

Siegfried Anders (ed.) • Ökologie und Vegetation der Wälder Nordostdeutschlands

1. Auflage 2002

© Verlag Dr. Kessel, Oberwinter 2002

Alle Rechte vorbehalten

Verlag: Dr. Kessel, Eifelweg 37, 53424 Remagen-Oberwinter
Tel./Fax: 02228-493

Homepage: www.forstbuch.de

eMail: nkessel@web.de

ISBN: 3-935638-14-0

Ökologie und Vegetation der Wälder Nordostdeutschlands

- Einfluß von Niederschlagsarmut und erhöhtem Stickstoffeintrag
auf Kiefern-, Eichen- und Buchen-Wald- und Forstökosysteme
des nordostdeutschen Tieflandes -*

Federführung:

Siegfried Anders

Autorenkollektiv:

Siegfried Anders ¹⁾

Wolfgang Beck ¹⁾

Andreas Bolte ¹⁾

Gerhard Hofmann ²⁾

Martin Jenssen ²⁾

Ute-Katrin Krakau ¹⁾

Jürgen Müller ¹⁾

Eberswalde, Januar 2002

www.forstbuch.de

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

²⁾ Waldkunde-Institut Eberswalde

* gefördert mit Mitteln des BMBF im Rahmen des Verbundprojekts
"Waldökosystemforschung Eberswalde" an der Bundesforschungsanstalt für Forst- und
Holzwirtschaft, Förderkennzeichen 0339500C

Autoren der einzelnen Kapitel

- 1-2 Siegfried Anders
- 3 Gerhard Hofmann
- 4
 - 4.1 Wolfgang Beck
 - 4.2 Andreas Bolte
 - 4.3 Jürgen Müller
 - 4.4
 - 4.4.1 Martin Jensen
 - 4.4.2 Jürgen Müller, Andreas Bolte
 - 4.4.3 Jürgen Müller
 - 4.5 Ute-Katrin Krakau
 - 4.6 Martin Jensen
 - 4.7 Andreas Bolte, Jürgen Müller
 - 4.8 Jürgen Müller, Andreas Bolte, Wolfgang Beck, Siegfried Anders
- 5 Martin Jensen
- 6 Siegfried Anders, Gerhard Hofmann

Inhaltsverzeichnis

1. Vorbemerkungen.....	1
1.1 Zielstellung	1
1.2 Planung und Ablauf des Vorhabens.....	1
1.3 Stand von Wissenschaft und Technik.....	2
2 Untersuchungsgebiet und Forschungsansatz.....	9
2.1 Untersuchungsgebiet	9
2.1.1 Lage und Abgrenzung	9
2.1.2 Standort	9
2.2 Forschungsansatz.....	19
2.2.1 Ausscheidung von Ökosystemtypen.....	19
2.2.2 Aufbau des Versuchsflächennetzes zur Erreichung der Zielstellung	20
3 Entwicklung der Waldvegetation des nordostdeutschen Tieflandes unter den Bedingungen steigender Stickstoffeinträge in Verbindung mit Niederschlagsarmut	24
3.1 Wälder und Forsten mit Kiefer, Buche und Eiche (Tabellen siehe Anhang).....	24
3.1.1 Vegetation der Wälder und Forsten in der Mitte des Jahrhunderts vor dem Einsetzen stärkerer Fremdbeeinflussung durch atmogene Einträge	24
3.1.2 Spektrum der Wald- und Forstgesellschaften im Vergleichszeitraum	25
3.1.3 Vegetationswandel im nordostdeutschen Tiefland als Ergebnis von Fremdstoffeinträgen, insbesondere von Stickstoffverbindungen im Zusammenhang mit Niederschlagsarmut	25
3.2. Stellung der untersuchten Vegetationstypen im Ökogramm der Waldstandorte des nordostdeutschen Tieflandes	40
4 Zusammenhänge von Struktur und Prozeß in Wald- und Forstökosystemen unter dem Einfluß von erhöhtem N-Eintrag und Niederschlagsarmut	42
4.1 Wachstumsverhalten und Nettoprimärproduktion der Baumschicht	42
4.1.1 Vergleichende Analyse der Herausbildung unterschiedlicher Wachstumsmuster des Baumbestandes in Kiefern-, Buchen- und Eichenökosystemen unter N-Eintrag und Trockenheit.....	42
4.1.2 Einfluß des Jahresgangs der Witterung auf die Nettoprimärproduktion an Holzmasse in Abhängigkeit von den Standortbedingungen	55
4.1.3 Veränderungen des stereometrischen Wachstums in Kiefernbeständen in Abhängigkeit vom Grad der N-Eutrophierung	65
4.1.4 Wirkungszusammenhang zwischen Vegetationsausbildung, Humuszustand, Stickstoffernährung und Wachstumsverhalten des Baumbestandes von Kiefern-Ökosystemen	66
4.2 Beziehung zwischen Struktur und Stoffhaushalt der Bodenvegetation	72

4.2.1	Schätzmodelle zum oberirdischen Stoffhaushalt	72
4.2.2	Entwicklung von Trockensubstanz und Nettoprimärproduktion der Bodenvegetation unter erhöhtem Stoffeintrag	78
4.2.3	Einfluß von Bestandesverlichtung auf den Trockensubstanzvorrat der Waldbodenflora	82
4.2.4	Stoffhaushalt der Bodenvegetation wichtiger Vegetationseinheiten der Kiefer, Buche und Eiche	83
4.2.5	Anteil der Bodenvegetation am oberirdischen Stickstoffhaushalt ausgewählter Kiefern-, Buchen- und Eichenvegetationseinheiten.....	84
4.3	Zusammenhang zwischen Bodenstruktur und hydrologischen Prozessen	89
4.4	Wirkungszusammenhänge zwischen Vegetationsstrukturen und hydrologischen Prozessen in Wäldern und Forsten	93
4.4.1	Wirkung der Kronendächer auf Interzeptionsverdunstung und Niederschlags- verteilung in Kiefern- und Buchenbeständen des nordostdeutschen Tieflands.....	93
4.4.2	Verdunstung der Bodenvegetation verbreiteter Vegetationsformen der Kiefer in Abhängigkeit von der Art und ihrem Deckungsgrad	99
4.4.3	Verdunstung der Baumvegetation und Tiefenversickerung in Kiefern-, Buchen- und Eichenökosystemen in Abhängigkeit von Boden- und Bestandesstruktur und von der Witterung	113
4.5	Zusammenhänge zwischen Boden- und Bestandesstruktur und der Durchwurzelung....	123
4.5.1	Ökologie der Wurzelausbildung von Waldbäumen insbesondere von Kiefer und Buche	123
4.5.2	Methodik der Wurzeluntersuchungen.....	125
4.5.3	Horizontale Wurzelverteilung in Kiefernbeständen	127
4.5.4	Vertikale Wurzelverteilung in Kiefernbeständen	130
4.5.5	Vergleich der Wurzelmassen von Kiefern in Abhängigkeit von der Trophie.....	132
4.5.6	Relationen von Sproß/Wurzel und Bio/Nekromasse in Abhängigkeit von der Trophie	133
4.5.7	Charakterisierung der Wurzelausbildung der Bodenvegetation	134
4.5.8	Einfluß von erhöhtem N-Eintrag in Kiefernbeständen auf die Wurzelstruktur ...	136
4.5.9	Wurzelstruktur der Buche.....	138
4.6	Beziehungen zwischen den Vegetationsstrukturen und der Emission von N-Spurengasen aus Waldböden in Kiefernökosystemen unter dem Einfluß von erhöhtem N-Eintrag und Niederschlagsarmut.....	140
4.6.1	Analyse der Zusammenhänge zwischen kleinflächigen N-Emissionsraten und lokalen Strukturen der Bodenvegetation und des Kronendachs	141
4.6.2	Synthese mittlerer N-Emissionsraten für flächenhaft ausgebildete Ökosystemeinheiten.....	143
4.6.3	Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse und Schlußfolgerungen	145
4.7	Bilanzierung von Elementeinträgen und -austrägen in Kiefern-, Eichen- und Buchenökosystemen	146
4.7.1	Untersuchungs- und Bilanzierungsmethoden	146
4.7.2	Ergebnisse und Diskussion	146
4.8	Modellierung des Sickerwasserabflusses in einem zusammenhängenden Waldgebiet...	150
4.8.1	Modellobjekt.....	150
4.8.2	Bewaldungsszenarien	150

4.8.3	Sickerwassermodell.....	152
4.8.4	Ergebnisse der Modellrechnungen	154
5	Im Gebiet verbreitete Typen von Wald- und Forstökosystemen als ökologische Elementareinheiten des Waldes mit Grundlageninformationen für Waldbewirtschaftung und Waldstabilität	157
5.1	Definition der Wald- und Forstökosystemtypen und ihrer Hauptgruppen.....	157
5.2	Modelle verbreiteter Kiefernforst- und Buchenwald-Ökosystemtypen des nordostdeutschen Tieflands	158
5.2.1	Identifizierung und Abgrenzung der Ökosystemtypen anhand vegetationsstruktureller Merkmale unter Einsatz lernfähiger Klassifizierungssysteme	159
5.2.2	Modellierung der stadialen Entwicklung ökosystemarer Schlüsselparameter der Ökosystemtypen in ihren charakteristischen Kombinationsmustern und Variationsbreiten	160
5.3	Unterschiedliche Lebensäußerungen und Verhaltensmuster verbreiteter Wald- und Forstökosysteme des nordostdeutschen Tieflands unter den Bedingungen von erhöhtem N-Eintrag und Niederschlagsarmut	173
5.4	Wald- und Forstökosystemtypen – eine neue Qualität bei der Erarbeitung und praktischen Umsetzung ökologischer Grundlageninformationen für die Nutzung und den Schutz der Wälder und Forsten	177
6	Praktische Anwendung der erzielten Ergebnisse in Waldbewirtschaftung und Forstplanung sowie bei der Quantifizierung umweltrelevanter Wirkungen und Leistungen des Waldes.....	178
6.1	Erzielte Forschungsergebnisse belegen den nahezu flächendeckenden Wandel in der Ökologie der Waldungen des nordostdeutschen Tieflandes und begründen die dabei überragende Rolle des atmosphärischen Eintrages von Stickstoffverbindungen als neuem Standortfaktor und bestimmender Steuergröße für Produktivität und Stabilität der Wald- und Forstökosysteme	178
6.2	Forschungen des Projektes haben über die Erkundung der Zusammenhänge von Struktur und Prozeß in Waldökosystemen die Möglichkeit geschaffen, ökologische Erkenntnisse zur Ausscheidung von Ökosystemtypen zu nutzen, auf deren Grundlage die Flächenübertragbarkeit der Ergebnisse möglich wird.....	180
6.3	Entwicklung des Ökosystemtypenkonzepts als Forschungsansatz und Grundlage zur praktischen Umsetzung der Projektergebnisse	181
7	Literaturverzeichnis	182
Anlage	201

1. Vorbemerkungen

1.1 Zielstellung

Ausgangspunkt unserer ökologischen Forschungen der 90er Jahre sind hohe Fremdstoff- vor allem Stickstoff- einträge, die um die Mitte des Jahrhunderts einsetzten, in den 60er bis 80er Jahren ständig anstiegen und im Wirkungskomplex mit anderen Standortfaktoren, vor allem der gebietstypischen Niederschlagsarmut (550 bis 620 mm/a), flächendeckend, bezogen auf den konkreten Waldstandort, zu Veränderungen von Strukturen und Prozessen in den nordostdeutschen Wald- und Forstökosystemen geführt haben. Die Erforschung des differenzierten Einflusses dieser Faktoren auf Kiefern-, Eichen- und Buchen-Ökosysteme und die Ableitung von Handlungsempfehlungen zur langfristigen Sicherung der Waldstabilität sind Ziele des Vorhabens. Daneben besteht für uns als Einrichtung der Ressortforschung der Auftrag, methodische Beiträge zur Erarbeitung ökologischer Erkenntnisse und ihrer Umsetzung im Rahmen bundesweiter forstlicher Inventuren zu leisten.

1.2 Planung und Ablauf des Vorhabens

Mit vorliegendem Schlußbericht wird ein vom BMFT/BMBF gefördertes Vorhaben abgeschlossen, das unter der Kurzbezeichnung "Waldökosystemforschung Eberswalde" in der Zeit vom 01.07.1991 bis 31.01.1999 in mehreren Abschnitten bearbeitet wurde.

Erstmalige Projektbeantragung und -bewilligung erfolgten, als noch die gesamte ökologische Forschungskapazität des Instituts für Forstwissenschaften Eberswalde (IFE) bzw. dessen Nachfolgeinstitution, der Forschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Eberswalde (FFHE) vorhanden war.

Unter der Überschrift "Waldökosystemforschung Eberswalde - Struktur, Dynamik und Stabilitätsverhalten von Kiefern- und Buchenwaldökosystemen unter Normal- und multiplen Streßbedingungen unterschiedlicher Ausprägung im nordostdeutschen Tiefland" wurden fünf selbständige Projekte

- zur Struktur, Dynamik und Nettoprimärproduktion (FKZ 0339500A)
- zum Stoffhaushalt (FKZ 0339501A)
- zum Wasserhaushalt (FKZ 0339502A)
- zur physiologischen Stabilität (Unterauftrag zu FKZ 0339504A) und
- zur Erkenntnisintegration in Modellen von Leitwaldökosystemen (FKZ 0339504A)

beantragt, positiv begutachtet und per 01.07.1991 mit einer Laufzeit von 3,5 Jahren bis zum 31.12.1994 bewilligt. Zuwendungsempfänger war die Forschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, also das vormalige Institut für Forstwissenschaften Eberswalde. Mit der Abwicklung dieser Forschungsanstalt zum 31.12.1991 und dem Übergang eines Teils der in den Projekten gebundenen ökologischen Forschungskapazität zur Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg (Erweiterung der BFH durch Neugründung des Institutes für Forstökologie und Walderfassung Eberswalde) mußten die erst sechs Monate laufenden Projekte formal abgeschlossen und mit der BFH als neuem Zuwendungsempfänger mit Laufzeit 01.01.1992 bis 31.12.1994 neu beantragt und bewilligt werden. Aus abrechnungstechnischen Gründen wurden die o.g. fünf bisher selbständigen Projekte zu einem Verbundprojekt (FKZ 0339500B) zusammengefaßt. Erfahrungsträger der bisherigen ökologischen Forschung in Eberswalde, auf die das Projekt in Teilen ausgelegt war, standen nicht mehr zur Verfügung. Es gelang aber, entscheidende Wissenschaftler, die jetzt in mittelständischen wissenschaftlichen Unternehmen beschäftigt waren, über Unteraufträge einzubinden.

Die Ergebnisse der Projektphasen 07/1991 bzw. 01/1992 bis 12/1994 wurden in einem Schlußbericht dargestellt und veröffentlicht (Mitt. d. BFH, Nr. 182, 1996).

Weil auf aufwendigen Prozeßmessungen basierende Waldökosystemforschung, die mit der Flächenauswahl beginnt, mit Flächenausrüstung und der Installation von Meßgeräten fortgesetzt wird und deren Meßergebnisse sowohl möglichst typische, im Einzelfall aber auch extreme Witterungsverläufe widerspiegeln sollen, nicht in drei Jahren zum Abschluß zu bringen ist, wurde ein Verlängerungsantrag gestellt. Dieser enthielt eine Erweiterung der bisherigen Themenstellung. Die laufenden Untersuchungen von verbreiteten Waldöko-

systemtypen der Kiefer und Buche wurden reduziert, indem einige Flächen, deren Aussagewert erschlossen und abgeschöpft war, aufgegeben wurden. Dafür wurden Eichenwald-Ökosysteme in die Untersuchungen einbezogen. Grund hierfür war die hohe Bedeutung, die diesen Ökosystemen im niederschlagsarmen nordostdeutschen Tiefland als Alternativen zu den meist naturfernen Kiefern-Reinbestandsforsten beigemessen wird.

Unter dem FKZ 0339500C wurde das Verbundprojekt "Waldökosystemforschung Eberswalde - Einfluß von Niederschlagsarmut und erhöhtem Stickstoffeintrag auf Kiefern-, Eichen- und Buchen-Wald- und Forstökosysteme des nordostdeutschen Tieflandes" mit der Laufzeit 01/1995 bis 12/1997 bewilligt. Aufgrund einer Aufstockung konnte die Bearbeitungszeit der sehr umfangreichen und komplex angelegten Themenstellung um reichlich ein Jahr bis zum 31.01.1999 verlängert werden.

Nach Abschluß der Projektphase 1992-1994 wurde durch das Gutachtergremium erkannt, daß zur erfolgreichen Bewältigung der Aufgabenstellung ergänzende Untersuchungen nötig sind, für deren Durchführung in Eberswalde keine Erfahrungen und keine technischen Ausrüstungen vorlagen. Mit gleicher Laufzeit einschließlich Verlängerung über die o.g. Aufstockung (also insgesamt von 01/1995 bis 01/1999) wurden drei finanziell selbständige Komplementärprojekte bewilligt, die ausschließlich in der Kiefer den Fragen der trockenen Deposition vor allem von Stickstoffspezies und Schwefel in die Waldökosysteme hinein, der Emission klimarelevanter Spurengase aus den Waldökosystemen heraus und der vertieften Untersuchung der Rhizosphäre einschließlich Mykorrhizaausbildung nachgehen sollten. Es waren dies:

- **Bereich trockene Deposition**

(Ltg. Dr. U. Dämmgen, FAL Braunschweig, Institut für Agrarrelevante Klimaforschung Münchenberg)

Thema: Quantifizierung der Flüsse von Stickstoff-Spezies zwischen Atmosphäre und Wald- und Forstökosystemen im nordostdeutschen Tiefland

- **Bereich gasförmige N-Emissionen**

(Ltg. Dr. H. Papen, Fraunhofer Institut Atmosphärische Umweltforschung Garmisch-Partenkirchen)

Thema: Vergleichende Untersuchungen zur Emission von N_2O , NO und NO_2 aus zwei unterschiedlich N-belasteten Kiefernwald-Ökosystemen des nordostdeutschen Tieflandes

- **Bereich Rhizosphäre**

(Ltg. Prof. Dr. R. F. Hüttl, BTU Cottbus)

Teilprojekt I Stoffaufnahme und Stoffgehalte von Pflanzenwurzeln unterschiedlich N-belasteter Kiefernökosysteme (BTU Cottbus)

Teilprojekt II Mykorrhizaformen der Kiefer unterschiedlich N-belasteter Kiefernforst-Ökosysteme (ZALF Münchenberg / Eberswalde)

Teilgebiet III Um- und Abbau pflanzlicher Nekromasse unter besonderer Berücksichtigung des Kohlenstoffs und des Stickstoffs (BTU Cottbus)

Wichtige Teilergebnisse dieser im Verbund "Waldökosystemforschung Eberswalde" erarbeiteten Projekte konnten in das hier vorzulegende Gesamtergebnis eingebracht werden. Darauf wird in den Ausführungen im fachlichen Teil eingegangen.

Formal gesehen muß mit dem hier vorgelegten Abschlußbericht Rechenschaft über den Förderzeitraum 01/1995 bis 01/1999 abgelegt werden. Die Forschungen der zurückliegenden Jahre seit 1991 wurden unter dem Aspekt einer kohärenten Gesamtkonzeption betrieben, wichtige Aussagen resultieren aus dem Vergleich von Ökosystemen innerhalb und zwischen den untersuchten Baumarten. Es werden darum immer wieder Bezüge zu Daten und Ergebnissen hergestellt, die bereits im Abschlußbericht der Projektphase 1991/1992 bis 1994 erarbeitet wurden.

1.3 Stand von Wissenschaft und Technik

Die nachhaltige Sicherung der Waldressourcen ist weltweit eine unverzichtbare Grundlage für die Existenz der Gesellschaft. Besonders in Mitteleuropa haben menschliche Einwirkungen den Wald zurückgedrängt, ihn strukturell verändert und damit einen großflächigen Widerspruch zwischen Waldstruktur und Ökologie ge-

schaffen, der in letzter Zeit noch durch starke technogene Überprägungen des Naturraumes so verschärft wurde, daß sich das Wachstum der Wälder veränderte und ihr Bestand regional an Existenzgrenzen gelangte.

Die künftige Erhaltung und Gestaltung stabiler Wälder hat die Kenntnis der in ihnen ablaufenden Prozesse zur Voraussetzung. Dieser Einsicht folgend, wurden besonders durch das Internationale Biologische Programm eine Reihe von Untersuchungen eingeleitet, aus denen sich Projekte zur Waldökosystemforschung entwickelten (z. B. BORMANN u. LIKENS 1979; ULRICH 1981 a, b, 1983; ELLENBERG et al. 1986). Innerhalb dieser Projekte wurden grundsätzliche Aussagen zur Struktur, Funktion und Entwicklung von Waldökosystemen erarbeitet und zu wichtigen ökologischen Problemstellungen wie Umfang und Grenzen der Primärproduktion, Stoffkreislauf, Stoffakkumulation, Energieflußregelung, Artenzusammensetzung, Stabilitätsverhalten richtungweisende Erkenntnisse vorgestellt. Die von PERSSON (1980) herausgegebenen Untersuchungsergebnisse über Struktur und Funktion der Nadelwald-Ökosysteme enthalten wichtige Grundlagen für die mathematische Aufbereitung biotischer und abiotischer Grunddaten und haben dynamische Simulations-Modellierungen von Ökosystemprozessen vorbereitet. Entscheidende Erkenntnisse über Lebensvorgänge in Waldökosystemen, besonders unter Streifeinwirkung, sind aus der von der Bundesregierung stark geförderten Waldschadensforschung hervorgegangen (ULRICH 1988; KREUTZER u. GÖTTLEIN 1991; Veröffentlichungen des Forschungszentrums Waldökosysteme der Universität Göttingen; KfK-PEF-Berichte; Abschlußbericht "Ballungsraumnahe Waldökosysteme", Umweltbundesamt 1990; GKSS-Berichte Waldschäden "Postturm", BAUCH u. MICHAELIS 1988; MICHAELIS u. BAUCH 1992).

Damit wird ein hoher Stand der Waldökosystemforschung erreicht und ausgewiesen. Die Erkenntnisse beziehen sich dabei in Deutschland vorrangig auf Fichten- und (mit deutlichem Abstand) Buchenökosysteme unter niederschlagsreicheren Standortbedingungen, während in den Trockengebieten mit Kiefern- und Eichenwäldern bis 1990 nur Ergebnisse ballungsraumnaher Standorte (BallWös Berlin) vorliegen.

Regionale Vergleiche verschiedener Waldökosysteme in ihren Struktur- und Prozeßparametern fehlen weitgehend, ebenso Aufklärungen des Produktivitäts- und Stabilitätsverhaltens in Abhängigkeit von verschiedenen Standortbedingungen (einschließlich unterschiedlicher Fremdstoffbeeinflussung). Dies erweist sich besonders im waldökologisch sensiblen Raum des niederschlagsarmen nordostdeutschen Tieflandes als eine für vorsorgendes praktisches Handeln schwerwiegende Kenntnislücke. Dazu gehört auch die Beantwortung der praktisch bedeutsamen Fragestellung, wie verschiedene Waldökosysteme unter vergleichbaren Standortbedingungen auf gegebene und sich ändernde Umweltbedingungen reagieren.

Die Bearbeitung von Struktur und Dynamik der Vegetation in Kiefern-, Eichen- und Buchenwaldökosystemen kann von der breiten Kenntnis der mitteleuropäischen Waldvegetation ausgehen, die durch die Arbeiten von TÜXEN 1937; MATUSZKIEWICZ 1956, 1962; OBERDORFER 1957, 1992; SCAMONI 1960; ELLENBERG 1963, 1986; HARTMANN u. JAHN 1967; PASSARGE u. HOFMANN 1968 einen hohen Stand erreichte. In den 60er Jahren waren alle wesentlichen Waldstrukturen erfaßt und gekennzeichnet. Die Bearbeitung der sekundären Forstvegetation blieb dagegen hinter der flächenmäßigen Bedeutung zurück und beschränkte sich auf einzelne zusammenfassende Arbeiten (MEISEL-JAHN 1955; HOFMANN 1969). Die durch Luftverunreinigungen verursachten Stoffeinträge in Waldungen haben seit 1970 zu starken Veränderungen der Artenstruktur und Ökologie der Wälder geführt. Das hohe Ausmaß der dadurch ausgelösten Vegetationsdynamik wurde durch mehrere Untersuchungen belegt (z. B. ELLENBERG 1985; KUHN et al. 1987; ROST-SIEBERT 1988; BÜCKING 1993), ist aber für den Untersuchungsraum nur in Tendenzen bekannt. Wenig untersucht sind auch die Wirkungen verstärkten Blattverlustes der Waldbestände auf die durch Licht und Waldklima gesteuerten Konkurrenzverhältnisse in der Bodenvegetation der Wälder (BORNKAMM et al. 1993) mit ihren weiterführenden Einflüssen auf Wasserhaushalt und Verjüngung der Baumbestände.

Die zunehmende Homogenisierung der chemischen Oberbodenzustände der Wälder durch erhöhten N-Eintrag führt zu einer Veränderung der Vegetationsstrukturen, insbesondere des Unterwuchses. Die starke Flächenreduktion stickstoffarmer Standorte führt dabei zu einer Einengung der Biodiversität durch die Verarmung an ursprünglich dort angesiedelten seltenen Arten und deren Ersatz durch weit verbreitete nitrophile Arten (BÜCKING 1993; BÜRGER-ARNDT 1994; HOFMANN 1995 a,b,c, 1996 a). Für Wald- und Forstökosystemtypen des nordostdeutschen Tieflandes konnte eine detaillierte Übersicht über ihre Gefährdung durch Stoffeinträge sowie Szenarien der zukünftigen natürlichen und öko-logisch-ökonomisch erwünschten Waldstrukturen nach anhaltender N-Belastung und einer prognostizierten Klimaerwärmung erarbeitet werden (HOFMANN u. ANDERS 1995; ANDERS u. HOFMANN 1996).

Hinsichtlich des Weiserwertes der Vegetation bezüglich Boden, Wasserhaushalt und Klima sind die Einschätzungen von ELLENBERG (1974, 1979, 1986) und ELLENBERG et al. (1991) von grundlegender Be-

deutung, eine Ökodaten-Quantifizierung über Weiserwert- Modelle ist methodisch von HOFMANN (1974) begonnen und von ANDERS et al. (1985 b) vertieft worden.

Die Methodik der Vegetationserfassung innerhalb des Projektes bezieht sich auf Prinzipien von BRAUN-BLANQUET (1964), enthält waldökosystemspezifische Weiterentwicklungen (SCAMONI et al. 1965; ELLENBERG 1986) und wird ergänzt durch standörtliche Erhebungen nach der Methodenpalette der Bodenzustandserhebung [BZE] (BML 1990) sowie die Anleitungen zur Erfassung des Vitalitätszustandes der Wälder im Rahmen der Waldschadenserhebung [WSE] (BML 1992), wobei letztere besonders für Kiefer und Eiche noch der Weiterentwicklung bedürfen.

Die Untersuchung zu Umfang und Dynamik der Nettoprimärproduktion kann sich auf zahlreiche methodische Arbeiten und Erkenntnisse des langfristigen forstlichen Versuchswesens und der biologischen Forschung stützen. Für den Untersuchungsraum liefern die Ertragstafeln für Kiefer und Buche (LEMBCKE et al. 1975; DITTMAR et al. 1986), Untersuchungen zu Standort und Ertrag wichtiger Baumarten (Datenfundus Forstliches Versuchswesen Eberswalde) und zur Nettoprimärproduktion (ANDERS et al. 1985 a; BECK 1990) wichtige Ausgangsdaten und Grundlagen.

Veränderungen der Umweltbedingungen durch Fremdstoffeinträge, Witterungsschwankungen und Verschlechterungen des Wasserhaushaltes haben bisher bekannte Muster der Nettoprimärproduktion von Waldökosystemen verändert. Dies hat national und international zu einer starken Zunahme der Forschungsarbeiten auf ertragskundlichem Gebiet geführt (POLLANSCHÜTZ 1975; KENK 1983; KENNEL 1984; STERBA 1984; KRAMER 1986; PREUHSLER 1986; SCHÖPFER 1986, 1987; SCHMIDT-HAAS et al. 1986; SCHWEINGRUBER et al. 1986). Im Mittelpunkt der Untersuchungen stand dabei die Frage, ob und wie die baumarten-, standort- oder wuchsgebietstypische Wachstumsdynamik von bisher bekannten und als normal angesehenen Mustern abweicht. Dabei wurden sowohl positive als auch negative Trends im Zuwachsverhalten registriert (FRANZ u. PRETZSCH 1988; UTSCHIG 1989; KNAPP 1990; PREUHSLER 1990). Die Waldökosysteme in weiten Teilen Deutschlands und Mitteleuropas reagieren auf den erhöhten N-Eintrag mit einer Steigerung ihrer Produktivität, wobei der Holzzuwachs der Baumbestände in großen Bereichen die Prognosen der Ertragstafelmodelle übertrifft (BECK 1996; SPIEKER et al. 1996). Produktivitätseinbrüche nach einer anfänglichen Produktionssteigerung bei extremer N-Belastung konnten für einzelne Kiefernbestände im nordostdeutschen Tiefland nachgewiesen werden (BECK 1996). Ein schwieriges Problem bleibt weiterhin die Herleitung einer Normalwachstums-Referenz (PRETZSCH 1987; PRETZSCH u. UTSCHIG 1988; LORENZ 1993), die mit den unter veränderten ökologischen Bedingungen auftretenden Abweichungen verglichen werden kann.

Als Forschungsdefizit erweist sich vor allem die Aufklärung der ökosystembezogenen Veränderungen der Produktionspotentiale und Produktivitätsmuster, getrennt nach Phytomassekompartimenten und deren Relationen untereinander. Ein besonderer Mangel ist dabei, daß für das wichtige Kompartiment Holz die vorliegenden klassischen forstlichen Tafelwerke nicht mehr zutreffen. Das resultiert einmal aus regional unterschiedlichen ökologischen Bedingungen für das Waldwachstum, zum anderen aus der differenzierten Wirkung von Luftverunreinigungen auf Zuwachs und Stabilität der Wälder.

Für den Untersuchungsraum fehlen Wachstumsbeschreibungen, die die Dynamik der Umweltveränderungen widerspiegeln. Methodische Voraussetzung für die Aufklärung der neuen Beziehungen ist die Stammanalyse, die einen ausgereiften Stand erreicht hat. Die ökologische Interpretation der Ergebnisse von Stamm- und Jahringanalysen ist fortgeschritten in Witterungs- und Klimaaussagen (FRITTS 1976; SCHWEINGRUBER 1983; BARTHOLIN u. ECKSTEIN 1992), die für das Untersuchungsgebiet über die Arbeiten von v. LÜHRTE (1991) hinaus jedoch noch zu vertiefen sind. Wenig entwickelt ist ihre Aussagekraft bezüglich der Wirkung von Fremdstoffeinträgen. Besonders die Quantifizierung der durch letztere induzierten Trendabweichungen im Wachstumsverhalten von Bäumen und Beständen ist für die treffende Charakterisierung aktueller Muster der Nettoprimärproduktion unverzichtbar.

Besondere Bedeutung für die in Waldökosystemen ablaufenden Prozesse hat die Phytomasse der Kompartimente Laub/Nadeln und Bodenvegetation.

Der Untersuchung der Laub-/Nadelmasse hat die Waldforschung bis auf Ausnahmen (EBERMAYER 1876; DANCKELMANN 1887 a,b; BURGER 1948; Ovington 1957; VYSKOT 1983) lange Zeit wenig Beachtung geschenkt. Erst das internationale Biologische Programm brachte eine Intensivierung der Untersuchungen und zahlreiche Ergebnisse (CANNEL 1982). Für das Untersuchungsgebiet sind die Arbeiten von HOFMANN (1985); ANDERS et al. (1985 a); BECK (1990); HEINSDORF und KRAUSS (1990) von Be-

deutung. Notwendig ist die bisher ausstehende Erarbeitung von Modellaussagen zu den Grundbeziehungen zwischen Holz- und Nadel-/Laubmassebildung sowohl für Bäume als auch für Ökosysteme.

Das gilt in gleicher Weise für die Bodenvegetation. Für das nordostdeutsche Tiefland liegen Ergebnisse regionaler Erhebungen zur laufenden und durchschnittlichen oberirdischen Nettoprimärproduktion der Bodenvegetation für Standorteinheiten (ANDERS et al. 1985 a; ANDERS 1988) und für Vegetationsformen (HOFMANN 1985; BECK 1990) vor.

Die jährliche Nettoprimärproduktion der Bodenvegetation läßt sich über Beerntungen aller in einem Bezugsjahr gebildeten Pflanzenorgane zum Zeitpunkt der Phytomassekulmination erfassen (NEWBOULD 1967; CHAPMAN 1976) und steht in engem Zusammenhang mit dem Summendeckungswert der Bodenvegetation (SICCAMA et al. 1970; PERSSON 1975). Um flächenbezogene Aussagen mit rationellem Aufwand und auch retrospektiv aus vorliegenden Vegetationsaufnahmen zu ermöglichen, wurde die Quantifizierung der Nettoprimärproduktion der Bodenvegetation aus morphologischen Artengruppen und deren Deckungswert abgeleitet (ANDERS et al. 1985 a; BECK 1990).

Untersuchungen von Elementgehalten einzelner Arten der Bodenvegetation zur Bioindikation (MASCHKE 1981; ENGELKE 1984; RÜHLING et al. 1987; ROSS 1990) und zur Bestimmung von Elementumsätzen (z. B. SICCAMA et al. 1970; BENNERT 1973; EGGERT 1985) zeigen artspezifisch, standortspezifisch und immissionspezifisch Unterschiede im Elementgehalt (MARKERT 1993). HÖHNE (1958, 1963, 1978) untersuchte die Stoffproduktion und die Elementgehalte von verschiedenen Bodenpflanzenarten im Sächsischen Hügelland und schätzte danach die gespeicherten Gesamtelementmengen in verschiedenen strukturierten Bodenvegetationsdecken. Entsprechende Untersuchungen für das nordostdeutsche Tiefland mit seinen speziellen Standorts-, Vegetations- und Immissionsbedingungen liegen bisher nicht vor.

Die N-Aufnahme der Vegetation stellt ein bisher unterschätztes N-Fixierungspotential dar. Durch Erhöhung von Zuwachs, Umsatz und N-Konzentration in der Pflanzensubstanz ist die Vegetation in der Lage, hohe N-Mengen zusätzlich zu speichern. Besonders der Unterwuchs von Wäldern übernimmt durch die Ausbreitung nitrophiler Arten in stark N-belasteten Ökosystemen die Rolle eines Stickstoffpuffers (KOPPISCH 1994; EICHHORN 1995; BOLTE u. ANDERS 1995; BRÜNN et al. 1996).

Vorliegende Untersuchungen zur Nettoprimärproduktion der Bodenvegetation (ANDERS et al. 1985 a; HOFMANN 1985; BECK 1990) können als Grundlage genutzt werden, um die Beziehungen zwischen Nettoprimärproduktion und Elementinkorporation der Bodenvegetation in Abhängigkeit vom Ökosystemtyp, vom Entwicklungsstadium des Bestandes und von der Bestandesdichte auf Artniveau herzuleiten.

Waldstrukturverändernde Problemarten wie *Calamagrostis epigeios* und *Padus serotina* bedürfen dabei besonderer Aufmerksamkeit. Untersuchungen hierzu liegen von MÜLLER (1964), HOFMANN (1974), HEINSDORF (1984, 1990), HOFMANN et al. (1990 b), STARFINGER (1990), MARKAN und FISCHER (1991), BORNKAMM et al. (1993) vor. Es fehlt für den Untersuchungsraum jedoch noch die standörtliche Kennzeichnung der Bereiche, in denen diese Arten auf Grund ihrer Massenfaltung zu potentiellen Schadfaktoren für Forstwirtschaft und Naturschutz werden sowie zur Verringerung der Grundwasserneubildung unter Wäldern beitragen.

Die Masse an Fein- und Grobwurzeln und deren Verteilung im Boden stellen wichtige Strukturelemente im Ökosystem dar. Nach FOGEL (1983) können die Wurzeln 15-20% der totalen Baumbiomasse von Nadelbäumen ausmachen. FAIRLY und ALEXANDER (1984) geben für das Feinwurzelwachstum einen Anteil von bis zu 40% der jährlichen Trockenmasseproduktion an.

Die Bedeutung der Wurzeln in der Ernährungsfunktion für den Baum sowie die Abhängigkeit der Feinwurzelverbreitung von chemischen und hydrologischen Bodenparametern haben Wurzeluntersuchungen zum Gegenstand von Ökosystem- und Stabilitätsforschungen gemacht. (BAUCH u. MICHAELIS 1988; EICHHORN 1989; SCHÖNBECK u. ALTEN 1989; PAAR u. EICHHORN 1990; WIEDEMANN 1991; FRIEDRICH et al. 1992).

Ein Rückgang an Feinwurzeln durch Bodenversauerung wurde nachgewiesen. Bei Feinwurzelerhebungen im Zusammenhang mit Stickstoffeinträgen - allerdings vorwiegend in Düngeversuchen - wurde übereinstimmend ein Rückgang der Mykorrhizafrequenz durch den N-Eintrag ermittelt (TERMORSHUIZEN u. KET 1988; HAUG et al. 1988, 1992; RAPP 1991).

Für das nordostdeutsche Tiefland liegen Untersuchungen zum labilisierenden Einfluß atmogener Stickstoffeinträge auf Kiefernbestände vor. Sie wurden mehrheitlich im Eintragsgradienten eines Schweinemastbetrie-

bes bei Eberswalde gewonnen (HOFMANN et al. 1990 a; RITTER 1990; KRAKAU 1991; HEINSDORF 1993). Danach bedingen steigende N-Einträge sinkende Feinwurzelbiomassen und eine deutliche Erhöhung der Masse an toten Feinwurzeln im Verhältnis zu den lebenden Feinwurzeln. Eintragsbedingt erhöhtes N-Angebot im Humus und Oberboden induziert eine Abnahme der Fein- und Feinstwurzelbiomassen, einen erhöhten jährlichen Wurzelumsatz und Rückgang der Mykorrhizierung bei der Buche und Kiefer (HEINSDORF 1992; EICHHORN 1995; MEYER 1995; MÜNZENBERGER et al. 1995; ANDERS et al. 1996; KOSS u. MURACH 1996).

Letzteres Ergebnis steht in Einklang mit Arbeiten von NADELHOFFER et al. (1985), die für reichere Standorte höhere Umsätze an ober- und unterirdischer Biomasse fanden.

Viele bisherige Feinwurzeluntersuchungen gewinnen Wurzelproben mit dem Bohrstock in einem Zufallsraster oder in konstantem Abstand zum nächstliegenden Baum und errechnen "bestandesrepräsentative" Mittelwerte. Neuere Stichprobenverfahren zur Bestimmung der Wurzelmasse berücksichtigen Erkenntnisse aus dem Gebiet der stochastischen Geometrie (SANDAU u. VOGEL 1993) und dabei speziell die Anwendung von Faserprozessen.

FRIEDRICH (1992) fand je nach der Lage der Bohrpunkte im Kronenbereich (Stamm, Mitte, Rand) erheblich variierende Gesamtwurzelvorräte. Nach NIELSEN und MACKENTHUN (1991) können jedoch 26 bis 84% der Varianz zwischen Meßwerten der Wurzelintensität aus den Abständen und den Grundflächen der umstehenden Bäume erklärt werden. Das von ihnen erarbeitete Modell zur Beschreibung der horizontalen Verteilung der Feinwurzelintensität in Waldböden in Abhängigkeit von der Bestockungsdichte weist neue Wege.

Die Aufklärung der Stoff- und Wasserflüsse ist eine entscheidende Voraussetzung für das Verständnis der Lebensäußerungen von Waldökosystemen und unverzichtbare Grundlage für praktisches Handeln zur Erhaltung und Bewirtschaftung unterschiedlicher Waldformen.

Von dieser Tatsache ausgehend, wurden weltweit Untersuchungen zu diesem Problem durchgeführt, von denen besonders die grundlegenden Arbeiten von BORMANN und LIKENS (1979), ULRICH et al. (1979), PERSSON (1980), ULRICH (1981 a, b), KREUTZER (1985) und KREUTZER und GÖTTLEIN (1991) methodische Fortschritte und neue Erkenntnisse über den Stoffhaushalt brachten, auf denen aufgebaut werden kann.

Die N-Gesamtdepositionen in mitteleuropäische Waldökosysteme sind wahrscheinlich deutlich höher als die mit den bisherig üblichen Ermittlungsmethoden (vgl. ULRICH 1991, 1994) quantifizierten Werte (BRUCKNER 1996).

Die gasförmigen N-Austräge aus Waldökosystemen können in stark N-belasteten Flächen Größenordnungen von 5 bis 10 kg/(ha-a) erreichen und sind von Bestandesstruktur und Bestandesmikroklima abhängig (PAPEN et al. 1994; BAUHUS 1994; BRUMME 1995).

Die Erforschung des Wasserhaushaltes der Wälder erweist sich wissenschaftlich noch immer als ein methodisch schwieriges und in seiner flächenhaften Umsetzung ungelöstes Problem. Unter den niederschlagsarmen Bedingungen des Untersuchungsgebietes kommt aber gerade diesem Faktor eine entscheidende Bedeutung zu. Der verbreitete Forschungsansatz, über Einzugsgebietsstudien entsprechende Informationen zu erhalten (z. B. HUBBARD BROOK- u. ARINUS-Projekte), ist im Gebiet nicht möglich und auch ungeeignet für detaillierte bestandesbezogene Ökosystemaussagen. Demzufolge konzentrieren sich die methodischen Überlegungen des Projektes auf die Nutzung der vorhandenen Unterflur- und Großlysimeter (LÜTZKE et al. 1984; LÜTZKE u. MÜLLER 1990; LÜTZKE 1991) für die Waldökosystemforschung. Als Ergänzung auf diesen sowie für weitergehende differenzierte Aussagen zum Wasserhaushalt verschiedener Ökosystemausbildungen im Gelände erfolgt der Einsatz von Tensiometern in Verbindung mit TDR-Meßverfahren nach nationalem und internationalem Erfahrungsstand (PLAGGE et al. 1989; BRAHMER 1990; RAKEI 1991; SCHMIDT 1991; PREUHSLER et al. 1992; GRIMMEISEN 1994). In diesem Zusammenhang erwies sich die Aufklärung des Wasserverbrauchs von starken Bodenvegetationsdecken lange Zeit als ungelöstes Problem, das die Entwicklung von wägbaren Kleinlysimetern, die die Schwächen bisheriger Messungen überwinden (DVWK 1980), erforderlich machte (ANDERS et al. 1996). Der Einsatz physiologischer Methoden bei diesen Arbeiten (KRIEBITZSCH 1993) liefert nur Werte für Vegetationsperioden und ist für die Gewinnung ganzjähriger Aussagen nicht geeignet.

Zur Erfassung des Wasserflusses kann auf Modelle zur Beschreibung von Interzeption, Infiltration und Stofftransport zurückgegriffen werden (GLUGLA u. ENDERLEIN 1975; WESSOLEK 1983, 1987; HAUHS

1985; KREUTZER 1985; BRUMME 1986; ROTH 1989; MANDERSCHIED 1992), die im Hinblick auf die Projektzielsetzung miteinander zu verknüpfen sind und in Teilaspekten auch der Weiterentwicklung bedürfen.

Die Forschungen zum Wasserhaushalt von Waldökosystemen stehen einerseits im Zeichen des Versuchs einer räumlichen und zeitlichen Übertragung von Prozessen des Wasserhaushalts auf die Ebene ganzer Wassereinzugsgebiete und darüber hinaus. Dies geschieht mit Hilfe von Gebietsmodellen (BITÖK 1996) oder klassifikatorisch durch die Festlegung von Wasserhaushaltstypen, die nach der Vegetation ausgeschiedenen Ökosystemtypen zugeordnet werden (ANDERS et al. 1996). An alternativen Konzepten zur Bilanzierung des Gebietswasserhaushaltes im Flachland und über gebirgige Einzugsgebiete hinaus wird derzeit gearbeitet. Andererseits wird die zunehmende Verfeinerung von Wasserhaushaltsmodellen auf Bestandesebene in Abhängigkeit von der Vegetationsstruktur betrieben (v.WILPERT et al. 1996; MÜLLER 1996, JENSSEN 1996). So wird der Bodenwasserhaushalt von Buchenökosystemen stark von der strukturabhängig räumlichen Heterogenität des Bestandesniederschlags mit hohem Anteil im Stammablaufbereich (Stammabfluß) und geringem Niederschlagsanteil im Zwischenstammbereich geprägt (v.WILPERT et al. 1996; MÜLLER 1996; RUST 1999). Zusätzlich steht die Frage von physiologischen Streßreaktionen der Waldbäume in Wassermangelphasen und die mögliche Konkurrenzwirkung zwischen der Bodenvegetation und dem Baumbestand im Mittelpunkt aktueller Erhebungen (BLANCK et al. 1995; LÜTTSCHWAGER et al. 1995; RIEK et al. 1995; WEDLER et al. 1996; BOLTE 1996; MÜLLER 1996). Folgender Erkenntnisstand läßt sich aus den Forschungen ableiten:

Unter vergleichbaren klimatischen Bedingungen ergänzt sich die Verdunstung bzw. die Transpiration der Bodenvegetation und der Baumbestände von Kiefern-Baumhölzern unabhängig von der Bestandesdichte zu ähnlich hohen Werten. Derzeit wird kontrovers diskutiert, ob die Bodenvegetation einen geringeren Wasserverbrauch bzw. geringere Transpiration des Baumbestandes durch höheren Wasserverbrauch nur kompensiert oder die Konkurrenz der Bodenvegetation das Wasserangebot für den Baumbestand einschränken kann (RUST 1995; LÜTTSCHWAGER et al. 1995; WEDLER et al. 1996; BOLTE 1996; MÜLLER 1996).

Für die Erfassung von Stoff- und Wasserflüssen und der Depositionsverhältnisse kann ein hoher nationaler und internationaler Entwicklungsstand konstatiert werden. Aus diesen Forschungsergebnissen wird sichtbar, daß die Messung von Stoffflüssen an den Kompartimentgrenzen derzeit auf rationellste Weise quantifizierte Flußgrößen liefert, mit denen Grundzüge des Stoff- und Wasserhaushaltes hinreichend beschrieben werden können. Es ergibt sich für das beantragte Projekt daraus die Schlußfolgerung, daß neue Entwicklungsaufgaben, die dieses Sachgebiet betreffen, nur begrenzt anstehen. Vielmehr geht es darum, den erreichten fortgeschrittenen methodischen Stand einschließlich seiner technischen Basis auf eine bisher in dieser Richtung wenig untersuchte Region anzuwenden

Da Wälder sehr komplex und zudem langlebige Systeme mit verschiedenartigen Strukturen und Prozessen sind, entwickelten sich in der ökologischen Wissenschaft eine Reihe von Ansätzen, diese Vielfalt in Modellen zu beschreiben, um über diese bei bewußtem Verzicht auf Mannigfaltigkeit wesentliche Elemente und deren Beziehungen untereinander überschaubar darzustellen. Dazu wurden die von der analytischen ökologischen Forschung gewonnenen Datenreihen und Erkenntnisse genutzt, um ablaufende physikalische, chemische und physiologische Prozesse z. B. über Wasserhaushaltsmodelle, bodenchemische Modelle und Photosynthesemodelle zu formalisieren.

Durch Kopplung solcher Prozeßmodelle werden hochdimensionale, mechanistische Modelle des Gesamtsystems in seiner zeitlichen Dynamik abgeleitet (BELLMANN et al. 1988; BOSSEL et al. 1991). Die Erfahrungen insbesondere der IBP-Projekte haben jedoch gezeigt, daß Prozeßmodelle zwar wertvolle Werkzeuge bei der Prozeßaufklärung darstellen können, die daraus zusammengefügte Ökosystemmodelle jedoch i.d.R. wenig Verhaltensübereinstimmung mit den realen Systemen zeigen (ELLENBERG et al. 1986).

Daraus resultiert die Erkenntnis, daß es unrealistisch ist, Modelle mit ganzheitlichem Anspruch und bis ins einzelne gehenden detailgetreuen Abbildungen von Struktur, Prozeß und Verhalten der Ökosysteme entwickeln zu wollen.

Das führt folgerichtig dazu, Waldökosystem-Repräsentanten selbst als elementare Forschungsobjekte in der Weise zu betrachten, daß über eine Verknüpfung der Arbeitsweisen der vergleichenden und analytischen Waldökosystemforschung der kausale Zusammenhang von Struktur- und Prozeßmerkmalen aufgedeckt und formalisiert wird. Derartig abgeleitete Modelle sind dann Abbildungen wesentlicher realer Zusammenhänge

und auf Grund ihres Realitätsbezuges zugleich Informationsträger für die Begründung praktischen Handelns im Sinne gewollter Zielsetzungen.

Das im Projekt verfolgte Modellvorgehen versucht, empirisches Expertenwissen zu analysierten Vegetationsstrukturen und ihrer Dynamik zu nutzen, gleichzeitig jedoch dieses Expertenwissen durch die Ergebnisse intensiver Prozeßmessungen zu korrigieren, zu präzisieren, durch eine tiefere kausale Interpretation zu objektivieren sowie über den unmittelbaren Erfahrungsbereich hinaus zu verallgemeinern. Eigene Arbeiten, auf welchen aufgebaut werden kann, sind die Modelle der ökofaktorenabhängigen Stoffproduktion von Kiefer und Buche, die lernfähige Klassifizierungsverfahren nutzen (ANDERS et al. 1985 b; ANDERS 1988). Von verschiedenen Autoren werden neuerdings Fuzzy-basierte Systeme für ähnliche Zielstellungen vorgeschlagen (HEMPEL 1993; DROESEN 1994; LI 1994).

Von vor allem methodischer Bedeutung für die eigene Forschung sind die vom BITÖK ermittelten Erkenntnisse zum N- und S- Ein- und Austrag sowie zum Wasserhaushalt aufgrund der auch dort angestrebten Verbindung von Prozeßabläufen und Strukturen (HUWE 1996; MATZNER 1996; TENHUNEN u. KÖSTNER 1996). Die z.T. modellgestützten, vorwiegend die Fichte betreffenden Aussagen beziehen sich auf den mikroskaligen Rhizospärenbereich (GÖTTLEIN et al. 1996), die Einzelbauebene (SEILER u. MATZNER 1995) und einen einzelnen Bestand (MANDERSCHIED u. MATZNER 1995).

Die integrative Betrachtung von Prozessen der räumlichen und zeitlichen Vegetationsentwicklung, der Pflanzensubstanzbildung und des Stoffhaushalts steht im Vordergrund einiger Untersuchungen (z.B. REICHE 1994; JENSSEN et al. 1994; HAUHS et al. 1995; KRÄUCHI u. GRINSVEN 1995; JENSSEN u. HOFMANN 1996 a,b). Auch hier werden grundsätzlich die unterschiedlichen Wege der Kopplung vieler Teilmodelle unterschiedlicher Skalen einerseits und der Prozeßtypisierung nach Merkmalen der Vegetationsstruktur besprochen (z. B. BITÖK 1996; ANDERS 1996).

Als Mangel bisheriger Ökosystemmodellierungen muß ihr noch begrenzter Beitrag zur Lösung praktischer Fragestellungen des Schutzes und der Nutzung der Naturgüter gesehen werden. Unter dem Gesichtspunkt der Methodik und der praktischen Umsetzung ökologischer Forschungsergebnisse sind Arbeiten der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg von Bedeutung (v. WILPERT et al. 1996). Sie weisen für den Schwarzwald aus, daß die depositionsbedingten Stoffausträge mit Folgen für Waldstabilität und Wasserqualität durch Baumartenwahl und Bestandesbehandlung beeinflußt werden können. Auch dort werden die Aussagen aus bestehenden Beziehungen zwischen Waldstrukturen und in ihnen ablaufenden Prozessen abgeleitet, es wird die Möglichkeit angedeutet, über Regressionsmodelle Flächeninformationen zu erhalten.

Für die Einordnung der von uns untersuchten Buchenwälder in einen von Substrat und Niederschlag abhängigen ökologisch bedeutsamen N-Sättigungsgradienten liefert EICHHORN (1995) wichtiges Vergleichsmaterial.

Die Ergebnisse des SANA-Projektes des BMBF und die Forschungen der Forstlichen Forschungsanstalt Eberswalde e.V. fundieren die Kenntnisse zum Untersuchungsraum - vor allem hinsichtlich Immissions-situation und Boden-/Ernährungsstatus. Sie stellen Tatbestände dar, die bei der Übertragung der Ergebnisse unserer Ökosystemfallstudien auf größere Befundeinheiten zusätzliche Sicherheiten vermitteln (EINERT u. REICHELT 1995; HEINSDORF 1995; KÄTZEL 1995; KÄTZEL u. LÖFFLER 1995; REICHELT et al. 1995).

Der erreichte Kenntnisstand und die neuen erweiterten Möglichkeiten zur Modellbildung erlauben es jedoch heute besser als bisher, Modellergebnisse für die Aufdeckung von praktischem Handlungsbedarf bzw. in ökologischen Problemsituationen zu nutzen. Die angestrebte praktische Zielstellung der im Projekt versuchten Erkenntnisintegration über Ökosystemmodellierung ist eine Auswahlentscheidung aus dem größeren Problemhorizont der durchgeführten Forschungen. Sie konzentriert sich auf die Erarbeitung wissenschaftlich begründeter Aussagen zum Wasserverbrauch und zur Grundwasserneubildung der im Tiefland verbreiteten Kiefern-Ökosysteme und auf Strategien der Baumartenwahl unter veränderten und sich weiter verändernden ökologischen Bedingungen.

2 Untersuchungsgebiet und Forschungsansatz

2.1 Untersuchungsgebiet

2.1.1 Lage und Abgrenzung

Als nordostdeutsches Tiefland werden die durch die letzte Inlandvereisung geprägten, eine Gesamtfläche von 6,858 Mio ha umfassenden Landesteile von Mecklenburg-Vorpommern, Berlin, Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Sachsen bezeichnet.

Die Waldfläche liegt bei 1,9 Mio ha, woraus sich ein Bewaldungsprozent von 27,7 ergibt. Waldreichstes Land mit dem größten Flächenanteil von rund 950000 ha ist Brandenburg, auf das sich die Untersuchungen in der Projektphase 1995 bis 1998 beschränkten.

Die Gültigkeit der Aussagen dieses Berichtes, der auch Ergebnisse der Projektphase 1992 bis 1994 einbezieht, umfaßt im wesentlichen die terrestrischen Standorte mittlerer, ziemlich armer und armer Trophieausstattung und damit rd. 83% der Waldfläche Brandenburgs. Die Aussagen gelten auch für vergleichbare Standorte der übrigen Länder des nordostdeutschen Tieflandes. Damit wird ein Raum erfaßt, der sich aufspannt zwischen der Ostseeküste im Norden, der Grenze zu Polen entlang der Oder-Neiße-Linie im Osten, der Lößhügellandschaft im Süden und Südwesten (Linie Niesky-Kamenz-Radeburg-Riesa-Eilenburg-Köthen-Magdeburg-Haldensleben) sowie der Grenze zu Niedersachsen und dem südlichen Schleswig-Holstein im Westen und Nordwesten.

2.1.2 Standort

2.1.2.1 Klima

Das nordostdeutsche Tiefland liegt im Übergangsbereich vom atlantischen, zusätzlich von der Nord- und Ostsee geprägten Klima im Norden und Nordwesten zum Kontinentalklima der großen Landmassen des eurasischen Kontinents im Süden und Südosten.

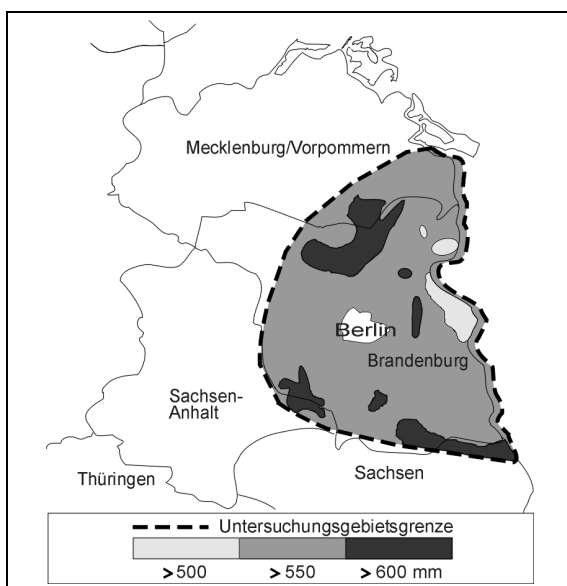


Abb. 2-1: Mittlere Niederschlagssummen (mm/Jahr) im Untersuchungsgebiet

Die Jahresdurchschnittstemperatur ist nur wenig differenziert, sie liegt im Ostseeküstenbereich zwischen 7,8°C (Putbus) und 8,2°C (Warnemünde) um nach Süden hin auf 8,5 bis 8,6°C (Berlin Schönefeld, Potsdam) anzusteigen.

Wesentlich aussagefähiger und deutlicher differenziert ist die Jahresschwankung der Temperatur, die vom Nordwesten mit 16,6K (Warnemünde) nach Südosten auf 19,1K (Berlin Schönefeld) ansteigt. Insgesamt wird damit der klimatische Übergangsbereich, im besonderen aber die zunehmende Kontinentalität nach Süden und Südosten eindeutig belegt (Meteorologischer Dienst der DDR 1980, 1987).

Entscheidend für das Waldwachstum sind vor allem die Niederschlagsunterschiede. Im insgesamt niederschlagsarmen Raum liegen die Durchschnittswerte zwischen 450 bis 500 und 580 bis 660 mm, im Bereich des Hohen Fläming sogar bis 700 mm (Abb. 2-1).

Besonders in den mittleren und östlichen

”Trockengebieten” sind damit Werte erreicht, die zusammen mit dem Verdunstungsanspruch der Atmosphäre eine ausgeprägte negative klimatische Wasserbilanz mit deutlicher Annäherung an aride Verhältnisse bewirken (Abb. 2-2). Unter diesen Bedingungen zeigen die Waldformationen eine permanente Tendenz zur witterungsbedingten Instabilität. Dies wird auch dadurch nicht wesentlich entschärft, daß die Sommer-

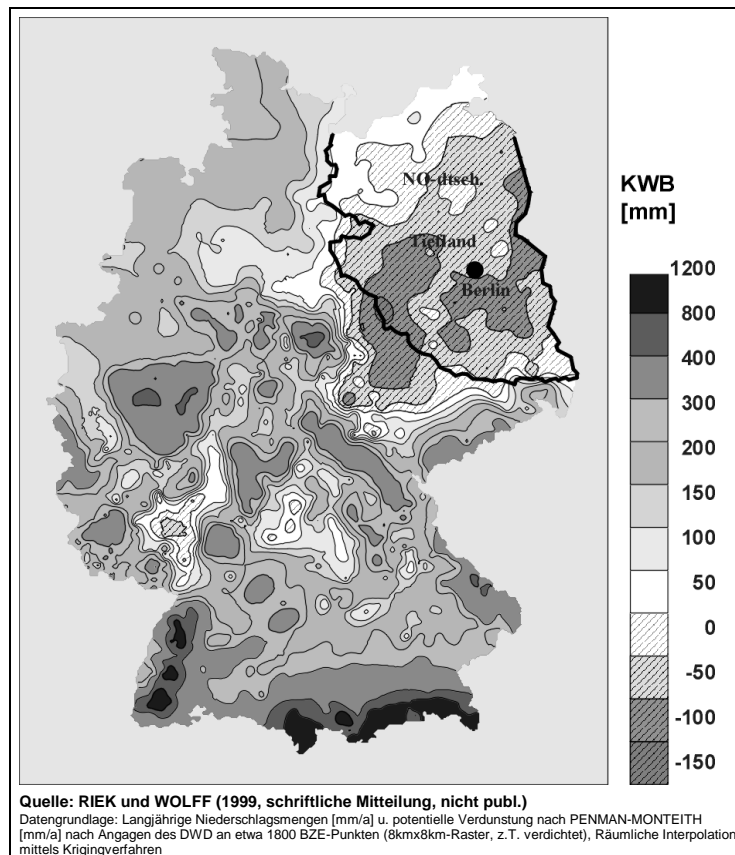


Abb. 2-2: Klimatische Wasserbilanz in Deutschland

landähnliche Züge aufweist, vielgestaltig. Das bodenbildende Substrat sind fast ausschließlich Lockersedimente eis- und nacheiszeitlichen Ursprungs mit den Hauptelementen der ”glazialen Serie”, den streifen- und bogenartigen, kuppigen Erhebungen der Endmoränen (Eisrandlagen), den ihnen nach Süden vorgelagerten Sanderflächen, den breiten Urstromtälern sowie den ausgedehnten dazwischenliegenden Grundmoränen aus Lehm, Mergel und Sand in meist ebener, seltener kuppiger Ausbildung. Niederungen (mit dem Oder-Strom, vielen kleineren Fließgewässern und einem hohen Seenanteil) enthalten jüngere Bildungen aus organisch-mineralischem Material. Nach dem geologischen Alter der Sedimente teilt sich das Gebiet in einen nördlichen Teil mit jüngeren (jungpleistozänen) Eiszeitablagerungen, die im allgemeinen in oberflächennahen Sandschichten primär nährstoffreicher sind und bei Lehmen flachere Karbonatgrenzen haben als im südlichen (altpleistozänen) Teil, der zudem im Landschaftsrelief ausgeglichener erscheint.

Dementsprechend ist auch die Bodendecke als die von Klima-, Relief-, Vegetations- und menschlichen Einflüssen geprägte oberste Umwandlungszone der Lockergesteine auf dem Landesgebiet sehr vielgestaltig. Von wesentlicher Bedeutung war es, ob sich die Bodenbildungsprozesse mit oder ohne Grund- und Stauwassereinfluß vollzogen. Danach sind zwei große Gruppen von Böden unterscheidbar:

- Böden, die ohne ständigen Einfluß von Grund- und Stauwasser gebildet wurden (anhydromorphe oder terrestrische Böden). Sie haben den größten Anteil an der Gesamtfläche und ausschließlich sie wurden in den Untersuchungen berücksichtigt. Da im Lande im allgemeinen die Niederschläge höher als die ver-

niederschläge mit im lang-jährigen Mittel 60% Anteil am Gesamtjahresniederschlag ein deutliches Übergewicht gegenüber den Winterniederschlägen zeigen (s. Abb. 2-5). Für das Waldwachstum ist neben der absoluten Höhe der Niederschläge deren Verteilung bedeutungsvoll. Langanhaltende Mittsommertrockenheiten mit im Durchschnitt der Jahre 15 zusammenhängend niederschlagsfreien Tagen sind wesentlich an der Labilisierung der Waldbestände beteiligt.

2.1.2.2 Geologie und Böden

Das nordostdeutsche Tiefland ist landschaftlich Teil des großen mitteleuropäischen Tieflandes. Bei einer nur geringen Höhenausdehnung von 2 m bis 201 m ist seine Oberflächen-gestalt dennoch durch den steten Wechsel von Niederungen, Platten, Kuppen und einigen Höhenzügen, unter denen der Fläming im Südwesten bereits hügel-

dunstenden Wassermengen waren und sind, ist in diesen Böden die Wasserbewegung überwiegend abwärts gerichtet. Es besteht so die andauernde Tendenz, daß lösliche Stoffe des Bodens ausgewaschen werden, dies um so mehr, je höher die Niederschläge sind und je länger die frostfreie Zeit des Jahres ist. Die wichtigsten Böden dieser Gruppe (Hauptbodenformen) sind: Rohböden (auf Kippen und jungen Dünen, seltene nährstoffarme Böden), Ranker (Humussilikatböden mit wenig differenziertem Profil, meist mit schwacher Nährkraft, selten), Renzdinen (nährstoffreiche Humuskarbonatböden auf Mergel, selten), Braunerden (mit einem intensiv braunen Horizont, der durch Eisenfreilegung und -oxydation entstanden ist und in dem ein intensiver biologisch-chemischer Stoffkreislauf Auswaschungstendenzen entgegenwirkt; meist nährstoffreiche Böden, mäßige Verbreitung). Para-Braunerden und Fahlerden (mit einem deutlich ausgebildeten basenarmen, versauerten, nur noch mäßig nährstoffhaltigen Tonverlagerungshorizont mit fahler Färbung, mäßige Verbreitung). Podsolierte Böden mit den Podsolen, Braunpodsolen und Rosterden, das sind saure nährstoffschwache Böden mit hellen Auswaschungs- (Asch-) und rostfarbenen Anreicherungs-(Ort) Horizonten, die auf Sand-Substraten relativ verbreitet sind,

- Böden, die unter ständigem Einfluß von Grund- und Stauwasser gebildet wurden (hydromorphe Böden) wurden im Projekt nicht berücksichtigt.
- Eine besondere Gruppe von Böden bilden die auf jüngeren Sedimenten der Oderaue entstandenen Auenböden, deren Substrat aus dem Bergland stammt und während Überschwemmungen im Oderbruch abgelagert wurde. Sie wurden ebenfalls nicht in die Projektbearbeitung einbezogen.

Innerhalb der terrestrischen Böden werden die Hauptbodenformen nach der Stamm-Nährkraftstufe unterteilt, die nach der Humusform unter natürlicher Vegetation definiert wird:

- R-Standorte (reich) mit Mull
- K-Standorte (kräftig) mit mullartigem Moder
- M-Standorte (mittel) mit Moder
- Z-Standorte (ziemlich arm) mit rohhumusartigem Moder
- A-Standorte (arm) mit Rohhumus.

Diese Hauptbodenformen werden in Lokalbodenformen untergliedert, wobei Nährkraft (K, Mg, Ca, P, CaCO_3) und Körnungsunterschiede als Kriterien verwendet werden. Die Lokalbodenformen sind nach Forstorten benannt, in denen sie erstmals beschrieben wurden (sogenannte Taufprofile), sie haben jedoch einen überlokalen Geltungsbereich. Damit sind Lokalbodenformen vegetationswirksame oder andere forstlich bedeutsame Differenzierungen innerhalb der Hauptbodenform (KOPP und SCHWANECKE, 1994).

Die Kopplung von Stamm-Nährkraftstufe mit der Stamm-Feuchtestufe ergibt die Stamm-Standortsformengruppen (Tab. 2-1), die damit nach langfristig stabilen Eigenschaften (Stammeigenschaften) untergliedert werden.

Tab. 2-1: Stamm-Standortsformengruppen nach KOPP und SCHWANECKE (1994)

Stamm-Feuchtestufe	Stamm-Nährkraftstufe				
	Reich	Kräftig	Mittel	Ziemlich arm	Arm
Trocken	R3	K3	M3	Z3	A3
Mäßig frisch	R2	K2	M2	Z2	A2
Frisch	R1	K1	M1	Z1	A1
Wechselfrisch	WR2	WK2	WM2	WZ2	
Feucht	NR2	NK2	NM2	NZ2	NA2
Nass (mineralisch)	NR1	NK1	NM1	NZ1	NA1
Brücher (naß-organisch)	OR3	OK3	OM3	OZ3	OA3
Sümpfe (sehr naß)		OK2	OM2	OZ2	OA2

2.1.2.3 Vegetation

Das nordostdeutsche Tiefland ist aufgrund der gegebenen Klima- und Bodenverhältnisse potentiell Waldland mit auch gegenwärtig hohem Bewaldungsanteil. Niederschlagshöhe und -verteilung, Temperaturregime sowie durch pleistozäne Vorgänge geprägte Geländeaufformung bedingen im Verein mit dem Ergebnis der nacheiszeitlichen Vegetationsentwicklung eine Überschneidung der natürlichen Verbreitungsgebiete der

Waldökosysteme von Buche, Eiche und Kiefer (Abb. 2-3). Als Repräsentanten verschiedener waldgeographischer Regionen haben diese Baumarten ihr Optimum in unterschiedlichen Klimaten.

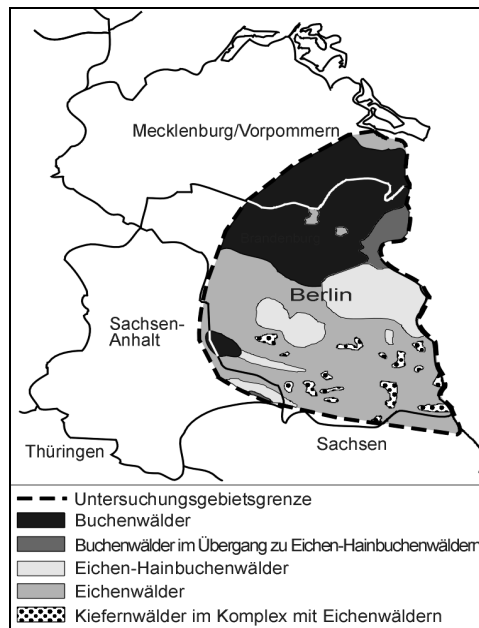


Abb. 2-3: Potentiell-natürliche Waldvegetation des Untersuchungsgebietes (unter Ausschluß der azonalen Vegetation der Auen und Niederungen)

Die heutige Waldbestockung des nordostdeutschen Tieflandes weist mit einem Kiefernanteil von 70% am Baumartenspektrum und 85% Kiefern-Beständen eine hohe Naturferne auf. Die daraus resultierende Labilität der Bestockung wurde vertärkt durch hohe Fremdstoffeinträge in den Jahren bis 1990. Naturnahe Waldgesellschaften werden bei auszeichnender Trophie und Niederschlägen > 580 mm von der Buche, bei geringeren Niederschlägen von der Eiche dominiert. Der natürliche Anteil der Kiefernwälder liegt bei 8%. Nähere Ausführungen zur Vegetation des Untersuchungsgebietes enthält der Abschnitt 3.

2.1.2.4 Witterungsverlauf seit Beginn des Jahrhunderts und Entwicklung des Immissions-/Depositionsgeschehens von 1960 bis zur Gegenwart

Untersucht man die Sommertemperaturen und die Summe der Sommerniederschläge seit Beginn des Jahrhunderts (Abb. 2-4) ist festzustellen, daß sich im Gebiet über die Jahrzehnte kontinuierlich ein Temperaturanstieg vollzogen hat, der ca. 3,5 Grad in 100 Jahren beträgt. Die in den letzten drei Jahrzehnten deutlich höheren Sommertemperaturen im Vergleich zum Beginn des Jahrhunderts fallen zusammen mit trockenen Sommern. Betrachtet man die Extremwerte der Sommerwitterung in diesem Jahrhundert (Tab. 2-2) fällt auf, daß von den 20 trockensten Sommern elf in die Zeit von 1970 bis zur Gegenwart fallen.

Gleiches gilt für Sommertemperaturen. Elf der 20 heißesten Sommer fallen in die Zeitspanne nach 1970. Bezogen auf das Waldwachstum bedeutet dies Wassermangel, Zuwachseinbußen, Vitalitätsverlust und zunehmende Disposition gegenüber Insektenbefall. Gleichzeitig werden die Reproduktionsbedingungen der Schadinsekten durch trocken-heiße Witterungsverläufe im Sommer begünstigt.