Umweltbildungsexperten, Lehrer und Schüler teil. Die Exkursion diente der Einführung in das Themengebiet und der Entwicklung erster Vorstellungen zu möglichen Schüleraktivitäten im Rahmen von NEWAL-NET.

Im Anschluss wurden mögliche Projektideen aus fachlicher, didaktischer und umweltpädagogischer Sicht in Zusammenarbeit der LGF, des W.I.E. und der Lehrkraft am Einstein-Gymnasium sondiert und das Schülerforschungsprojekt „Messung des Stammabflusses der Baumart Spitz-Ahorn in Buchenmischwäldern“ inhaltlich und organisatorisch konzipiert.

Eine erste Teilaufgabe der Schülerinnen und Schüler bestand darin, unter Anleitung des wissenschaftlich-technischen Mitarbeiters am W.I.E. fünf ausgewählte Bäume der Art Spitz-Ahorn mit Vorrichtungen zur Messung des Stammabflusses zu instrumentieren und den Aufbau schriftlich und in einem Videofilm zu dokumentieren. Der Versuchsaufbau besteht aus einer am Stammumfang rindenschonend angebrachten und abgedichteten Manschette zum Auffangen des am Stamm herabgleitenden Niederschlags. Die Manschette ist mit einer Abdachung aus Dachpappe vor hereinfliegenden Partikeln und nicht am Stamm abgleitendem Niederschlagswasser geschützt (Abb. 43). Das in der geneigten Manschette aufgefangene Niederschlagswasser wird in eine Auffangtonne abgeleitet, die in Abhängigkeit von der Dimension der Bäume und der zu erwartenden Stammabflussmenge über einen Überlauf mit weiteren Sammeltonnen verbunden ist. Diese Aufgabe wurde von den Schülern erfüllt.

Die Messung des Stammabflusses und die Kontrolle der Versuchseinrichtung wurden ereignisbezogen, mindestens jedoch einmal monatlich durchgeführt. Diese Aufgabe wurde planmäßig durch den Mitarbeiter des W.I.E durchgeführt.

Als zweite Teilaufgabe der Schülerinnen und Schüler war die Anfertigung einer schriftlichen Klausurersatzleistung geplant. Diese Arbeit sollte neben der Dokumentation des Versuchsaufbaus (Teilaufgabe 1) und einer fachlichen Einführung in die ökologisch-biologische Bedeutung des Stammabflusses eine einfache Auswertung der angefallenen Daten beinhalten. Diese Aufgabe wurde von den Schülerinnen und Schülern nicht erfüllt.



**Abb. 43:** Eine von fünf im Rahmen des Schülerforschungsprojektes eingerichteten Vorrichtungen zur Messung des Stammabflusses an Spitz-Ahornen im Linden-Hainbuchen-Buchenwald im Redernswalder Forst (Foto: M. Jenssen).

Das Projekt wurde stattdessen im Mai 2007 mit einer gemeinsamen Exkursion des gesamten Grundkurses Biologie in das Untersuchungsgebiet abgeschlossen. Auf dieser Exkursion wurden den Schülerinnen und Schülern von den Mitarbeitern des W.I.E. Artenkenntnisse und Grundlagen zur Bedeutung von Biodiversität in Buchenmischwäldern vermittelt. Im Rahmen der Exkursion verteidigten die am Schülerforschungsprojekt beteiligten Schülerinnen und Schüler den von ihnen angefertigten Versuchsaufbau vor ihren Mitschülern, der Lehrerin und den Mitarbeitern des W.I.E.

**Ergebnisse:**

In der gemeinsamen Auswertung des Schülerforschungsprojektes konnte festgestellt werden, dass die 1. Teilaufgabe einschließlich der Abschlussexkursion und Verteidigung im Sinne der Projektziele mit gutem Erfolg abgeschlossen wurde. Die Messung des Stammabflusses mit den von den Schülern angefertigten Versuchseinrichtungen wird über das Projektende von NEWAL-NET hinaus von der Naturschutzstiftung Schorfheide-Chorin weiter geführt. Insofern bestehen gute Voraussetzungen, ähnliche Projekte auch in Zukunft durchzuführen und methodisch-didaktisch zu verbessern. Mögliche Themen für anknüpfende Schülerforschungsprojekte auf den von der Stiftung Schorfheide-Chorin weiter geführten Versuchsflächen wären:

- Messung von durchtropfendem Niederschlag und Stammabfluss der Baumarten Rot-Buche, Trauben-Eiche, Hainbuche, Winter-Linde und Spitz-Ahorn
- Ermittlung von bestandesstrukturellen und holzmesskundlichen Kenngrößen in Eichen-Buchenwäldern und Linden-Hainbuchen-Buchenwäldern (Bestandesvermessung und Berechnung von Mittelhöhen, Mitteldurchmessern, Grundflächen und Vorratswerten)
- Messung des Streufalls verschiedener Baumarten der Eichen-Buchenwälder und Linden-Hainbuchen-Buchenwälder und Berechnung der Nettoprimärproduktion an Laubmasse
- Altersbestimmung an Bäumen

Die 2. Teilaufgabe wurde von den Schülerinnen und Schülern nicht erfüllt. Sie schätzten selber ein, dass der zu leistende Aufwand die zur Vorbereitung auf die Klausur erforderliche Zeit weit übersteigen würde und zogen daher die Teilnahme an der Klausur vor. Um die Motivation der Schüler zu erhalten, wäre für die Zukunft eine bessere Integration solcher Schülerforschungsprojekte in den Unterrichtsablauf und eine auf die Anforderungen der Schüler besser zugeschnittene Konzeption anzustreben. Ein kontinuierlicher und enger Kontakt zwischen Forschungseinrichtung und Schule muss auch personell gewährleistet werden. Idealerweise könnte dieser Kontakt von Wissenschaftlern vermittelt werden, die z.B. im Rahmen von Arbeitsgemeinschaften oder Honoraraufträgen an den jeweiligen Schulen selbst tätig sind.

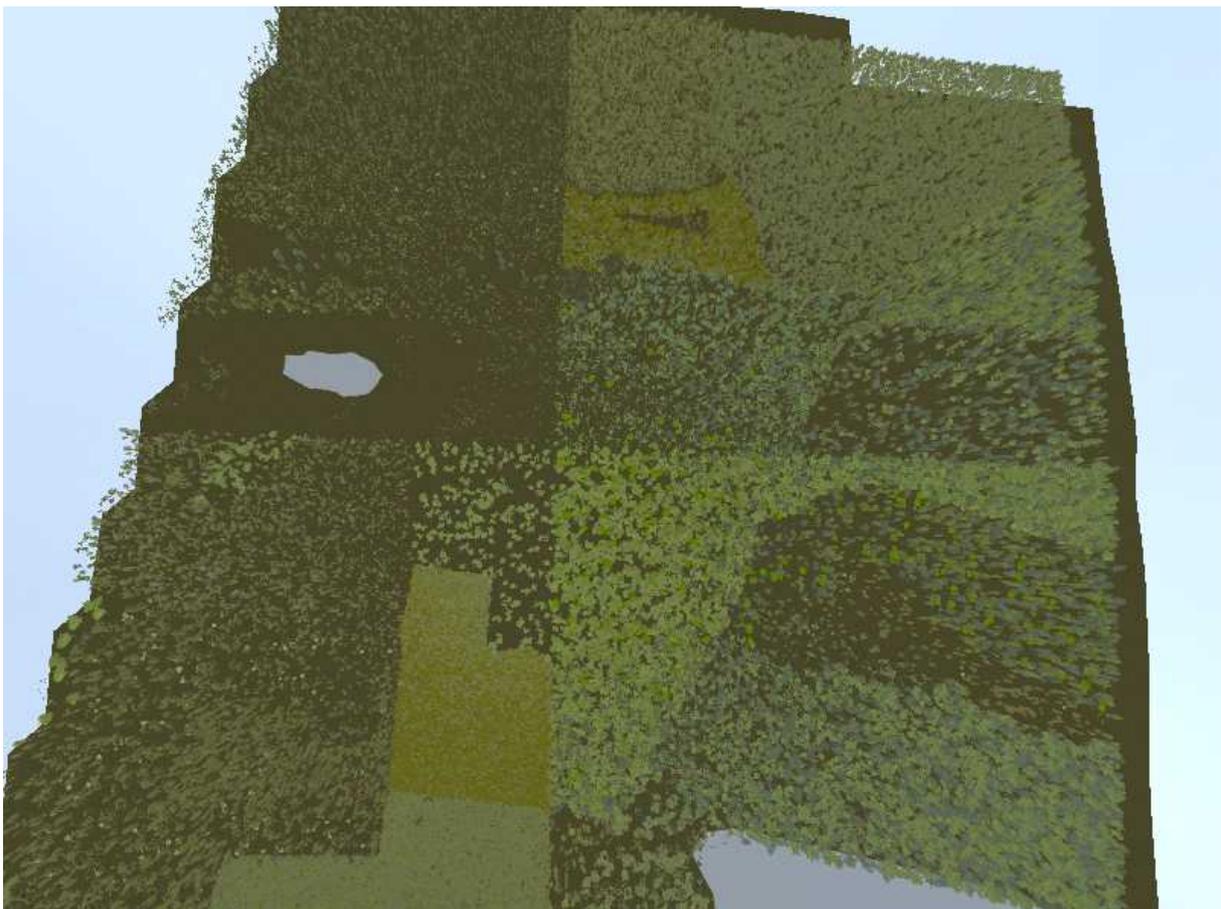
#### II.1.10.5 Mitarbeit an der Landschaftswerkstatt (Kooperation Teilvorhaben G, Büro für Landschaftskommunikation Bad Freienwalde)

Die Landschaftswerkstatt war ein zentrales Werkzeug der partizipativen Leitbildentwicklung und -umsetzung im Rahmen des Projektes NEWAL-NET. Aus diesem Grund war die enge fachliche Begleitung des kommunikativen Prozesses der Landschaftswerkstatt ein wichtiger Bestandteil der Arbeit im Teilprojekt.

Zu Beginn der Arbeit wurden Leitgedanken des Konzeptes klimaplastischer Wälder gemeinsam mit Dr. Kenneth Anders in Form von zehn Thesen als Diskussionsgrundlage formuliert. Anhand dieser Thesen wurde vor allem über die Ausstellungen und Workshops der Landschaftswerkstatt ein weiterführendes multilaterales Gespräch mit Landschaftsnutzern geführt, die sehr unterschiedliche Interessen an der Landschaft besitzen und folglich auch unterschiedliche Blickwinkel auf das Leitbild klimaplastischer Wälder entwickeln. Die in diesem Abschlussbericht dargestellten Ergebnisse und Verwertungsansätze sind aus diesem Diskussionsprozess heraus entwickelt worden.

#### II.1.10.6 Mitarbeit an der Visualisierung klimaplastischer Waldstrukturen als Beitrag zur partizipativen Leitbildentwicklung und –umsetzung (Kooperation Projekt SILVISIO, ZALF Müncheberg)

Das Projekt SILVISIO wurde im Rahmen des BMBF-Förderschwerpunktes „Nachhaltige Waldwirtschaft“ parallel zu NEWAL-NET federführend am ZALF Müncheberg bearbeitet. Zum Ende der Laufzeit beider Projekte war die Entwicklung des Visualisierungstools so weit fortgeschritten, dass mit einer Visualisierung von Waldstrukturen, die dem Leitbild klimaplastischer Wälder entsprechen, begonnen werden konnte. Durch das W.I.E. wurde hierzu eine kleinräumige Kartierung eines Waldausschnittes von einem Quadratkilometer Größe durchgeführt (Abb. 44). Im Ergebnis wurden hochauflösende Eingangsparameter für die Erarbeitung einer Computer-Visualisierung leitbildkonformer Waldstrukturen in digitalisierter Form bereit gestellt. Die am ZALF Müncheberg durchgeführte Visualisierung wurde vom W.I.E. wissenschaftlich begleitet. Bei diesem Ergebnis handelt es sich um eine Kooperation zwischen NEWAL-NET und SILVISIO im Rahmen des Förderschwerpunktes.



**Abb. 44:** Waldausschnitt im Redernswalder Forst von der Größe eines Quadratkilometers. Rechts im Vordergrund ist der nördliche Teil des Redernswalder Sees zu erkennen. Das Gebiet wurde vom W.I.E. kleinräumig kartiert, die Eingangsparameter der Visualisierung wurden dem ZALF übergeben (Quelle: W. Röhricht, SILVISIO:Visualisierung).



**Abb. 45:** Ausschnitt aus der hochauflösenden 3d-Visualisierung klimaplastischer Waldstrukturen im Redernswalder Forst (Quelle: W. Röhricht, SILVISO:Visualisierung).

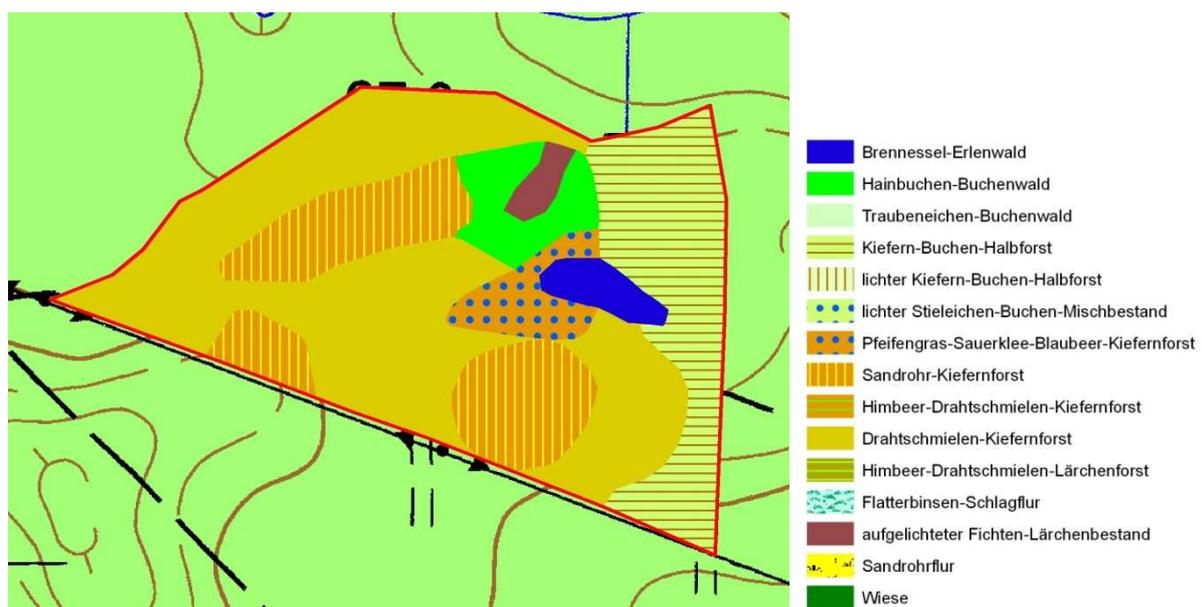
## II.2 Verwertung der Ergebnisse

### II.2.1 Praktische Begründung klimaplastischer Waldbestände (Kooperation Stiftung Schorfheide-Chorin)

Die Verwertung der im Projektverlauf erarbeiteten Ergebnisse zum Aufbau klimaplastischer Wälder wird entscheidend durch die Begründung praktischer Beispiele vorangetrieben. Auf der Grundlage der im Teilprojekt erarbeiteten Ergebnisse wurden durch den assoziierten Praxispartner Naturschutzstiftung Schorfheide-Chorin im Herbst 2007 auf ca. 11 ha Windwurffläche 14 Pflanzquartiere (+Anflug- und Saatflächen) mit insgesamt neun verschiedenen Baumarten (Traubeneiche, Stiel-Eiche, Rotbuche, Hainbuche, Winter-Linde, Flatter-Ulme, Vogel-Kirsche, Spitz-Ahorn, Elsbeere) begründet. Dem vorausgegangen waren eine hoch auflösende Standortserkundung, die Auflichtung der Bestände sowie die Zäunung der Flächen. Im Frühjahr 2008 wurde die Initialisierung durch einzelbaumweise Pflanzung von Lohden und Heistern im Ballen ergänzt. Im Jahr 2009 wird die Begründung klimaplastischer Waldbestände nach dem im Teilprojekt erarbeiteten Verfahren auf weiteren 5 ha fortgesetzt.

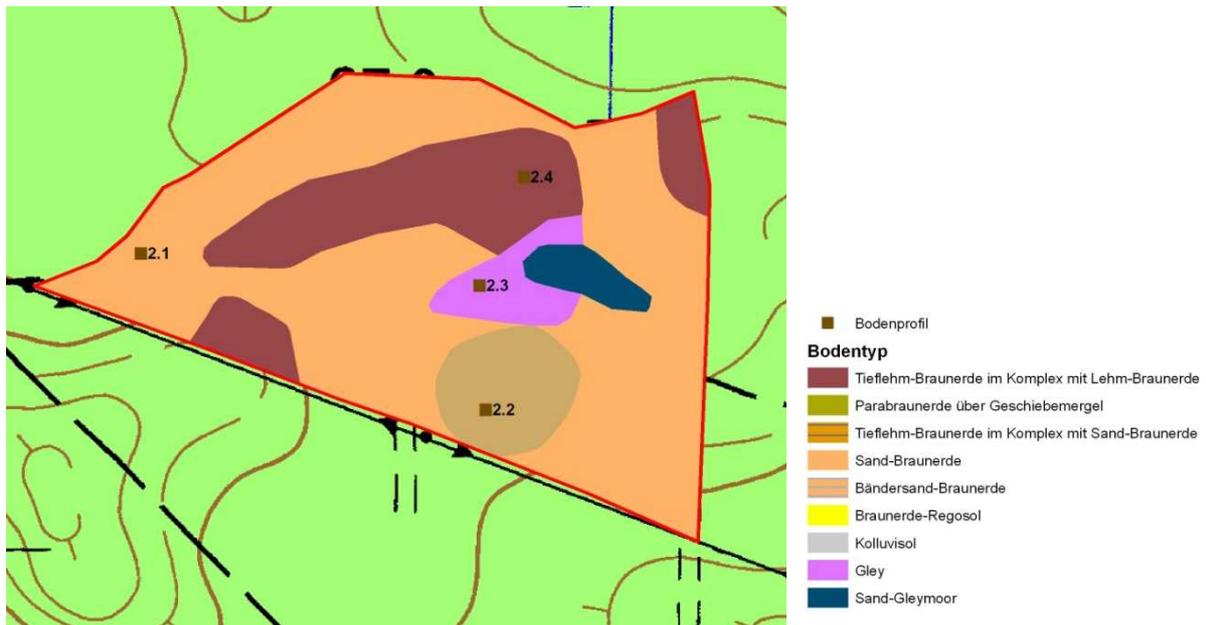
Feinstandörtliche Erkundung, Planung von Baumartenwahl und Pflanzmustern, Pflanzung und Zäunung erfolgten im Auftrag der Naturschutzstiftung über einschlägige Anbieter. Durch das W.I.E. wurden Planung und Ausführung wissenschaftlich begleitet.

Das angewandte Verfahren soll am Beispiel einer ca. 4 ha großen Teilfläche des Initialisierungsprojektes in groben Zügen erläutert werden. Auf der Grundlage einer Vegetationskartierung erfolgt zunächst die Abgrenzung vegetationsstrukturell und standörtlich homogener Teilflächen (Abb. 46).

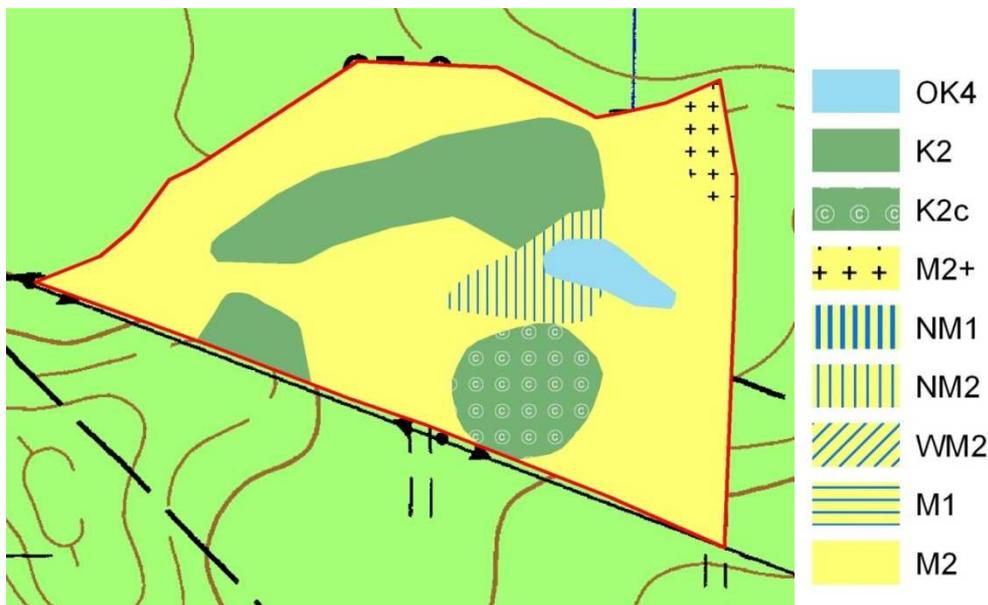


**Abb. 46:** Kartierung der aktuellen Vegetation auf der Waldumbaufläche 2 (Abt. 517b) der Naturschutzstiftung Schorfheide-Chorin (Quelle: Stiftung Schorfheide-Chorin).

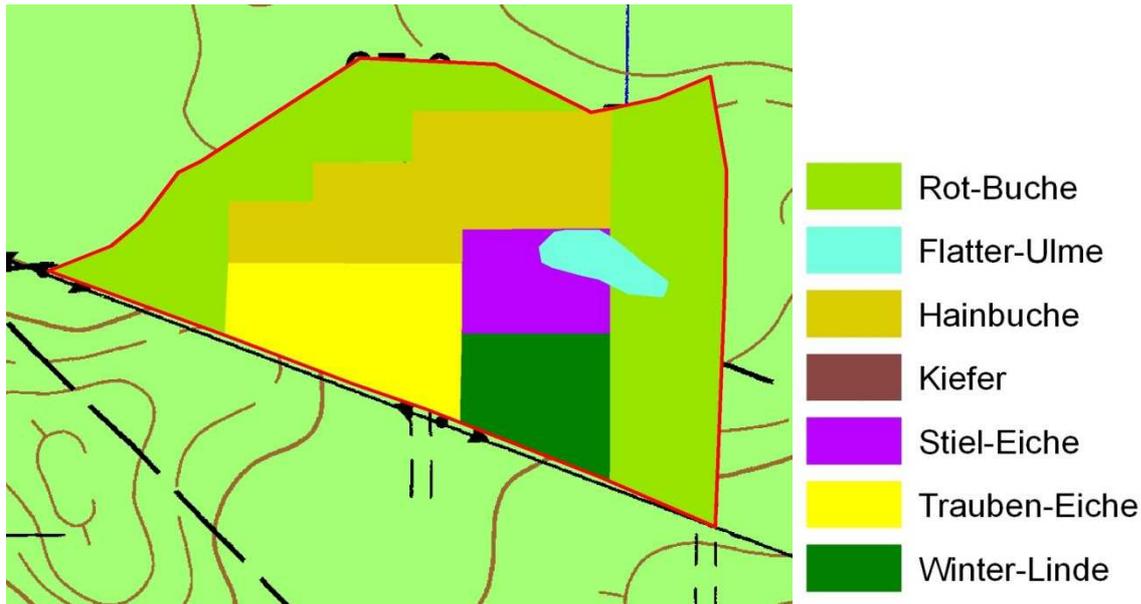
Die Teilfläche wird im Westen von einem Kiefernbestand geprägt. Im Ostteil stocken ein Kiefern-Buchen-Mischbestand sowie kleinflächig ein Hainbuchen-Buchenwaldfragment und ein stark aufgelichteter Fichten-Lärchen-Mischbestand. Die feinstandörtliche Erkundung erfolgt durch Anlage von Bodengruben (bis 40 cm Tiefe) und Entnahme von Bohrstock-Bodenkernen (bis 1m Tiefe) sowie durch zusätzliche chemische Analysen der Bodenprofile und von Oberbodenproben. Auf dieser Grundlage werden die Bodenformen (Abb. 47) und forstlichen Standortgruppen (Abb. 48) abgeleitet.



**Abb. 47:** Lage und Verbreitung der Bodenformen auf der Waldumbafläche 2 (Abt. 517b) der Naturschutzstiftung Schorfheide-Chorin (Quelle: Stiftung Schorfheide-Chorin).



**Abb. 48:** Standortskarte für Waldumbafläche 2 (Abt. 517b) (Quelle: Stiftung Schorfheide-Chorin).



**Abb. 49:** Pflanzplan für die Baumartenverteilung auf der Waldumbaufläche 2 (Quelle: Stiftung Schorfheide-Chorin).

Entsprechend der Ergebnisse des Teilprojektes werden für die ausgewiesenen Standortgruppen Baumarten vorgeschlagen, die die Begründung eines klimaplastischen Laubmischwaldes in Baumartenmosaik-Struktur unter dem Schirm des Nadelbaumbestandes erlauben (Abb. 49). Im Einzelnen wurden folgende Vorschläge abgeleitet und praktisch umgesetzt:

Gruppe mäßig frischer, mittelmäßig nährstoffversorgter Sande: Trauben-Eiche und/oder Rotbuche

Gruppe mäßig frischer, kräftig nährstoffversorgter Lehme und Tieflehme: Hainbuche

Gruppe mäßig frischer, kräftig nährstoffversorgter Tieflehme mit Karbonat im Untergrund: Winter-Linde (Abb. 50).

Gruppe dauerfeuchter, mittelmäßig nährstoffversorgter Sande: Stiel-Eiche

Gruppe mäßig feuchter, kräftig nährstoffversorgter Sand-Moorgleye: Flatter-Ulme

Auf den kalkunterlagerten Böden wurde die Einbringung einzelner Vogelkirschen, Elsbeeren und Spitz-Ahorne als Lohden oder Heister empfohlen (Abb. 51). Auch diese Baumarten gehören zum natürlichen Vegetationspotential der Standorte.

In Vorbereitung der Pflanzmaßnahme erfolgte eine Auflichtung des Kiefernbestandes, wobei ein Kronenüberschirmungsprozent der Kiefern zwischen 40 und 45 % angestrebt wurde. Bei der Ermittlung des Kronenüberschirmungsprozentes wird neben dem Kronenschlussgrad auch die Höhe des überschirmenden Kiefernbestandes bis zum Beginn des Kronenansatzes berücksichtigt (Noack 2008). Angesichts der relativ hohen Wildbestände war eine Zäunung der Flächen unumgänglich.



**Abb. 50:** Kleinflächiger Voranbau der Winter-Linde in einem Sandrohr-Kiefernforst auf mäßig frischem kräftig nährstoffversorgten Tieflehm mit Karbonat im Untergrund, Waldumbaufläche 2 (Abt. 517b) der Naturschutzstiftung Schorfheide-Chorin (Foto: Jenssen).



**Abb. 51:** Nachträglich wurden auf den kalkunterlagerten Böden der Waldumbaufläche 2 einzelne Exemplare Vogel-Kirsche (Bild), Spitz-Ahorn und Elsbeere eingebracht (Foto: Hofmann).

## **II.2.2 Waldentwicklungsplanung der Bundesländer (Kooperation Landesforstverwaltungen)**

Die vorliegenden Ergebnisse des Projektverbundes NEWAL-NET bilden eine wichtige Grundlage zur Weiterentwicklung der Bestandes- bzw. Bestockungszieltypenplanung der Bundesländer Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern (Röhe 1999, 2002; Luthardt 2006). Die Landesforstverwaltungen der beiden Bundesländer haben den Prozess der Leitbildentwicklung aktiv begleitet, die Projektbearbeitung als assoziierte Partner in vielfältiger Form unterstützt und ein großes Interesse an den Ergebnissen signalisiert. Der Zuwendungsempfänger wird den Landesforstverwaltungen diesen Bericht und ggf. weitere aus der Projektbearbeitung hervorgegangene Materialien umgehend zur Verfügung stellen und mit den gewonnenen Erkenntnissen die Waldentwicklungsplanung der Bundesländer nach Bedarf aktiv unterstützen.

## **II.2.3 Verwertung im Rahmen des Innovationsnetzwerks Klimaanpassung Berlin-Brandenburg (Kooperation INKA-BB)**

Die in diesem Teilprojekt gewonnenen Erkenntnisse werden im Rahmen des Teilprojektes 15 „Adaption durch klimaplastische Waldbewirtschaftung“ im „Innovationsnetzwerk Klimaanpassung Berlin-Brandenburg“ der BMBF-Förderinitiative „Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten (KLIMZUG)“ regional umgesetzt. Das Vorhaben ist auf die regionsspezifischen Auswirkungen des globalen Klimawandels und die Erarbeitung von Anpassungsmöglichkeiten der Regionen gerichtet.

Innerhalb dieses Vorhabens wird zunächst eine flächenkonkrete Risikobewertung der derzeitigen Waldstrukturen in zwei brandenburgischen Schwerpunktregionen durchgeführt. Im Ergebnis erfolgt eine räumliche Klassifizierung der Waldfläche in Risikoklassen und die Identifizierung von Gebieten mit erhöhten Gefährdungspotenzialen. Hierauf aufbauend werden für diese Gebiete alternative Zielstrukturen auf standörtlicher Grundlage abgeleitet, die dem Leitbild des klimaplastischen Mischwaldes entsprechen. Aus der Analyse der gegenwärtigen Bestockungs- und Alterklassenstruktur werden die sich innerhalb der nächsten zwei Dekaden ergebenden waldbaulichen Handlungsoptionen zur Entwicklung klimaplastischer Waldstrukturen ermittelt.

Aus der Gegenüberstellung von Gefährdungspotenzialen einerseits und der kurz- bis mittelfristigen Handlungsoptionen andererseits erfolgt für drei typische Forstbetriebseinheiten mit unterschiedlichen Betriebszielen und differenzierter Gewichtung von Waldfunktionen (Kommunalwaldbetrieb, Landeswaldbetrieb, Privatwaldbetrieb) eine flächenkonkrete Optimierung der Bestandeszieltypen. Dieser Arbeitsschritt erfordert die enge Interaktion mit den Stakeholdern und bildet eine zentrale Schnittstelle zu den kooperierenden Projektpartnern (Bewertung

verschiedener Optionen der Waldentwicklung im Hinblick auf die jeweiligen Betriebsziele, waldbauliche Maßnahmen zur Einleitung und Begleitung der Waldentwicklungsmaßnahmen, Abschätzung der aus notwendigen Anpassungsmaßnahmen resultierenden Aufwände, Bewertung der Ertragspotenziale der Bestandeszieltypen, Quantifizierung von Wirkungen auf grundwasserabhängige Landschaftselemente u.a).

Die im partizipativen Dialog zwischen Stakeholdern und allen Projektpartnern für drei exemplarisch ausgewählte Betriebe erarbeiteten Ergebnisse bilden die Grundlage für ein im Rahmen des Gesamtprojektes zu erarbeitendes Werkzeug zur Unterstützung von Planungsprozessen und Betriebsentscheidungen. Hiermit wird eine Übertragung der Ergebnisse auf den gesamten Aussageraum vorbereitet. Der Auftragnehmer wirkt im Rahmen dieses Arbeitsschrittes mit an der vom Auftraggeber koordinierten Erstellung eines formalisierten Regelsystems, dass die Ableitung von flächenkonkreten Handlungsempfehlungen zur Erhöhung der Klimaplastizität der vorhandenen Waldstrukturen durch geeignete waldbauliche Maßnahmen (Bestandespflege, Förderung, Sicherung und Steuerung von Naturverjüngung, künstliche Einbringung von Baumarten u.a.) auf der Grundlage von Standorts- und Bestandesdaten in Abhängigkeit von betrieblichen Zielsetzungen und überbetrieblichen Rahmenvorgaben gestattet.

### **II.3 Während des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen**

In der internationalen Literatur publizierte neue methodische Entwicklungen und Erkenntnisse wurden fortlaufend in die Arbeiten integriert.

### **II.4 Vorträge und Veröffentlichungen**

Im Ergebnis der Projektbearbeitung wurden folgende Publikationen angefertigt:

JENSSEN, M. (2009): Waldgeografisch-ökoklimatische und dendroökologische Grundlagen klimaplastischer Wälder (Arbeitstitel). Forst und Holz, in Vorbereitung.

JENSSEN, M. (2009): Die Entwicklung klimaplastischer Wälder in Nordostdeutschland – ein regionales Bewirtschaftungsszenario und praktische Beispiele der Begründung durch die Naturschutzstiftung Schorfheide-Chorin (Arbeitstitel). Forst und Holz, in Vorbereitung.

JENSSEN, M. (2009): Die grüne Douglasie im klimaplastischen Wald des Tieflandes – ökoklimatisch-waldgeografische Grundlagen. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, in Vorbereitung.

- JENSSEN, M. (2008): Potenziale der Artenvielfalt und Selbstorganisation. Der „gute ökologische Zustand“ langlebiger terrestrischer Ökosysteme aus Sicht der systemökologischen Waldforschung. UBA-Texte 29 / 08, 110-126. <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/dateien/3508.htm>
- JENSSEN, M. (2007): Ecological potentials of biodiversity modelled from information entropies: Plant species diversity of North-Central European forests as an example. Ecological Informatics 2/4, 328-336. Online via ScienceDirect: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoinf.2007.06.003>
- JENSSEN, M. (2007): Klimaschutz und Waldentwicklung. In: Was können UNESCO Biosphärenreservate für den Klimaschutz tun? Potsdamer Klimakonferenz 2006. Media Print, Reinbek, S.24-27.
- JENSSEN, M., HOFMANN, G., POMMER, U. (2007): Die natürlichen Vegetationspotentiale Brandenburgs als Grundlage klimaplastischer Zukunftswälder. In: Beiträge zur Gehölkunde 2007, Hrsg: Gesellschaft Deutsches Aboretum e.V., Hansmann Verlag, Hemmingen, S.17-29.
- ANDERS, K., FISCHER, L., JENSSEN, M., ENDE, H.-P. (2007): Ein Waldtyp der Zukunft in der Landschaftswerkstatt. AFZ-Der Wald 62 / 22, 1206 – 1209.
- JENSSEN, M. (2006): Entropie und Biodiversität: Ökologische Potentiale der Artenvielfalt. In: PÖSCHEL, T.; MALCHOW, H.; SCHIMANSKY-GEIER, L. (Hrsg.): Irreversible Prozesse und Selbstorganisation. Logos-Verlag Berlin, 2006, ISBN 3-8325-1350-7, S. 265-279.
- JENSSEN, M. (2006): Waldbilder und Waldtypen am Kreuzweg unterschiedlicher waldgeografisch-klimatischer Einflüsse. Fachexkursion in den Gellmersdorfer Forst am 28. April 2006. Brandenburgische Forstnachrichten 15 (2006) 123, 14-15.

Im Ergebnis der Projektbearbeitung wurden folgende Vorträge und Exkursionen durchgeführt:

- 24 September 2009:** Die Grüne Douglasie im klimaplastischen Wald des Tieflandes – ökoklimatisch-waldgeografische Grundlagen. Plenarvortrag mit Exkursion Die Douglasie im nordostdeutschen Tiefland – Chancen und Risiken im Klimawandel. Jahrestagung des Brandenburgischen Forstvereins, Eberswalde
- 10 September 2009:** Nutzung und Nutzungskonkurrenz in waldreichen Landschaften – Das Leitbild des klimaplastischen Waldes und seine praktische Umsetzung auf den Waldflächen der Naturschutzstiftung Schorfheide-Chorin. Vortrag Nachhaltigkeit in Forst und Holz. Neue Antworten auf alte Fragen. Abschlussstagung des BMBF-Förderschwerpunktes „Nachhaltige Waldwirtschaft“, Hamburg

- 28 Mai 2009:** Dynamische Biodiversitätspotenziale der Landschaft – Herausforderung für die Landschaftsökologie. Vortrag  
Workshop „Landschaftsstruktur und biologische Vielfalt“ der AG „Landschaftsstruktur“ der Deutschen Sektion der International Association for Landscape Ecology (IALE), Eberswalde
- 23 März 2009:** Ableitung eines regionalen Waldnutzungsszenarios nach dem Leitbild klimaplastischer Wälder aus waldgeografischen, vegetations- und dendroökologischen Grundlagen. Vortrag  
Abschlussstagung zum Forschungsprojekt NEWAL-NET („Nachhaltige Entwicklung von Waldlandschaften im nordostdeutschen Tiefland“), Humboldt-Universität, Berlin
- 5 März 2009:** Untersuchungen zu klimaplastischen Waldbeständen im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin. Vortrag  
1. Wissenschaftstag des Biosphärenreservates Schorfheide-Chorin. NABU-Informationszentrum Blumberger Mühle, Angermünde
- 4 Dezember 2008:** Using Kullback information of species composition for classification, monitoring, and modeling of forest vegetation with changing environments. Oral presentation  
6<sup>th</sup> International Conference on Ecological Informatics. Cancun, Mexico
- 11 Juni 2008:** Climate change and forests: coping with the challenges of an uncertain future.  
Excursion with students of the University Ljubljana, Slovenia. Redernswalde, Biosphere Reserve Schorfheide-Chorin
- 5 April 2008:** Klimawandel und Wasserknappheit – wie sieht der Wald der Zukunft aus? Plenarvortrag mit Exkursion  
Waldbesitzerverband Brandenburg e.V., Eberswalde
- 25 Februar 2008:** Leitbilder, Zukünfte und deren Akteure. Moderation der thematischen Arbeitsgruppe  
BMBF-Förderschwerpunkt „Nachhaltige Waldwirtschaft“, Statuskolloquium „Transfer, Bildung, Integration“, Berlin
- 29 November 2007:** Biologische Vielfalt, Stabilität und Naturnähe – falsche Paradigmen und neue Konzepte. Kolloquiumsvortrag  
Systemwissenschaftliches Kolloquium am Institut für Umweltsystemforschung der Universität Osnabrück. Osnabrück
- 16 November 2007:** Kiefernwald – Kiefernforst. Unterschiede in Ökologie und Vegetation mit Auswirkungen auf Bewirtschaftung und Naturschutz. Vortrag mit Podiumsdiskussion zum Thema „Wie kann eine zukunftsfähige Kiefernwirtschaft gesichert werden?“  
Fachtagung „Aktuelle Aspekte zur Bewirtschaftung und Ökologie der Kiefer im nordostdeutschen Tiefland“, Eberswalde

- 10 Oktober 2007:** Beispiele für klimaplastische Wälder im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin. Exkursion mit Einführungsvortrag  
Landschaftswerkstatt Schorfheide-Chorin im BMBF-Projekt NEWAL-NET, Workshop zur sozialen Dimension der Nachhaltigkeit, Chorin / Redernswalde
- 28 September 2007:** Wald und Wasser. Exkursion mit Pressegespräch  
BMBF-Projekt NEWAL-NET, Pressegespräch, Wolletz / Redernswalde
- 19 September 2007:** Potenziale der Artenvielfalt und Selbstorganisation. Der „gute ökologische Zustand“ naturnaher terrestrischer Ökosysteme aus Sicht der systemökologischen Waldforschung. Plenarvortrag und Moderation der thematischen Arbeitsgruppe  
UBA-Workshop „Der gute ökologische Zustand naturnaher terrestrischer Ökosysteme – ein Indikator für Biodiversität?“, Dessau
- 28 August 2007:** Vorstellung eines praktischen Beispiels der Initialisierung klimaplastischer Waldbestände in der Naturschutzstiftung Schorfheide-Chorin. Vortrag mit Exkursion  
Landschaftswerkstatt Schorfheide-Chorin im BMBF-Projekt NEWAL-NET, Workshop zur multifunktionalen Waldwirtschaft, Chorin / Redernswalde
- 6 Juni 2007:** Waldentwicklung unter den Bedingungen eines sich wandelnden Klimas – Anregungen für die Berliner Forsten. Vortrag mit Exkursion  
Berliner Forsten, Forstamt Pankow
- 23 Mai 2007:** Biologische Vielfalt, Naturnähe und Waldfunktionen. Exkursion mit Schülern des Gymnasiums Angermünde, Redernswalde
- 1 Februar 2007:** Freiheitsgrade in die Zukunft mit ökoplastischen Wäldern – Thesen zur nachhaltigen Waldentwicklung aus Sicht der systemökologischen Forschung. Plenarvortrag und Moderation der thematischen Arbeitsgruppe  
Nachhaltigkeitsworkshop BMBF-Programmschwerpunkt „Forschen für Nachhaltigkeit“, Leipzig
- 4 December 2006:** Ecological potentials of biodiversity modeled from information entropies: plant species diversity of North-Central European forests as an example. Oral presentation  
5<sup>th</sup> International Conference on Ecological Informatics. Santa Barbara, CA, USA
- 8 November 2006:** Klimawandel und Waldentwicklung. Plenarvortrag mit Pressekonferenz und Fernsehinterview RBB  
Potsdamer Klimakonferenz 2006 „Was können UNESCO Biosphärenreservate für den Klimaschutz tun?“, Potsdam
- 28 Oktober 2006:** Die Vielfalt der Waldlandschaft Brandenburgs. Reelle und virtuelle Ansichten. Vortragsveranstaltung  
Haus der Naturpflege e.V., Bad Freienwalde

- 25 Oktober 2006:** Ökologische Forschungen zum Waldumbau in Kiefernforsten. Plenarvortrag mit Podiumsdiskussion  
3. Kolloquium der Landesforstverwaltung Mecklenburg-Vorpommern, Ludwigslust
- 29 September 2006:** Baumartenreiche Laubmischwälder im klimatischen Übergangsbereich. Exkursion mit Einführungsvortrag  
NABU-Informationszentrum Blumberger Mühle, Angermünde / Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin
- 26 September 2006:** Freiheitsgrade in die Zukunft mit klimaplastischen Wäldern – das BMBF-Projekt NEWAL-NET. Vortrag  
BfN-Tagung „Biodiversität und Klima – Vernetzung der Akteure in Deutschland. III“, Internationale Naturschutzakademie Insel Vilm
- 15 September 2006:** Entropy and Biodiversity. Oral presentation  
Festkolloquium zum 70. Geburtstag von Prof. Dr.habil. Werner Ebeling
- 28 April 2006:** Waldbilder und Waldtypen am Kreuzweg unterschiedlicher waldgeografischer und klimatischer Einflüsse. Exkursion mit Einführungsvortrag  
Wissenschaftliche Festveranstaltung zum 75. Geburtstag von Prof. Dr.habil. Gerhard Hofmann, Nationalpark Unteres Odertal, Gellmersdorf / Criewen
- 8 April 2006:** The forests of the Biosphere Reserve Schorfheide-Chorin. Excursion with introduction  
Internationale Gutachtersitzung zum DFG-Verbundprojekt “Biodiversity Exploratories”, Angermünde, Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin
- 3 März 2006:** Die natürlichen Vegetationspotentiale Brandenburgs als Grundlage klimaplastischer Zukunftswälder. Vortrag  
53. Dendrologische Wintertagung „Gehölze und Klimawandel“, Potsdam

## **II.5 Danksagung**

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 0330562H gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Herzlicher Dank gilt den zuständigen Mitarbeitern des PTJ, FZ Jülich GmbH für die hervorragende fachliche und administrative Begleitung der Projektarbeiten. Besonderer Dank gilt auch dem Verbundprojektkoordinator, Herrn Dr. Peter Ende, ZALF Müncheberg e.V., der die Schnittstellen zwischen den verschiedenen Arbeitsgruppen und externen Partnern trotz naturgemäß im Forschungsprozess auftretender Schwierigkeiten in geduldiger und besonnener Art koordiniert hat.

Die Naturschutzstiftung Schorfheide-Chorin und das Ehepaar Fiege, Gut Wolletz, haben die Arbeiten zur Leitbildentwicklung und –umsetzung in vielfältiger Weise unterstützt. Hervorzuheben sind die Unterstützung der Forschungsarbeiten auf den Flächen der Stiftung, die Förderung der Landschaftswerkstatt Schorfheide-Chorin und vor allem die erstmalige praktische Begründung klimaplastischer Waldbestände auf der Grundlage der im Projekt erarbeiteten wissenschaftlichen Erkenntnisse, die hoffentlich eine möglichst große Beispielswirkung in der Region und darüber hinaus finden wird.

Nicht zuletzt sei den Mitarbeitern der Landesforstverwaltungen und der Forstbetriebe Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern dafür gedankt, dass sie die Forschungsarbeiten vorbehaltlos unterstützt haben. Insbesondere wurden notwendige Daten und Unterlagen bereitgestellt, die Begehung der Flächen ermöglicht und geplante Maßnahmen auf den Versuchsflächen für die Dauer der Untersuchungen ausgesetzt. Von unschätzbarem Wert waren auch die zahlreichen fachlichen Hinweise der Vertreter der Forstpraxis, die in diese Arbeit Eingang gefunden haben.

## II.6 Zitierte Literatur

- Backes K. & Leuschner C. (2000). Leaf water relations of competitive *Fagus sylvatica* L. and *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. trees during four years differing in soil drought. *Can. J. For. Res.*, 30, 335-346.
- Barkmann J., Baumann R., Meyer U., Müller F. & Windhorst W. (2001). Ökologische Integrität: Ökosystemare Risikovorsorge als Aufgabe eines nachhaltigen Landschaftsmanagements. *GAIA*, 10, 97-108.
- Bertalanffy L.v. (1969). *General System Theory*. Braziller, New York.
- Bilke G. (2005). Mortzfeldtsche Lochbestände - ein Weg für den Waldumbau in Nordostdeutschland. In: *Ökologischer Waldumbau im nordostdeutschen Tiefland* (ed. Landesforstanstalt Eberswalde). Landesforstanstalt Eberswalde Eberswalde, pp. 111-120.
- Bohn U. & Neuhäusl R. (2000, 2003). *Map of the natural vegetation of Europe*. Landwirtschaftsverlag, Münster.
- Box E. & Manthey M. (2006). Conservation of Deciduous Tree Species in Europe: Projecting Potential Ranges and Changes. In: *Nature Conservation: Concepts and Practice* (eds. Gafta D & Akeroyd JR). Springer Berlin, pp. 241-253.
- Ebeling W. & Feistel R. (1994). *Chaos und Kosmos. Prinzipien der Evolution*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- Flöhr W. (1956). Untersuchungen über die Ertragsleistung und Anbauwürdigkeit der grünen Douglasie (*Pseudotsuga taxifolia* [BRITTON], var. *virielis*) auf verschiedenen Standorten des nordostdeutschen Diluviums. In: *Forstwirtschaftliche Fakultät. Humboldt-Universität zu Berlin, Eberswalde*.
- Gerstengarbe F.-W., Badeck F., Hattermann F., Krysanova V., Lahmer W., Lasch P., Stock M., Suckow F., Wechsung F. & Werner P.C. (2003). Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und die Landwirtschaft sowie Ableitung erster Perspektiven. In: Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam.
- Giorgi F. (2005). Climate Change Prediction. *Clim. Change* 239-265.
- Greger O. (1995). Biogruppen - Bausteine vielfältiger Waldstrukturen. *Der Dauerwald*, 13, 24-35.
- Härdtle W. (1995). On the theoretical concept of the potential natural vegetation and proposals for an up-to-date modification. *Folia Geobot. Phytotax.*, 30, 263-276.
- Hennig R. (1951). *Die Douglasie: Eine monographische Darstellung unserer wichtigsten fremdländischen Holzart*. Neumann, Radebeul.
- Hofmann G. (1964). Kiefernforstgesellschaften und natürliche Kiefernwälder im östlichen Brandenburg. I. Kiefernforstgesellschaften. *Arch. Forstwes.*, 13, 641-664.
- Hofmann G. (1974). Die natürliche Waldvegetation Westthüringens, ihre Gliederung und ihr Weiserwert für Boden, Klima und Ertrag. In: *Institut für Forstwissenschaften Eberswalde*. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR Eberswalde, p. 536.
- Hofmann G. (1986). Die potentielle oberirdische Nettoprimärproduktion der Wald- und Forstökosysteme auf dem Gebiet der DDR. In: *Wiss. Tagung 175 Jahre forstliche Lehre in Tharandt Tharandt*, pp. 178-179.

- Hofmann G. (1991). Die Vegetationsgliederung natürlicher Kiefernwälder, kiefernhaltiger Laubwälder und forstwirtschaftlich bedingter Kiefernforsten Mitteleuropas. In: *Die Kiefer (Pinus sylvestris)* (ed. Eberswalde FfF-uH). Forschungsanstalt für Forst und Holzwirtschaft Eberswalde Eberswalde, pp. 40-67.
- Hofmann G. (2007). Die Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*) in der Vegetation des nordostdeutschen Tieflandes In: *Die Kiefer im nordostdeutschen Tiefland - Ökologie und Bewirtschaftung* (ed. Eberswalde L). Landesforstanstalt Eberswalde Eberswalde, pp. 41-53.
- Hofmann G. & Jenssen M. (2002). Äsungskapazitäten in den Wäldern Brandenburgs. *Beiträge zur Jagd- und Wildforschung*, 27, 233-248.
- Hofmann G. & Jenssen M. (2005). Potentielle natürliche Waldvegetation und Naturraumpotentiale: Quantifizierung natürlicher Potentiale der Nettoprimärproduktion und der Kohlenstoffspeicherung / Potential Natural Forest Vegetation and Natural Landscape Potential: Quantification of Natural Potential of Net Primary Production and Carbon Storage In: *Anwendung und Auswertung der Karte der natürlichen Vegetation Europas / Application and Analysis of the Map of the Natural Vegetation of Europe* (eds. Bohn U, Hettwer C & Gollub G). Bundesamt für Naturschutz Bonn, pp. 411-428.
- Hofmann G., Jenssen M. & Anders S. (2002). Kohlenstoffpotenziale mitteleuropäischer Wälder. *AFZ-DerWald*, 57, 605-607.
- Hofmann G. & Pommer U. (2005). *Potentielle Natürliche Vegetation von Brandenburg und Berlin*. Hendrik Bäßler, Berlin.
- Hofmann G., Pommer U. & Jenssen M. (2008). *Wildökologische Lebensraumbewertung für die Bewirtschaftung des wiederkäuenden Schalenwildes im nordostdeutschen Tiefland*. 1 edn. Landesforstanstalt Eberswalde, Waldkunde-Institut Eberswalde, Eberswalde.
- Holling C.S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annu Rev Ecol Syst* 4, 1-23.
- IPCC (2007). climatechange2007. In. WMO, UNEP.
- Jenssen M. (1996). Interzeptionsverdunstung und horizontale Niederschlagsverteilung in Kiefernbeständen des nordostdeutschen Tieflandes. *Beitr. Forstwirtsch. u. Landsch.ökol.*, 30, 63-69.
- Jenssen M. (1997). Vegetationsstrukturen und hydrologische Prozesse in Kiefern- und Buchenökosystemen. *AFZ-Der Wald*, 52, 1356-1359.
- Jenssen M. (2002). Beziehungen zwischen den Vegetationsstrukturen und der Emission von N-Spurengasen aus Waldböden in Kiefernökosystemen unter dem Einfluss von erhöhtem N-Eintrag und Niederschlagsarmut. In: *Ökologie und Vegetation der Wälder Nordostdeutschlands* (eds. Anders S, Beck W, Bolte A, Hofmann G, Jenssen M, Krakau U & Müller J). Dr. Kessel Oberwinter, pp. 140-145.
- Jenssen M. (2006). Entropie und Biodiversität: Ökologische Potentiale der Artenvielfalt. In: *Irreversible Prozesse und Selbstorganisation* (eds. Pöschel T, Malchow H & Schimansky-Geier L). Logos Verlag Berlin, pp. 265-279.
- Jenssen M. (2007). Ecological potentials of biodiversity modelled from information entropies: Plant species diversity of North-Central European forests as an example. *Ecological Informatics*, 2, 328-336.

- Jenssen M. (2008). Potenziale der Artenvielfalt und Selbstorganisation. Der „gute ökologische Zustand“ langlebiger terrestrischer Ökosysteme aus Sicht der systemökologischen Waldforschung. In: *UBA-Texte*, pp. 110-126.
- Jenssen M., Butterbach-Bahl K., Hofmann G. & Papen H. (2002). 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 N<sub>2</sub>O- and NO-fluxes from forest soils by modeling their relationships to vegetation structure. *Forest Ecology and Management*, 167, 135-147.
- Jenssen M. & Hofmann G. (1996). Der natürliche Entwicklungszyklus des baltischen Perlgras-Buchenwaldes (*Melico-Fagetum*). Anregung für naturnahes Wirtschaften. *Beitr. Fortswirtsch. u. Landsch.ökol.*, 30, 114-124.
- Jenssen M. & Hofmann G. (2002). Pflanzenartenvielfalt, Naturnähe und ökologischer Waldumbau. *AFZ-DerWald*, 57, 402-405.
- Jenssen M. & Hofmann G. (2003). Die Quantifizierung ökologischer Potentiale der Phytodiversität und Selbstorganisation der Wälder. *Beitr. Forstwirtschaft. u. Landsch.ökol.*, 37, 18-27.
- Jenssen M. & Hofmann G. (2005a). Einfluss atmogener Stickstoffeinträge auf die Vielfalt der Vegetation in Wäldern Nordostdeutschlands. *Beitr. Forstwirtschaft. u. Landsch.ökol.*, 39, 132-141.
- Jenssen M. & Hofmann G. (2005b). Waldbewirtschaftung zwischen Waldnatur und Forstkultur - Beiträge der ökologischen Forschung zur waldbaulichen Optimierung von Naturabweichungen in nordostdeutschen Wäldern. In: *Ökologischer Waldumbau im nordostdeutschen Tiefland* (ed. Landesforstanstalt Eberswalde). Landesforstanstalt Eberswalde, Eberswalde, pp. 33-49.
- Jenssen M. & Hofmann G. (2005c). Zur Quantifizierung von Naturnähe und Phytodiversität in Wäldern auf der Grundlage der potentiellen natürlichen Vegetation / On Quantification of Naturalness and Phytodiversity in Forests Based on Potential Natural Vegetation In: *Anwendung und Auswertung der Karte der natürlichen Vegetation Europas / Application and Analysis of the Map of the Natural Vegetation of Europe* (eds. Bohn U, Hettwer C & Gollub G). Bundesamt für Naturschutz Bonn, pp. 297-314.
- Jenssen M., Hofmann G. & Pommer U. (2007). Die natürlichen Vegetationspotentiale Brandenburgs als Grundlage klimaplastischer Zukunftswälder. In: *Beiträge zur Gehölkunde 2007* (eds. Bouffier VA & Gandert K-D). Hansmann Hemmingen, pp. 17-29.
- Kahle H.-P., Karjalainen T., Schuck A., Agren G.I., Kellomäki S., Mellert K., Prietzel J., Rehfuss K.-E. & Spiecker H. (2008). *Causes and Consequences of Forest Growth Trends in Europe*. Brill, Leiden.
- Kay J.J. (1993). On the nature of ecological integrity: Some closing comments. In: *Ecological integrity and the management of ecosystems* (eds. Woodley S, Kay J & Francis G) Ottawa.
- Kiphuth S. & Weinauge H. (2005). *Karte der Heutigen Potenziellen Natürlichen Vegetation Mecklenburg Vorpommerns*. Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin.

- Kloss K. (1980). Pollenanalysen zur Vegetations-, Siedlungs- und Moorgeschichte am Südrand der mecklenburgisch-brandenburgischen Seenplatte (Kreis Gransee). *Arch. Naturschutz u. Landschaftsforsch.* , 20, 203-212.
- Konnert & Hosius B. (2006). Genetische Vielfalt von Waldbaupopulationen - Voraussetzung für Anpassungsfähigkeit und Bestandesstabilität In: *Ökologischer Waldumbau in Deutschland* (ed. Fritz P). oekom München, pp. 52-81.
- Konnert M., Ziehe M., Tröber U., Maurer W., Janssen A., Sander T., Hussendörfer E. & Hertel H. (2000). Genetische Variation der Buche (*Fagus sylvatica*) in Deutschland: Gemeinsame Auswertung genetischer Inventuren über verschiedene Bundesländer. *Forst und Holz*, 55, 403-408.
- Kopp D. & Schwanecke W. (1994). *Standörtlich-naturräumliche Grundlagen ökologiegerechter Forstwirtschaft. Grundzüge von Verfahren und Ergebnissen der forstlichen Standortserkundung in den fünf ostdeutschen Bundesländern*. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- Kowarik J. (1987). Kritische Anmerkungen zum theoretischen Konzept der potentiell natürlichen Vegetation mit Anregungen zu einer zeitgemäßen Modifikation *Tuexenia*, 7, 53-67.
- Krop-Kolb H. & Formayer H. (2005). *Schwarzbuch Klimawandel. Wie viel Zeit bleibt uns noch?* Ecwin-Verlag der Top Akademie GmbH, Salzburg.
- Kullback S. (1951). *Information Theory and Statistics*. Wiley, New York.
- Lange E. (1976). Zur Entwicklung der natürlichen und anthropogenen Vegetation in frühgeschichtlicher Zeit, Teil 1 und 2. . *Feddes Repert.* , 87, 5-30, 367-442.
- Leuschner C. (1997). Das Konzept der potentiellen natürlichen Vegetation (PNV): Schwachstellen und Entwicklungsperspektiven. *Flora*, 192, 239-294.
- Leuschner C. (1998). Mechanismen der Konkurrenzüberlegenheit der Rotbuche. *Ber. d. Reinh. Tüxen-Ges.* , 10, 5-18.
- Libbert W. (1932). Die Vegetationseinheiten der Neumärkischen Staubeckenlandschaft unter Berücksichtigung der angrenzenden Landschaften. *Verh. Bot. Ver. Brandenbg.*, 74, 1.3.
- Lieth H., Berlekamp J., Fuest S. & Riediger S. (1999). Climate Diagram World Atlas. In: *CD-Series: Climate and Biosphere* (ed. Lieth H). Bachhuys Publishers.
- Lockow K.-W. (2002). Ergebnisse der Anbauversuche mit amerikanischen und japanischen Baumarten. In: *Ausländische Baumarten in Brandenburgs Wäldern* (ed. Eberswalde L). Landesforstanstalt Eberswalde Eberswalde, pp. 41-101.
- Luthardt M. (2006). Bestandeszieltypen für die Wälder des Landes Brandenburg In: (ed. Ministerium für ländliche Entwicklung UuVdLB, Abteilung Forst und Naturschutz). Ministerium für ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg, Abteilung Forst und Naturschutz.
- Lützke R. (1984). Meteorologische und klimatologische Grundlagen. In: *Fachwissen des Forstingenieurs*. Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin, pp. 125-141.
- Majunke C., Dreger F., Schulz U., Rös M. & Torkler F. (2005). Zur Bedeutung des Waldumbaus für die Erhöhung von Biodiversität und der Selbstregulation - Potenziale in kieferndominierten Waldbeständen. In: *Ökologischer Waldumbau im nordostdeutschen Tiefland* (ed. Eberswalde L). Landesforstanstalt Eberswalde Eberswalde, pp. 121-138.

- Manthey M., Leuschner C. & Härdtle W. (2007). Buchenwälder und Klimawandel. *Natur und Landschaft*, 82, 441-445.
- Markowitz H. (1952). Portfolio Selection. *Journal of Finance*, 4, 77-91.
- Meusel H. & Jäger E. (1992). *Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora*. Gustav Fischer, Jena.
- Meusel H., Jäger E., Rauschert S. & Weinert E. (1978). *Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora*. Gustav Fischer, Jena.
- Meusel H., Jäger E. & Weinert E. (1965). *Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora*. Gustav Fischer, Jena.
- Müller F., Hoffmann-Kroll R. & Wiggering H. (2000). Indicating ecosystem integrity - theoretical concepts and environmental requirements. *Ecological Modelling*, 130, 13-23.
- Müller H.-M. (1969). Die spätpleistozäne und holozäne Vegetationsentwicklung im östlichen Tieflandbereich der DDR zwischen nördlichem und südlichem Landrücken. 10, 155-165.
- Müller J., Jenssen M. & Bolte A. (2002). Wirkungszusammenhänge zwischen Vegetationsstrukturen und hydrologischen Prozessen in Wäldern und Forsten. In: *Ökologie und Vegetation der Wälder Nordostdeutschlands* (eds. Anders S, Beck W, Bolte A, Hofmann G, Jenssen M, Krakau U & Müller J). Dr. Kessel Oberwinter, pp. 93-122.
- Müller K.M. (1938). *Abies grandis und ihre Klimarassen*. J. Neumann, Neudamm.
- Noack M. (2008). Standortökologisch-biomathematische Grundlagen für die Umwandlung von Kiefernreinbeständen in Kiefern-Trauben-Eichen-Mischbestände als Beitrag zur zukunftsorientierten Ressourcennutzung im Nordostdeutschen Tiefland. In: *Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät*. Humboldt-Universität Berlin.
- Oberdorfer E. (1990). *Pflanzensoziologische Exkursionsflora*. 6 edn, Stuttgart.
- Otto H.-J. (1990). *Standortsansprüche der wichtigsten Waldbaumarten*. Auswert.- und Informationsdienst f. Ernähr., Landwirtsch. und Forsten e.V., Bonn.
- Rahmsdorf S. & Schellnhuber H.-J. (2006). *Der Klimawandel*, München.
- Reichhoff L. et al. (2000). Karte der Potentiellen Natürlichen Vegetation von Sachsen-Anhalt. Erläuterungen zur Naturschutz-Fachkarte M 1 : 200 000. In: *Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt*. Sonderheft 1.
- Rennenberg H., Seiler W., Matyssek R., Gessler A. & Kreuzwieser J. (2004). Die Buche (*Fagus sylvatica* L.) - ein Waldbaum ohne Zukunft im südlichen Mitteleuropa? *Allg. Forst- u. J.-Ztg.*, 175, 210-224.
- Rivas-Martínez S., Penas A., Luengo M.A. & Rivas-Sáenz (2002). Worldwide Bioclimatic Classification System. In: *CD-Series: Climate and Biosphere* (ed. Lieth H). Bachhuys Publishers.
- Rivas-Martínez S., Sánchez-Mata D. & Costa M. (1999). North American Boreal and Western Temperate Forest Vegetation *Itinera Geobotanica*, 12, 5-316.
- Röhe P. (1999). Bestockungszieltypen für die Wälder des Landes Mecklenburg-Vorpommern. Landesforstverwaltung Mecklenburg-Vorpommern, p. 20.

- Röhe P. (2002). Standortbezogene Richtwerte für die mittelfristige Verjüngungsplanung unter Angabe von Anteilen zu realisierender Bestockungszieltypen bzw. Bestockungszieltypen-Gruppen für die Forstämter. Landesforstverwaltung Mecklenburg-Vorpommern.
- Rosa H. (2008). Im Wirbel der Beschleunigungsspirale. In: *Spektrum der Wissenschaft*, pp. 82-87.
- Rubner K. (1953). *Die pflanzengeografischen Grundlagen des Waldbaues*. 4 edn. Neumann, Radebeul.
- Schaefer M., Jansen M., Döring C. & Rothenbücher J. (2006). Artenvielfalt und Naturnähe im ökologischen Waldbau. In: *Ökologischer Waldbau in Deutschland* (ed. Fritz P). oekom München, pp. 82-123.
- Schmidt P., Hempel W., Denner M., Döring N., Gnüchtel A., Walter B. & Wendel D. (2002). *Potentielle Natürliche Vegetation Sachsens mit Karte 1 : 200 000*. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie Dresden.
- Schmidt P.A. (1998). Potentielle natürliche Vegetation als Entwicklungsziel naturnaher Waldbewirtschaftung? *Forstwiss. Cbl.*, 117, 193-205.
- Schwappach A. (1891). Denkschrift betreffend die Ergebnisse der in den Jahren 1881-1890 in den Preußischen Staatsforsten ausgeführten Anbauversuche mit fremdländischen Holzarten. *Z. f. F. u. Jw.*, 57.
- Schwartz E. (1991). Geschichtliches zum Kiefernabau. In: *Die Kiefer (Pinus sylvestris)*. Forschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Eberswalde Eberswalde, pp. 68-71.
- Spekat A., Enke W. & Kreienkamp F. (2007). Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarien mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG 2005 auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI – OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES – Szenarien B1, A1B und A2. In: *Publikationen des Umweltbundesamtes*. Umweltbundesamt Dessau.
- Stähr F. & Kohlstock N. (2002). Standortsansprüche und Verjüngungsverfahren der Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* MIRBEL] FRANCO). In: *Ausländische Baumarten in Brandenburgs Wäldern*. Landesforstanstalt Eberswalde, Eberswalde, pp. 102-116.
- Thomasius H. & Hartig M. (1989). *Waldbau - Monographien der wirtschaftlich wichtigsten Baumarten*. Sektion Forstwissenschaft, Wissenschaftsbereich Waldbau-Forstschutz, Tharandt.
- Tüxen R. (1956). Die heutige potentielle natürliche Vegetation als Gegenstand der Vegetationskartierung. *Angew. Pflanzensoziol.*, 13, 5-42.
- Walker L.C. (1999). *The North american forests: geography, ecology and silviculture*. CRC Press, Boca Raton.
- Weinitschke H. (1963). Pflanzenverbreitung in Abhängigkeit von klimatischen und geomorphologischen Gegebenheiten, dargestellt am Beispiel der Hainleite. *Arch. Natursch. u. Landschaftsforsch.* 3, 3, 95-116.
- Zerbe S. (1997). Stellt die potentielle natürliche Vegetation (PNV) eine sinnvolle Zielstellung für den naturnahen Waldbau dar? *Forstwiss. Centralbl.*, 116, 1-15.