



# Schlussbericht

**BMBF-Verbundvorhaben einer integrierenden Ergebnissynthese**

**(Zukunftsorientierte Waldwirtschaft);  
TP D „Einfluss der Waldstruktur auf den Wasserhaushalt“**

**Förderkennzeichen: 0330534 D**

**Vorhabensverantwortliche: Dr. habil. S. Anders  
Dr. J. Müller**

**Arbeitsbericht des Instituts für Forstökologie und Walderfassung der  
Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft  
2 / 2005**

**Gesamtlaufzeit des Vorhabens: 01.06.2004 bis 31.05.2005**

**Eberswalde, November 2005**

# Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN geplant	2. Berichtsart Schlussbericht
3a. Titel des Berichts Integrierende Ergebnissynthese (Zukunftsorientierte Waldwirtschaft) TP D: Einfluss der Waldstruktur auf den Wasserhaushalt	
3b. Titel der Publikation Ökologischer Waldumbau in Deutschland. Fragen, Antworten, Perspektiven.	
4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n)) Anders, Siegfried Müller, Jürgen	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.05.2005
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n)) Fritz, Peter (Hrsg.)	6. Veröffentlichungsdatum geplant
	7. Form der Publikation Buch
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Institut für Forstökologie und Walderfassung Eberswalde Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Leuschnerstr. 91 21031 Hamburg	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen *) 0330534
	11a. Seitenzahl Bericht 13 Anlagen 1/2/3: 8/32/100
	11b. Seitenzahl Publikation voraussichtlich 356
	12. Literaturangaben 29
13. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  53170 Bonn	Anlagen 1/2/3: 140/-/126
	14. Tabellen 1
	Anlagen 1/2/3: -/2/4
15. Abbildungen – Anlagen 1/2/3: -/2/4	
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Naturferne Nadelbaum-Reinbestände sind auf vielen Waldstandorten in Deutschland gegenüber naturnahen, strukturreichen Misch- oder Laubwäldern nur eingeschränkt funktionsgerecht. Der deshalb angestrebte ökologische Waldumbau soll unter Beachtung von der Gesellschaft vorzuziehender Prioritäten zukünftig eine ressourcenorientierte, nachhaltige Waldbewirtschaftung ermöglichen.  Dazu erforderliche Messungen und Analysen erfolgten in fünf Modellregionen Deutschlands. Hinsichtlich des Wassers als ökologischem Primärfaktor wurden nach teils eingeführten, teils innovativen Methoden die Beziehungen zwischen den Waldstrukturen (Baumarten, Baumalter, Bestandesdichte, Schichtung, Bodenvegetation) und dem Waldbestands- und Landschaftswasserhaushalt untersucht und nach Wassermenge und Wassergüte quantifiziert.  Im Ergebnis wurde deutlich, dass durch Baumartenwahl und Bestandesbehandlung Bestandesstrukturen etabliert werden können, die Waldbestands- und Landschaftswasserhaushalt positiv beeinflussen. In bezüglich Wasserhaushalt angespannten Regionen Deutschlands ergeben sich daraus größere Freiheitsgrade in der Waldbewirtschaftung, zugleich kann der prognostizierten Klimaveränderung aktiv entgegen gewirkt werden.	
19. Schlagwörter Ökologischer Waldumbau, Nadelbaum-Reinbestände, Mischbestände, Waldstrukturen, Bestandeswasserhaushalt, Landschaftswasserhaushalt, Klimaänderung	
20. Verlag oekom-Verlag München	21. Preis voraussichtlich 29,80 €

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN under preparation	2. Type of Report Final Report
3a. Report Title Integrative synthesis of results (future oriented forest management) Project part D: Influence of forest structure on water budget	
3b. Title of Publication Ecological forest conversion. Questions, answers, outlooks	
4a. Author(s) of the Report (Family Name, First Name(s)) Anders, Siegfried Müller, Jürgen	5. End of Project 31.05.2005
4b. Author(s) of the Publication (Family Name, First Name(s)) Fritz, Peter (ed.)	6. Publication Date under preparation
8. Performing Organization(s) (Name, Address) Institute for Forest Ecology and Forest Assessment Eberswalde Federal Research Centre for Forestry and Forest Products Leuschnerstraße 91  21031 Hamburg	7. Form of Publication book
13. Sponsoring Agency (Name, Address)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  53170 Bonn	9. Originator's Report No.
	10. Reference No.  0330534
	11a. No. of Pages Report 13 Annex 1/2/3: 8/32/100
	11b. No. of Pages Publication probably 356 p.
	12. No. of References 29 Annex 1/2/3: 140/-/126
	14. No. of Tables 1 Annex 1/2/3: -/2/4
	15. No. of Figures - Annex 1/2/3: -/-/24
16. Supplementary Notes	
17. Presented at (Title, Place, Date)	
18. Abstract  Pure coniferous stands far from nature are widely distributed at many forest sites in Germany. Compared with well structured close to nature stands with mixed species and with broad leaved trees these forests are limited in functioning. That's why an ecological forest conversion of such pure coniferous forests is intended. This conversion process has to take into account the priorities given by the society and will enable in the future a sustainable forest management which is oriented to the natural resources.  The necessary measurements and analyses were carried out in five model regions of Germany. In view of water as a primary ecological factor partly established and partly innovative methods were applied to investigate the relationships between forest structures (tree species, age of trees, stand density and layers, ground vegetation) and water budget of the forest stands and of landscapes and to quantify amount and quality of water.  The results show that by means of tree species choice and stand treatment forest structures can be established which can influence stand's and landscape's water budget positively. Taking such measures in regions of Germany with a strained water budget results in higher degrees of freedom of forest management. Simultaneously these measures are appropriate for acting against the forecasted climate change.	
19. Keywords ecological forest conversion, pure coniferous stands, mixed stands, forest structures, water budgeted of stands, water budgeted of landscapes, climate change	
20. Publisher oekom-Verlag München	21. Price probably 29,80 €

## **Schlussbericht**

**zum BMBF-Verbundvorhaben einer integrierenden Ergebnissynthese  
(Zukunftsorientierte Waldwirtschaft); TP D „Einfluss der Waldstruktur auf den Wasserhaushalt“**

**Ausführende Stelle: Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft  
Institut für Forstökologie und Walderfassung Eberswalde**

**Förderkennzeichen: 0330534 D**

**Teilvorhabenverantwortliche: Dr. habil. S. Anders  
Dr. J. Müller**

### **I Kurze Darstellung zu**

#### **1 Aufgabenstellung**

Das BMBF hat zwischen 1998 und 2004, mit Schwerpunkt im Zeitraum 1999 bis 2003, im Rahmen des Programms „Forschung für die Umwelt“, Förderschwerpunkt „Zukunftsorientierte Waldwirtschaft“ in fünf deutschen Modellregionen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten gefördert. Schwerpunkt war der ökologische Waldumbau nicht oder nur eingeschränkt funktionsgerechter Nadelbaumreinbestände in arten- und strukturreiche, stabile Wälder, insbesondere Mischwälder.

Nach Abschluss der Einzelvorhaben wandte sich der Projektträger PtJ an die beteiligten Forschungseinrichtungen, ihm Ideen und Konzeptionen für die Erstellung einer integrierenden Ergebnissynthese vorzuschlagen. Ausgangspunkt sollte eine thematische, regionenübergreifende Aufbereitung und Synthese der Ergebnisse der Einzelprojekte sein. Nach entsprechenden Vorschlägen und Sondierungen wurde dem Institut für Forstökologie und Walderfassung Eberswalde der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft das Teilprojekt D „Waldstruktur und Wasserhaushalt“ zur Bearbeitung übertragen.

Damit bestand für dieses sowie weitere fünf Teilprojekte in einem ersten Schritt das Ziel, die aus den fünf Modellregionen Deutschlands abgreifbaren themenbezogenen Einzelergebnisse zu sichten, zu werten und zu strukturieren. Unter Einbeziehung entsprechender aktueller Ergebnisse der Waldökosystemforschung (Förderschwerpunkt des BMBF der 1990er Jahre) sowie unter Beachtung des internationalen Forschungsstandes sollte dann daraus eine integrierende, themen- und regionenübergreifende Ergebnissynthese in Form eines gemeinsamen Verbundvorhabens „Zukunftsorientierte Waldwirtschaft“ entstehen, für das das Umweltforschungszentrum Leipzig/Halle verantwortlich zeichnet.

Ziel des Gesamtvorhabens ist es, über wissenschaftliche Diskussion, Dokumentation und Synthese von Einzeldaten und –ergebnissen regionenübergreifend den aktuellen Wissensstand aufzuarbeiten, daraus Handlungsempfehlungen für die forstliche Praxis abzuleiten, Forschungslücken zu identifizieren und den Bedarf für zukünftige Forschungsarbeiten zur nachhaltigen Waldwirtschaft aufzuzeigen.

## 2 Voraussetzungen, unter den das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Projekt hatte eine Laufzeit von einem Jahr (01.06.2004 bis 31.05.2005), sein Gesamtumfang lag bei 62 792 Euro. Davon entfielen

- 48 500 Euro auf die befristete Einstellung eines Wissenschaftlers  
(10 Personenmonate BAT-O IIa)
- 10 000 Euro auf die Vergabe eines Auftrages (themenbezogene Literaturstudie)
- 500 Euro auf Geschäftsbedarf
- 3 792 Euro auf Dienstreisen im Inland

Für die Durchführung des Projektes erwies es sich als außerordentlich hilfreich, dass auf die Ergebnisse einer überregionalen Arbeitsgruppe zurückgegriffen werden konnte., die anlässlich des Statusseminars „Ökologischer Waldumbau – Dynamik in Strukturen und Prozessen, Themenschwerpunkt Wasserhaushalt“ am 13./14. März 2001 in Eberswalde gegründet worden war. Dieser Arbeitsgruppe gehörten 30 Experten aus Forstlichen Forschungsanstalten der Länder BB, BE, BW, BY, HE, MV, NI, NW, RP, SL, SN, ST und TH, der Bundesforschungsanstalt (BFH), der Zentralstelle für Agrardokumentation und –information (ZADI), des Zentrums für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF), des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK), der Universitäten Berlin (FU und TU), Dresden/Tharandt, Göttingen, Kiel und München/Freising sowie privatrechtliche Forschungsinstitutionen (SILVAQ, UDATA) an.

Schwerpunkte der Arbeit dieses Gremiums waren:

- Sachstandserfassung zu Versuchsflächen für und Zielstellungen von Wasserhaushaltsuntersuchungen
- Angewendete Methoden bei der Aufnahme von Vegetationsstrukturen und Parameterbestimmung
- Prozessmessungen (Ziele, gerätetechnische Ausstattung, Instrumentierung)
- Definition von und Indikatoren für „Wasserstress“
- Bewertung der Verfahren/Methoden hinsichtlich ihrer Eignung zur Berechnung der potentiellen Verdunstung für verschieden strukturierte Wälder
- Wasserhaushaltsmodellierung (Anforderungen, Modelltypen, Verifizierung)
- Flächenübertragung/Regionalisierung der Modellergebnisse

Für die erfolgreiche Bearbeitung der Fragestellungen war weiterhin vorteilhaft, dass die Mehrzahl der Fachexperten der Arbeitsgruppe, die von Dr. J. Müller, BFH, geleitet wurde, zugleich Mitglieder des Arbeitskreises „Wasserhaushalt“ innerhalb des forstlichen Umweltmonitorings (Level II) waren, der seit 1998 existierte. Durch die Einbeziehung von Experten der o.g. Universitäten in eine Internetdiskussion konnten wesentliche Synergieeffekte erreicht werden. Erarbeitet wurde eine Broschüre zum „Wasserhaushalt von Waldökosystemen: Methodenleitfaden zur Bestimmung der Wasserhaushaltskomponenten auf Level II-Flächen“, herausgegeben im Jahre 2003 vom Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) (92 S., 140 Literaturangaben).<sup>1)</sup>

Diese Broschüre war wichtig für die Beurteilung und Einordnung der in den regionalen Forschungsverbänden erzielten Ergebnisse.

<sup>1)</sup> Literaturangaben siehe Anlage 1

### 3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Mit Datum vom 26.03.2004 wurde dem Projektträger PtJ ein Antrag auf Zuweisung von Haushaltsmitteln in Höhe der unter Abschnitt 2 genannten Summe vorgelegt, dem mit Zuwendungsbescheid vom 02.06.2004 entsprochen wurde.

Als Teilziele wurden ausgewiesen:

- Einfluss unterschiedlicher Waldstrukturen, insbesondere der Baumartenzusammensetzung, auf den Wasserhaushalt (Verdunstung, Tiefensickerung, Wassermangel)
- Ableitung von waldbaulichen Maßnahmen und Strategien zur Steuerung des Bestandes- und Landschaftswasserhaushaltes
- Ansätze zur Modellierung und Regionalisierung hydrologischer Leistungen und Wirkungen von Wäldern

Mit der Erfüllung dieser Teilziele werden wichtige Grundlagen bereitgestellt für

- die Ableitung von Behandlungsspielräumen für die Waldbewirtschaftung nach festzulegenden Prioritäten,
- die realistische Einschätzung der Beeinflussung des Klimas durch vegetationsbedeckte Landoberflächen, hier Wälder und
- die Verknüpfung mit Ergebnissen flächendeckender forstlicher Inventuren als Voraussetzung für die Umsetzung von Ergebnissen auf der Gesamtwaldfläche.

Mit Wirkung vom 01.08.2004 wurde Dr. S. Rust zur Mitarbeit bei der Ergebnissynthese für das Teilprojekt für 10 Monate bis zum 31.05.2005 eingestellt. Seine Aufgaben waren

- Literaturrecherchen und Dokumentationen themenrelevanter nationaler und internationaler Ergebnisse der Waldökosystemforschung
- Wertung der Ergebnisse in Bezug auf Themenrelevanz, spezifische Aussagefähigkeit und Verallgemeinerungsfähigkeit entsprechend dem Projektantrag
- Mitwirkung bei der Erstellung der integrierenden Ergebnissynthese, Teilnahme an Fachtreffen
- Mitwirkung bei der Erstellung des Forschungsabschlussberichtes.

Die Auswertung der themenrelevanten Berichte aus den Projektverbänden (32 S.) ist dem Abschlussbericht als Anlage 2 beigelegt.

Mit Laufzeit 01.11.2004 bis 31.03.2005 wurde mit Dr. J. Scherzer – Firma UDATA ein Werkvertrag in Höhe von 10 000 Euro gem. §§ 631 ff. BGB abgeschlossen. Darin wird der Auftragnehmer mit der Aufgabe betraut, innerhalb des Teilprojektes D „Waldstruktur und Wasserhaushalt“ in den Projekten der Regionalverbände sowie in der nationalen und internationalen Literatur zu folgenden Schwerpunkten zu recherchieren:

- Einfluss von Waldstrukturen auf Kennwerte des Wasserhaushaltes in Rein- und Mischbeständen. Im Einzelnen: Fichten-Reinbestände und andere Nadelbäume (Douglasie), Buchen-Reinbestände (Gebirge), Eichen-Reinbestände, Fichten-Buchen-Mischbestände
- Modellierung des Wasserhaushaltes in Waldbeständen
- Regionalisierung zur Flächenübertragung von Ergebnissen zum Wasserhaushalt in Waldbeständen

Die Literaturstudie wurde termingerecht entsprechend den Vorgaben vorgelegt (102 S., 22 Abb., 4 Tabellen, 126 Literaturangaben sowie als Anhang unmittelbar bezogen auf die Zielstellung des Projektes zwei tabellarische Literaturübersichten „Messergebnisse Waldstruktur und Wasserhaushalt“ und „Simulationsergebnisse Waldstruktur und Wasserhaushalt“.

Die Studie ist dem Abschlussbericht als Anlage 3 beigelegt.

Die wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ereignisse innerhalb der Projektlaufzeit sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

**Tabelle 1**  
**Zusammenstellung der wichtigsten wiss.-techn. Ereignisse innerhalb der Projektlaufzeit**

Datum	Ort	Anlass	Teilnehmer
30.06.2004	Leipzig	Meeting der Teilprojektleiter	Dr. habil. S. Anders
24.08.2004	Eberswalde	Information der Verantwortlichen für das Gesamtprojekt (Prof. Dr. Fritz, Dr. Jensen, Dipl.-Histor. Weber) zum Hauptuntersuchungsstandort und zu themenrelevanten Ergebnissen	Dr. habil. S. Anders Dr. J. Müller
03.09.2004	Leipzig	Meeting der Teilprojektleiter	Dr. habil. S. Anders
11.10.2004	Leipzig	Expertenmeeting	Dr. habil. S. Anders Dr. J. Müller Dr. S. Rust
22.10.2004	Eberswalde	Aufenthalt der Verantwortlichen für die multimediale Ergebnispräsentation (Projektphilosophie, Demonstration von Versuchsflächen incl. Instrumentierung)	Dr. habil. S. Anders Dr. J. Müller
27. bis 29.10.2004	Göttingen	Klasurberatung aller Teilprojektnehmer zur Erarbeitung der Printpublikation	Dr. habil. S. Anders Dr. S. Rust
18. bis 19.01.2005	Eberswalde	Beratung mit den Gutachtern (Prof. Flüher, Prof. Rehfuess, Prof. Wenkel) zu den Teilprojekten B (Boden/Humus) und C (Waldstruktur und Wasserhaushalt)	Dr. habil. S. Anders Dr. J. Müller Dr. S. Rust
26.01.2005	Leipzig	Stakeholder-Meeting	Dr. habil. S. Anders Dr. S. Rust
19. bis 20.04.2005	Leipzig	Klausurtagung – Schlussphase der Print- und Internetpräsentation	Dr. habil. S. Anders Dr. S. Rust
10.06.2005	Eberswalde	Redaktionssitzung zur Textfassung der Buchpublikation mit Dr. Jensen und Frau Weber	Dr. habil. S. Anders

Der im zentralen Projektantrag ausgewiesenen Planung wurde im Wesentlichen entsprochen. Allerdings erfolgte der Start in Übereinstimmung mit dem Zuwendungsbescheid des Projektträgers einen Monat später als ursprünglich vorgesehen, also am 01.06.2004.

Die inhaltliche Konzipierung des Teilvorhabens erfuhr bald nach Beginn der Laufzeit eine Neuausrichtung bzw. Präzisierung in der Zielstellung. Ursprünglich war im Projektantrag von einer streng wissenschaftlichen Aufbereitung und Darstellung der Ergebnisse ausgegangen worden. In Übereinstimmung mit BMBF, PtJ und zentraler Projektleitung wurde für die Buchpublikation ein Konzept verfolgt, das sich vor allem an Entscheidungsträger in Politik,

Verwaltung und Wirtschaft wendet, Handlungsspielräume und Entscheidungspotentiale ausweist und Konfliktfelder benennt. Bei grundsätzlicher Beibehaltung der formulierten Zielstellungen erfuhr die zu erbringende Leistung in Tiefe, Sprache und Darstellung eine entsprechende Veränderung gegenüber der ursprünglichen Planung.

#### **4 Wissenschaftlich-technischer Stand, an den angeknüpft wurde**

Der wissenschaftlich-technische Stand, an den bzgl. des Projekttitels „Waldstruktur und Wasserhaushalt“ angeknüpft wurde, ist im Abschlussbericht des BMBF-Verbundprojektes „Ökologische Voraussetzungen und Wirkungen des Waldumbaus im nordostdeutschen Tiefland“ (FKZ 0339731), Teilvorhaben A „Untersuchungen zur Ökologie von Kiefern-Buchen-Mischbeständen im nordostdeutschen Tiefland und Ableitung von Empfehlungen zur Durchführung des Buchenunterbaus in Kiefern-Reinbeständen“ aus dem Jahr 2003 ausführlich dargestellt. (ANDERS et al. 2003 und 2004a) Eine Vertiefung erfuhr dieser Stand durch einen von der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft im Auftrag des BMVEL erarbeiteten Zwischenberichts zur „Auswirkung der Trockenheit 2003 auf Waldzustand und Waldbau“ (ANDERS et al. 2004b), der Ergebnisse und Erkenntnisse enthält, die über den o.g. Abschlussbericht hinausgehen.

Für die treffende Einordnung der Ergebnisse des hier vorgelegten Berichtes ist bedeutungsvoll, dass nach den vorliegenden Quellen die Beziehungen zwischen Waldstrukturen und Wasserhaushalt in keinem der anderen Regionalverbände mit gleicher Intensität herausgearbeitet worden sind wie im nordostdeutschen Tiefland. Die Ursache liegt darin, dass in den Untersuchungen der Verbände jener Regionen in der Regel Wasser nicht als der entscheidend limitierende Faktor anzusehen ist. Wasserhaushaltsuntersuchungen werden dort zwar durchgeführt, weil sie bedeutungsvoll für Stoff- und Energiehaushalt, für Produktivität und Stabilität der Bestände sind, der Wasserfaktor das Waldwachstum aber nur in bzgl. der Witterung seltenen Extremsituationen entscheidend begrenzt. Sehr häufig stehen Wasserhaushaltsmessungen und ihren Ergebnissen keine hinreichend präzisen quantifizierten Strukturinformationen gegenüber.

Im Verlauf der Forschungen der zurückliegenden Jahre, insbesondere seit 1991 in den BMBF-Verbundvorhaben „Waldökosystemforschung Eberswalde“ (ANDERS et al. 2002) und „Ökologie Waldumbau“ (ANDERS et al. 2003) wurden die Beziehungen zwischen den Waldstrukturen und den sich in ihnen herausbildenden Prozessen in ihrer gegenseitigen Bedingtheit herausgearbeitet. Die Wirkungen des Standortes auf die Wasser- und Stoffflüsse und das Waldwachstum wurden im Zusammenhang mit den Wirkungen der Waldstrukturen (Baumart, Baumalter, Bestandesdichte, Schichtung, Bodenvegetation) auf die Standortseigenschaften und die wachstumsrelevanten Prozesse analysiert. Dabei wurde deutlich, dass durch die Forstwirtschaft über die Bestandesbehandlung die Bestandesstrukturen und damit sowohl die wachstumsrelevanten Standortseigenschaften als auch die Prozessabläufe beeinflusst werden können. Im Zusammenhang mit den Auswirkungen von Klimaänderungen auf den Wald ist dies für den Faktor Wasser und die Ausgestaltung des Bestandes- und Landschaftswasserhaushaltes von besonderer Bedeutung.

Die nachfolgenden Ausführungen umreißen den heutigen Wissensstand zu den Auswirkungen der erwarteten Klimaänderungen auf die Wälder in Deutschland und die Notwendigkeit der daraus erwachsenden forstlichen und umweltpolitischen Antwortreaktionen.



Die Prognose der Auswirkungen von Klimaänderungen auf den Wald ist schwierig. Die Ursachen liegen

- in der Unbestimmtheit von Richtung, Ausmaß und Tempo der Veränderungen,
- in der noch immer sehr groben horizontalen und vertikalen Auflösung der Aussagen von Klimamodellen im regionalen Maßstab, insbesondere auch in der Ungewissheit darüber, ob die heutige räumlich-regionale Variabilität des Klimas auch bei globaler Veränderung erhalten bleibt,
- im Fehlen einheitlicher Reaktionsmuster, Waldökosysteme können abhängig von Vegetationszone, Waldtyp, verwendeten Herkünften und Standort unterschiedlich auf geänderte Temperaturen, Niederschläge und Stoffeinträge reagieren,
- in der Tatsache, dass die Mehrzahl der Forschungsergebnisse zur Abhängigkeit physiologischer Prozessabläufe und –ergebnisse von veränderten Klimabedingungen an Jungpflanzen gewonnen werden und die Übertragung auf Waldbestände problematisch ist,
- in der Tatsache, dass die Wirkung von Klimaänderungen durch weitere Komponenten des globalen Wandels, insbesondere Stoffeinträge, sowie die direkte Beeinflussung von Waldökosystemen durch Bewirtschaftung überlagert wird, so dass sich die Auswirkungen verstärken oder dämpfen können.

Simulationen mit globalen Klimamodellen (GCM) ergeben für die Temperatur relativ zuverlässig eine regional zwar unterschiedliche, global aber gerichtete Erhöhung zwischen 1,4 und 5,8 K im 21. Jahrhundert (IPCC 2001, SCHÖNWIESE 2002). Auch kann global aufgrund energetischer Betrachtungen mit einer Erhöhung der Niederschläge gerechnet werden (BRONSTERT et al. 2002), doch sind die Berechnungen der GCMs bzgl. der künftigen Entwicklung der regionalen Niederschlagsbedingungen (noch) mit so großen Unsicherheiten behaftet, dass die Nutzung dieser Ergebnisse für Aussagen des zukünftigen Wasserkreislaufes sehr begrenzt sind (BRONSTERT et al. 2003). Da in den Szenarios zum Klimawandel Veränderungen der Wasserverfügbarkeit grundsätzlich bedeutungsvoller sind als Temperaturänderungen, erschwert dies Voraussagen darüber, wie sich die Waldstruktur und Artenzusammensetzung an die künftige Klimaänderung anpassen werden (REYNOLDS et al. 2001; FABIAN und MENZEL 1998). Regional und für das Waldwachstum relevant wird vielfach mit einer Veränderung der Niederschlagsverteilung im Jahresverlauf zulasten der Vegetationsperiode gerechnet. Im Wissen um diese Zusammenhänge sind die für verschiedene Regionen Deutschlands entwickelten Szenarios zur Waldentwicklung mit großen Unsicherheiten behaftet.

Auszugehen ist davon, dass Deutschland gegenwärtig von Natur aus flächendeckend potentielles Waldland ist. Das Vorkommen des Waldes erreicht lediglich im Hochgebirge kältebedingte, in Sumpfbereichen nässebedingte, auf ärmsten Sanden trophiebedingte und auf Fels- und Dünenstandorten trockenheitsbedingte Grenzen. Aufgrund der gegebenen Niederschlagsarmut mit Werten um 500 mm Jahresniederschlag sind das ostbrandenburgische Tiefland, das mitteldeutsche Trockengebiet (Regenschatten des Harzes), das Thüringer Becken, das mainfränkische Keupergebiet und die oberrheinische Tiefebene deutlich erkennbare Grenzbereiche für das Gedeihen geschlossener Wälder. Für diese Gebiete ist bei Klimaerwärmung und Niederschlagsverringerung und/oder jahreszeitlicher Umverteilung zulasten der Sommerniederschläge mit der Auflösung geschlossener Waldstrukturen, einem deutlichen Rückgang der Nettoprimärproduktion, drastischer Reduzierung der Grundwasserneubildung und gravierenden Veränderungen der Artenvielfalt zu rechnen.

Bedeutsam ist, dass Veränderungen der Klimabedingungen umso tiefgreifendere Folgen für die Waldökosysteme haben, je mehr für ihr Vorkommen bereits heute von ökologischen

Grenzbedingungen auszugehen ist. Ob die Wachstumsreaktionen auf Klimaänderungen positiv oder negativ sind, hängt davon ab, in welchem Versorgungsbereich sich die Bäume auf einem bestimmten Standort befinden und ob sich die Änderungen in Optimumnähe des Standortfaktors oder im kritischen Bereich abspielen (PRETZSCH 2001). So wird z.B. für die Buche im Bereich der Neuen Bundesländer unter der Annahme einer Klimaerwärmung um 1,5 bis 2 K und von unverändertem Niederschlag eine Schrumpfung des natürlichen Buchenwaldareals von Nordosten her und damit eine Beschränkung auf den küstennahen Raum und die Mittelgebirge erwartet (HOFMANN et al. 1992). Für Bayern, mit für die Buche wesentlich günstigeren Bedingungen, wird dagegen bei gleicher Klimaerwärmung davon ausgegangen, dass die Wärmetoleranz dieser Baumart in weiten Teilen nicht überschritten wird. In Gebirgslagen, in denen heute die Wärme wachstumslimitierender Faktor ist, ist sogar mit positiven Effekten zu rechnen (FELBERMEIER 1994; BORCHERT und KÖLLING 2003). Die Fichte reagiert sehr stark auf Veränderungen der Temperatur in der Vegetationszeit und toleriert nur eine Amplitude zwischen 5 und 8 °C Jahresmitteltemperatur (THOMASIU 1991). In vielen Regionen Mitteleuropas mit Fichtenvorkommen liegt diese bereits heute bei 7,0 bis 7,5 °C. Schon eine geringe Temperaturerhöhung würde hier die Fichte an den oberen Randbereich ihrer ökologischen Amplitude bringen (PRETZSCH 2001).

Für Waldgesellschaften wärmeliebender und trockentoleranterer Baumarten mit Eichen, Winterlinden und Hainbuchen sowie Kiefern ist dagegen mit einer Ausdehnung der Verbreitungsgebiete nach Westen zu rechnen (HOFMANN 1995; IRRGANG 2002; GERSTENGARBE et al. 2003). Jedoch wird selbst für Gebiete mit bereits heute angespanntem Wasserhaushalt Brandenburgs in den nächsten 50 Jahren ein Übergang zu einem mediterranen Wasserhaushaltsregime und daraus resultierenden Waldgesellschaften ausgeschlossen (HOFMANN 1995; GERSTENGARBE et al. 2003; BADECK et al. 2004). Neue Forschungsergebnisse belegen, dass die Kiefer gegenüber Hitze und Dürre in der Vegetationsperiode sich als ökologisch außerordentlich stabil erweist (v. LÜHRTE 1991; ANDERS et al 2002; LASCH et al. 2002; BECK 2005). Insgesamt wird die Zukunftsfähigkeit unserer Baumarten in entscheidendem Maße von der Kenntnis, Auswahl und Verfügbarkeit geeigneter Provenienzen abhängen.

Bei großklimabedingt ausreichenden Niederschlägen in stärker atlantisch beeinflussten Gebieten und in den Gebirgslagen ist bei Klimaerwärmung mit einer Zunahme der Nettoprimärproduktion der Wälder zu rechnen. Neben der Veränderung primär wuchsbestimmender ökologischer Faktoren (vermehrtes Wärme-/Strahlungsangebot, ausreichende Niederschläge, höherer CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft) resultiert diese im Gebirge aus einer Verschiebung der Höhengrenze der Baumarten nach oben. Es ist damit zu rechnen, dass die ökologische Ausstattung auch künftig für alle Baumarten des Bergmischwaldes ausreichen wird, es aber zu einer Veränderung seiner Zusammensetzung zugunsten des Anteils der ertragsstarken Buche und des Rückgangs der Fichte kommen wird (BORCHERT und KÖLLING 2004).

Generell wird eingeschätzt, dass im terrestrischen Bereich des Tief- und Hügellandes sowie der unteren Berglagen bei Verschärfung trocken-warmer Klimaausbildungen die ertragreichen Baumarten wie Fichte und Buche zurückgedrängt und vergleichsweise ertragsschwächere Baumarten wie Eiche und Kiefer begünstigt werden. Schaderregerpopulationen werden sich verändern und den neuen Bedingungen anpassen (WULF 1995). Die Waldbrandgefahr wird zunehmen. Die ökonomischen Folgen für diese Regionen werden als schwerwiegend eingeschätzt.

Insgesamt ist festzustellen, dass die Langlebigkeit der Wälder eine gewisse Ausgeglichenheit der Umweltverhältnisse voraussetzt, aus der bei Veränderungen auch ihre hohe Empfindlich-

keit und Verletzbarkeit resultiert. Generell gilt, dass das Anpassungsvermögen der Waldökosysteme umso geringer ist, je ausgeprägter und rascher sich Veränderungen einstellen und je deutlicher, abhängig von den sie maßgeblich dominierenden Baumarten, ökologische Grenzbereiche betroffen sind. Bereits unter heutigen Klimabedingungen besteht auf rund zwei Drittel der Waldfläche ein permanenter Widerspruch zwischen forstlichem Standort und Bestockung. So sind nach den Ergebnissen der zweiten Bundeswaldinventur (BWI2), gemessen an der Baumartenzusammensetzung der natürlichen Waldgesellschaft, nur 35,2 % der Wälder Deutschlands als sehr naturnah oder naturnah einzustufen. Dagegen sind 64,7 % nur bedingt naturnah, kulturbetont oder kulturbestimmt (BMVEL 2004). Daraus folgt, dass ein beträchtlicher forstlicher Regelungsaufwand zur Bestandespflege, wie Mischungs- und Standortregulierung, Schaderregerüberwachung und –bekämpfung erforderlich ist. Dieser wird auch künftig nicht geringer, weil die aus Klimaveränderungen resultierenden Belastungen zu Stabilitätseinbußen führen und zudem auf Waldökosysteme treffen, die auf mehr als der Hälfte der Waldfläche bis weit über die Mitte des Jahrhunderts in Strukturen und Baumartenanteilen weitgehend festgelegt und für deren Annäherung an natürliche Waldstrukturen auch ökonomische Grenzen gesetzt sind.

Anpassungsmaßnahmen sind bei mäßigem Veränderungstempo und Stabilisierung der Klimabedingungen auf verändertem Niveau erfolversprechend, bei andauernder, praktisch zum Dauerzustand werdender Veränderung, außerordentlich problematisch. Neben der Erhaltung des Waldes als Vegetationsform geht es um die Sicherung seiner künftigen wirtschaftlichen Nutzung als wichtigem Element der Landnutzung.

Die natürliche Sukzession setzt das Vorhandensein künftig potenter Baumarten voraus, sie vollzieht sich in sehr langen Zeiträumen über die Veränderung der Baumartenanteile bei prinzipieller Fortexistenz der Waldgesellschaft.

Die Ablösung bei Klimaerwärmung zunehmend instabilerer naturferner Nadelbaum-Monokulturen ist über den ökologischen Waldumbau in vertretbaren Zeiträumen möglich.

Die von der Bundesregierung zwischen 1998 und 2004 im Rahmen des Programms „Forschung für die Umwelt“ in fünf deutschen Modellregionen geförderten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten können für die Umsetzung einer zukunftsorientierten Waldwirtschaft wesentliche Grundlagen schaffen. Mit der regionenübergreifenden integrierenden Synthese der erzielten Ergebnisse werden aus dem Waldumbau resultierende Schlüsselprozesse in Waldböden, sich einstellende Diversitätsmuster von Flora und Fauna, Perspektiven der Nutzung genetischer Diversität zur Erhöhung der Stabilität der Wälder von morgen herausgearbeitet. Es wird u.a. nachgewiesen, dass Waldumbau über die Erhöhung der Nettospeicherung von Kohlenstoff das Klimasystem stabilisiert und dass in weiten Teilen des norddeutschen Tieflandes durch Baumartenwechsel der Bestandeswasserhaushalt mit positiven Auswirkungen auf Produktivität und Stabilität der Wälder beeinflusst und der Landschaftswasserhaushalt wesentlich verbessert werden kann.

Kurz- und mittelfristig ist die ökologische Stabilisierung des weit überwiegenden Teils der Wälder möglich durch weitere Verminderung des Schadstoffeintrages (Critical loads), in Einzelfällen vorsichtige Kompensationsdüngungen, ressourcenorientierte Steuerung der horizontalen und vertikalen Bestandesstruktur und der Bestandesdichte unter Beachtung kleinflächiger Standortunterschiede, durch effektive Überwachungs- und Bekämpfungsmaßnahmen gegenüber Schaderregern und Waldbrand, eine an die natürlichen Äsungsbedingungen und Lebensräume angepasste Wilddichte sowie bestandes- und bodenschonende, betriebswirtschaftlich vertretbare Nutzungsstrategien.

Die dafür notwendigen Kenntnisse und Informationen werden erarbeitet im Netz von Dauerbeobachtungsflächen zur Umweltkontrolle im Wald im Rahmen von Forest Focus (Verord-

nung des Europäischen Parlaments und des Rates für das Monitoring von Wäldern und der Umweltwechselwirkungen in der Gemeinschaft) und durch die forstlichen Inventuren (Bundeswaldinventur, Bodenzustandserhebung, Waldzustandserfassung). Im Rahmen der Forschung erfolgt die wissenschaftliche Weiterentwicklung und Anpassung bestehender Regelungen und Vorgaben an veränderte Umweltbedingungen.

## **5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Im Laufe der Projekterarbeitung entwickelte sich eine enge Zusammenarbeit mit der Leitung des Gesamtvorhabens. Hervorzuheben sind Herr Prof. Dr. P. Fritz vom UFZ Leipzig/Halle als Verantwortlicher für die inhaltliche und konzeptionelle Koordination und Moderation des Gesamtvorhabens, Herr Dr. M. Jenssen vom Waldkunde-Institut Eberswalde, der für die wissenschaftliche Koordinierung und die Ergebnissynopse zuständig war, Frau Dipl.-Histor. und Redakteurin D. Weber, die für die Redaktion des Gesamtvorhabens und dessen Koordination aus organisatorisch-planerischer Sicht verantwortlich zeichnete.

Im Laufe der Bearbeitung erwachsen Kontakte zu Herrn Dr. A. Reinholz, der für die Internetpräsentation [www.zukunftswald.de](http://www.zukunftswald.de) verantwortlich war.

Bereits während der Forschungsphase 1999 bis 2003 bestand eine außerordentlich enge Zusammenarbeit mit dem Forschungszentrum Karlsruhe (PD Dr. H. Papen, Dr. K. Butterbach-Bahl u.a.), die im letzten Jahr während der Ergebnissynthese das Teilprojekt C (Modellierung und Upscaling von Schlüsselprozessen in Waldböden) erarbeiteten.

In der Phase der Sichtung und Wertung der Forschungsergebnisse in den Modellregionen bestand eine fruchtbare Zusammenarbeit mit

- der Forstlichen Versuchsanstalt Baden-Württemberg (FVA, Dr. v. Wilpert)
- der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF, Herr Dietrich, Dr. Raspe),
- der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt (NFV, Dr. Meesenburg, Dr. Meiwes)
- der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft in Rheinland-Pfalz (Dr. Block, Dr. Schröck)
- dem Landesforstpräsidium Sachsen (LFP, Dr. Irrgang, Dr. Raben, Dr. Andreae)
- der Brandenburgischen Landesforstanstalt Eberswalde (LFE, Prof. Riek, Dr. Kallweit)
- der TU München/Freising (Prof. Göttlein)
- der Universität Freiburg (Prof. Leibundgut)
- der TU Dresden/Tharandt (Prof. Feger, Prof. Makeschin) und
- dem Waldkundeinstitut Eberswalde (Prof. Hofmann, Dr. Jenssen)

Im unmittelbaren Arbeitsprozess bestanden darüber hinaus besonders enge Beziehungen zum Teilprojekt B (Schlüsselprozesse in Waldböden), insbesondere zu Frau Dr. Augustin, die an der Erarbeitung des Ergebnisteils zur Wassergüte unter Wald im Verlauf des Umbauprozesses maßgeblich beteiligt war.

Redaktionelle Kontakte zur Berichtabfassung bestanden zum Teilprojekt E (Artenvielfalt, Dipl.-Biologe C. Döring) sowie zum Teilprojekt F (Genetik, Dr. B. Hosius).

## **II    Eingehende Darstellung**

### **1    der erzielten Ergebnisse**

Die Beiträge des Teilvorhabens für die Buchpräsentation und die Zuarbeiten für das Internetportal erfolgten in ständiger Zusammenarbeit mit den dafür Verantwortlichen. Ursprüngliche Textentwürfe, Abbildungen und Tabellen wurden im Dialog mehrfach überarbeitet, zum Teil auch deutlich verändert. Es ist nicht sinnvoll, diesen Prozess der inhaltlichen Reife rückschauend nachzuvollziehen.

Der Anteil des Teilprojekts an der Buchpublikation umfasst insbesondere

- Zuarbeit zum Abschnitt A  
Historischer Abriss zum Thema „Wald und Wasser“ (Schwerpunkt ist die Textpassage „Fremdstoffeinträge und Kalamitäten: Gefahren für die Stabilität des Waldes“)
- Kapitel B 4 „Die Ressource Wasser im zweischichtigen Nadel-Laub-Mischbestand“ incl. zwölf wissenschaftliche Abbildungen und eine Tabelle
- Teilmanuskript zum Abschnitt C entsprechend den Anforderungen der Synopse (Schwerpunkte sind die beiden Textpassagen „Entscheiden und Handeln: Wo soll der Waldumbau beginnen? Auf möglichst vielen oder auf ausgewählten Standorten?“ sowie „Entscheiden und Handeln: Wann mit dem Waldumbau beginnen? Kurz- oder langfristige Schirmwuchsphasen?“)

### **2    des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere Verwertbarkeit der Ergebnisse**

Der Nutzen des Vorhabens liegt entsprechend der Zielstellung in der Aufarbeitung und Darstellung des aktuellen Wissensstandes, in der Ableitung von Handlungsempfehlungen für die forstliche Praxis, der Identifikation von Forschungslücken und im Aufzeigen des Bedarfs für zukünftige Forschungsarbeiten zur nachhaltigen Waldwirtschaft.

Insbesondere mit der Einbeziehung der Stakeholder in der Phase der Texterarbeitung für die Buchpublikation und für das Internetportal wurde gegenüber den vorliegenden Abschlussberichten der regionalen Einzelprojekte eine wesentlich breitere, anwendungsorientierte Klientel erreicht. Über die Internetpräsentation werden Lehrer und Schüler und darüber hinaus breite Teile der Bevölkerung mit den Problemen der Nachhaltigkeit der Waldbewirtschaftung, der Notwendigkeit und Bedeutung sowie den Zielen des Waldumbaus vertraut gemacht. Für Verantwortungsträger in Politik und Wirtschaft wurde eine zusammenschauende Darstellung eines sehr komplexen Problems erarbeitet, wobei das Vorhaben in Form des Buches als Ganzes gesehen werden muss.

Schließlich ist auch für den oft stark sektoral orientierten Wissenschaftler die Verknüpfung seiner Spezialdisziplin mit weiteren Wissensgebieten des gleichen Forschungsgegenstandes und der Zwang, Erkenntnisse seiner Forschung in Gesamtzusammenhänge einzubringen, von großem Nutzen für den Einzelnen, aber auch für das Vorhaben insgesamt.

### **3 der während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordenen Fortschritte auf dem Vorhabensgebiet**

Dem Zuwendungsempfänger sind im Verlauf des Vorhabens keine Ergebnisse bekannt geworden, die das Ergebnis der Arbeit beeinflussen.

Von den Regionalverbänden Südschwarzwald (v. TEUFFEL et al. 2005), Sachsen (FÜRST et al. 2004) und Nordostdeutsches Tiefland (HEUER et al. 2005) wurden Projektergebnisse in Sammelbänden publiziert. Sie beziehen sich ausschließlich auf Ergebnisse der jeweiligen Region und haben eine andere, im Wesentlichen wissenschaftliche Zielgruppe.

### **4 der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen der Ergebnisse**

Die unter Abschnitt 6 aufgeführten Zuarbeiten werden Bestandteil einer Buchpublikation, die unter dem Titel „Ökologischer Waldumbau in Deutschland. Fragen, Antworten, Perspektiven“ beim oekom-Verlag München herausgegeben wird. Weitere Ergebnisse sind Bestandteil der Internetpräsentation [www.zukunftswald.de](http://www.zukunftswald.de).

### **5 der verwendeten Literatur**

ANDERS, S.; BECK, W.; BOLTE, A.; HOFMANN, G.; JENSSEN, M.; KRAKAU, U.; MÜLLER, J. (2002): Ökologie und Vegetation der Wälder Nordostdeutschlands. [www.forstbuch.de](http://www.forstbuch.de), Verlag Dr. Kessel, Oberwinter, 283 S.

ANDERS, S.; BECK, W.; HORNSCHUCH, F.; MÜLLER, J.; STEINER, A. (2003): Untersuchungen zur Ökologie von Kiefern-Buchen-Mischbeständen im nordostdeutschen Tiefland und Ableitung von Empfehlungen zur Durchführung des Buchen-Unterbaus in Kiefernreinbeständen. Abschlussber. BMBF-Verbundprojekt „Ökologische Voraussetzungen und Wirkungen des Waldumbaus im nordostdeutschen Tiefland“, 226 S. (FKZ 0339731; Teilvorhaben A)

ANDERS, S.; BECK, W.; HORNSCHUCH, F.; MÜLLER, J.; STEINER, A. (2004a): Vom Kiefern-Reinbestand zum Kiefern-Buchen-Mischbestand – ökologische Veränderungen, waldwachstumskundliche und landschaftsökologische Folgen sowie waldbaulich-praktische Empfehlungen. Beitr. Forstwirtsch. u. Landsch. ökol. (2); 55-67.

ANDERS, S.; BECK, W.; HEYDECK, P.; FISCHER, R.; KÄTZEL, R.; KÖNIG, A.; KÜPPERS, J.-G.; LÖFFLER, S.; LUX, W.; MÖLLER, K.; MÜLLER, J.; THOROE, C. (2004 b): Auswirkung der Trockenheit 2003 auf Waldzustand und Waldbau. Arbeitsbericht d. Instituts für Forstökologie und Walderfassung der BFH 2, 109 S.

BADECK, F.-W.; LASCH, P.; SUCKOW, F. (2004): Wirkungen des Klimawandels – Erkenntnisse der Klimaforschung zu Wasserhaushalt und Wald In: Klimawandel – wie soll der Wald der Zukunft aussehen? Tagungsband Brandenburgischer Forstverein, S. 26-36.

- BECK, W. (2005): Investigation of the interactions between pine and beech in two-layer mixed stands using methods of tree-ring research. In: TRACE-Tree Rings in Archaeology, Climatology, and Ecology. Vol. 3, Proceedings of the Dendrosymposium 2004, April 22<sup>nd</sup> 2004 in Birmensdorf, Switzerland, in press.
- BMVEL (2003) Wasserhaushalt von Waldökosystemen: Methodenleitfaden zur Bestimmung der Wasserhaushaltskomponenten auf Level II-Flächen. 92 S.
- BMVEL (2004) Die zweite Bundeswaldinventur – BWI<sup>2</sup>: Das Wichtigste in Kürze. Bonn, 87 S.
- BORCHERT, H. und KÖLLING, C. (2003): Klimawandel und Nachhaltigkeit aus forstlicher Sicht. Welche waldbaulichen Konsequenzen werden derzeit diskutiert? LWF aktuell 37: 23-29.
- BORCHERT, H. und KÖLLING, C. (2004): Waldbauliche Anpassung der Wälder an den Klimawandel jetzt beginnen. LWF aktuell 43:28-30.
- BRONSTERT, A.; NIEHOFF, D. & BÜRGER, G. (2002): Effects of climate and land-use change on storm runoff generation: present knowledge and modelling capabilities. Hydrological Processes 16 (2): 509-529.
- BRONSTERT, A.; LAHMER, W.; KRYSANOWA, V. (2003): Klimaänderung in Brandenburg und Folgen für den Wasserhaushalt. Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg 12 (3): 72-79.
- FABIAN, P.; MENZEL, A. (1998): Wie sehen die Wälder von morgen aus – aus der Sicht eines Klimatologen. Forstw. Cbl. 117: 339-354.
- FELBERMEIER, B. (1994): Die klimatische Belastbarkeit der Buche. Forstw. Cbl. 113: 152-174.
- FÜRST, C.; BITTER, A. W.; EISENHAUER, D.-R.; MAKESCHIN, F.; RÖHLE, H.; ROLLOFF, A.; WAGNER, S. (eds.) (2004): Sustainable Methods in Ecological Process of a Conversion of Pure Norway spruce and Scots Pine Stand into Ecologically Adpted Mixed Stands. Forstwiss. Beitr. Tharandt, H. 20.
- GERSTENGARBE, F.-W.; BADECK, F.; HATTERMANN, F.; KRYSANOVA, V.; LAHMER, W.; LASCH, P.; STOCK, M.; SUCKOW, F.; WECHSUNG, P.; WERNER, P. C. (2003): Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. Potsdam Institute for climate impact research (PIK) PIK Report No. 83; 78 S.
- HEUER, E.; ANDERS, S.; JENSSEN, M.; MÜNZENBERGER, B.; OHEIMB v., G.; HÄRDTLE, W.; KÄTZEL, R.; LOCKOW, K.-W.; BILKE, G.; MAJUNKE, C.; LUTHARD, E. M. /Hrsg.) (2005): BMBF-Forschungsverbund „Zukunftsorientierte Waldwirtschaft“: Ökologischer Waldumbau im nordostdeutschen Tiefland. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Bd. XXIII.

- HOFMANN, G.; ANDERS, S.; BECK, W.; CHZRON, S.; MATTHES, B. (1992): Buchenwälder in der ehemaligen DDR und ihr Vitalitätszustand. In: Buchenwaldökosysteme – Naturerbe Mitteleuropas – NZ NRW-Seminarberichte, H. 12: 23-34.
- HOFMANN, G. (1995): Wald, Klima, Fremdstoffeintrag-ökologischer Wandel mit Konsequenzen für Waldbau und Naturschutz – dargestellt am Gebiet der neuen Bundesländer Deutschlands. In: Angewandte Landschaftsökologie H. 4: 165-189.
- IPCC (2001): Climate Change 2001, Third Assessment Report of IPCC, Working Group I: The Scientific Basis; Working Group II: Impacts, Adaption, and Vulnerability; Cambridge University Press.
- IRRGANG, S. (2002): Klimafolgen-Abschätzung für den Wald in Sachsen. AFZ-Der Wald 20: 1075-1078.
- LASCH, P.; BADECK, F.-W.; LINDNER, M.; SUCKOW, F. (2002): Sensitivity of simulated forest growth to changes in climate and atmospheric CO<sub>2</sub>. Forstw. Cbl. 121, Supplement I: 155-171.
- LÜHRTE v., A. (1991): Dendroökologische Untersuchungen an Kiefern und Eichen in den stadtnahen Berliner Forsten. Berlin: TU Berlin, 186 S.
- PRETZSCH, H. (2001): Modellierung des Waldwachstums, Parey Berlin 2001, 341 S.
- REYNOLDS, J. F.; BUGMANN, H. and PITELKA, L. F. (2001): How much physiology is needed in forest gap models for simulating long-term vegetation response to Global change? Challenges, limitations, and potentials. Climatic Change 51: 541-557.
- SCHÖNWIESE, C. D. (2002): Beobachtete Klimatrends im Industriealter: Ein Überblick global/Europa/Deutschland. Berichte aus dem Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt/Main, 106, 1-93.
- TEUFFEL v., K.; BAUMGARTEN, M.; HNEWINKEL, M.; KONOLD, W.; SAUTER, U. H.; SPIECKER, H.; v. WILPERT, K. (Hrsg.) (2005): Waldumbau für eine zukunftsorientierte Waldwirtschaft. Ergebnisse aus dem Südschwarzwald.
- THOMASIUS, H. (1991): Mögliche Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Wälder in Mitteleuropa. Forstw. Cbl. 110 (5): 305-330.
- WULF, A. (1995): Einfluß von Klimaänderungen auf die phytosanitäre Situation im Forst. In: Klimawirkungsforschung im Geschäftsbereich des BML; Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten; Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Heft 442, 71-79.



**Anlage 1: Literaturangaben der Broschüre „Wasserhaushalt von Waldökosystemen: Methodenleitfaden zur Bestimmung der Wasserhaushaltskomponenten auf Level II-Flächen“ (BMVEL 2003)**

- AG Boden, 1994: Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Aufl. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- AK Standortkartierung, 1996: Forstliche Standortaufnahme. 5. Aufl., Eching b. München, IHW-Verl.
- Allen, R.G., Periera, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998: Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. - FAO Irrigation and drainage paper, 56. Logan, USA.
- Anders, S., 2001: Das mehrstufige Forstliche Umweltmonitoring in Deutschland – Konzept, Ergebnisse und Perspektiven. Artenschutzreport, Heft 11,13-18
- Anders, S., Beck, W., Bolte, A., Hofmann, G., Jenssen, M., Krakau, U., Müller, J., 2002: Ökologie und Vegetation der Wälder Nordostdeutschlands. Oberwinter, Verlag Dr. Kessel, 283 S.
- Anders, S., Beck, W., Bolte, A., Hofmann, G., Jenssen, M., Kürbis, H., Lüttschwager, D., Müller, J., Pofahl, U., 1996: Waldökosystemforschung Eberswalde - Struktur, Dynamik und Stabilität von Kiefern- und Buchenwaldökosystemen unter Normal- und multiplen Streßbedingungen unterschiedlicher Ausprägung im nordostdeutschen Tiefland. In: Waldökosystemforschung Eberswalde. Hamburg: Max Wiedebusch Kommiss. Verl., 109 S. = Mitt. Bundesforschungsanst. Forst- Holzwirtschaft Nr. 182.
- Bartelink, H. H., 1997: Allometric relationships for biomass and leaf area of beech (*Fagus sylvatica* L), *Annales des Sciences Forestiers* 54, 39-50.
- Batjes, N.H., 1996: Development of a world data set of soil water retention properties using pedotransfer rules. *Geoderma* 71, 31-52.
- BayStMELF, 1981: Hilfstafeln für die Forsteinrichtung, Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.
- Belmans, C., Wesseling, J.G., Feddes, R.A., 1983: Simulation model of the waterbalance of a cropped soil: SWATRE. *J. Hydrol.* 63, 271-286.
- Benecke, P., 1984: Der Wasserumsatz eines Buchen- und eines Fichtenwaldökosystems im Hochsolling. *Schr. Forstl. Fak. Univ. Göttingen Nieders. Forstl. Versuchsanstalt* 77, 158 S.
- Benecke, P., Ellenberg, H., 1986: Umsatz und Verfügbarkeit des Wassers im Buchen- und Fichtenbestand. Ellenberg, H., Mayer, R., Schauer mann, J. (Hrsg.): *Ökosystemforschung - Ergebnisse des Solling-Projekts 1966-1986*, Ulmer Verlag, Stuttgart, 356-374.
- Benecke, P., Flüggen, C., 1989: Untersuchungen zur Auswirkung einer Grundwasserabsenkung auf Kiefernbestände niedersächsischer Sandstandorte. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* 160, 83-91.
- Block, J., Eichhorn, J., Gehrman n, J., Kölling, C., Matzner, E., Meiwes, K.J., von Wilpert, K., Wolff, B., 2000: Kennwerte zur Charakterisierung des ökochemischen Bodenzustandes und des Gefährdungspotentials durch Bodenversauerung und Stickstoffsättigung an Level II-Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML) (Hrsg.), 167 S.
- Brooks, R.H., Corey, A.T., 1966: Properties of porous media affecting fluid flow. *J. Irrigation Drainage Div., Proc. Am. Soc. Civil Eng.* (IR2) 92, 61-88.
- Burger, H., 1929-1953: Holz, Blattmenge und Zuwachs: I. Die Weymouthsföhre, II. Die Douglasie, III. Föhren und Fichten Verschiedener Herkunft, IV. 80j. Buchenbestand, V. Föhren und Fichten Verschiedener Herkunft, VI. Ein Plenterwald Mittlerer Standortgüte, VII. Die Lärche, VIII. Die Eiche, IX. Die Föhre, X. Die Buche, XI. Die Tanne, XII. Fichten im Plenterwald,

- XIII. Fichten im Gleichaltrigen Hochwald, Mitt. Schweiz. Anst. f. d. forstl. Vers.-Wesen, : I. 1929, 15, 243-292, II. 1936, 19, 21-72, III. 1937, 20, 101-114, IV. 1939, 21, 307-348, V. 1942, 22, 10-62, VI. 1941, 22, 377-445, VII. 1945, 24, 7-103, VIII. 1947, 25, 211-279, IX. 1948, 25, 435-493, X. 1949, 26, 419-468, XI. 1951, 27, 247-286, XII. 1952, 28, 109-156, XIII. 1953, 29,38-130.
- Calder, I.R., 1986: A stochastic model of rainfall interception.- J. Hydrol., 89: 65-71
- Cannel, M.G.R., Smith, R.I., 1983: Thermal time, chill days and prediction of budburst in *Picea sitchensis*. J. Appl. Ecol. 20, 951-963.
- Cescatti, A., 1998: Effects of needle clumping in shoots and crowns on the radiative regime of a Norway spruce canopy. Ann. Sci. For. 55, 89-102.
- De Vries, W., Reinds, G.J., van der Salm, C., Draaijers, G.P.J., Bleeker, A., Erisman, J.W., Auée, J., Gundersen, P., Kristensen, H.L., van Dobben, H., de Zwart, D., Derome, J., Voogd, J.C.H., Vel, E.M., 2001: Intensive Monitoring of forest ecosystems in Europe: Technical report 2001. United nations Economic commission for Europe, European Commission, 177 S.
- DVWK, 1986: Ermittlung des Interzeptionsverlustes in Waldbeständen bei Regen. –DVWK Merkblätter zur Wasserwirtschaft, H. 211, Hamburg, Berlin: Parey.
- DVWK, 1996: Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V., DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft 238. Wirtschafts- und Verl.-Ges. Gas und Wasser, Bonn, 135 S.
- DWD (Deutsche Wetterdienst), 1993: Richtlinie für automatische Klimastationen. Offenbach am Main.
- Elend, C., 2000: Untersuchungen zum Einsatz von hemisphärischen Fotos zur Ermittlung von Bestandesparametern und deren Einfluss auf die Interception von Waldbeständen. Dipl.-Arb. Fachber. Forstwirtschaft und Umweltmanagement Fachhochschule Hildesheim/Holzminde/Göttingen
- Ernstberger, H., 1982: Einfluss der Landnutzung auf Verdunstung und Wasserbilanz.- Verl. Beiträge zur Hydrologie-Kirchzarten, 1982
- Feddes, R.A., Kowalik P.J., Zaradry, H., 1978: Simulation of field water use and crop yield.- Center for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, NL, 1978
- Federer, C.A. 1995: BROOK90: A simulation model for evaporation, soil water and streamflow, Version 3.1. Computer freeware and documentation. USDA Forest Service, PO Box 640, Durham NH, USA.
- Federer, C.A., Vörösmarty, C., Fekete, B., 1996: Intercomparison of methods for calculating potential evaporation in regional and global water balance models. Water Resour. Res., 32, 2315-2321.
- Federer, C.A.; Lash, D., 1978: BROOK: A hydrologic simulation model for eastern forests. University of New Hampshire Water Resources Research Center Research Report 19, 94 p. Durham, New Hampshire, U.S.A. (revised 1983)
- Frazer, G.W., Fournier, R.A., Trofymow, J.A., Hall, R.J., 2001: A comparison of digital and film fisheye photography for analysis of forest canopy structure and gap light transmission. Agricul. Forest Meteorol. 109, 249-263.
- Freedon, W., Glockner, O., Rang, J., Schüler, G., 2000: Von forstmeteorologischen Punktmessungen zu räumlich aggregierten Daten. Ausgleich von Meßlücken durch approximative Bestimmung fehlender forstmeteorologischer Meßdaten. – Forstwissenschaftliches Centralblatt, 119: 332-349
- Gash, J.H.C., Morton A.J., 1978: An application of rutters model to the estimation of the interception loss from thetford Forest.- J. Hydrol. 38:49-58
- Gash, J.H.C., 1979: An analytical model of rainfall interception by forests. Quar. J. Roy. Met. Soc. 105 (443), pp.43-55

- Gupta, S.C. Larson, W.E., 1979: Estimating soil water characteristics from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density. *Water Resour. Res.* 15, 1633-1635.
- Hänninen, H., 1991: Does climatic warming increase the risk of frost damage in northern trees? *Plant, Cell and Environment* 14, 449-454.
- Hammel, K., Kennel, M., 2001: Charakterisierung und Analyse der Wasserverfügbarkeit und des Wasserhaushalts von Waldstandorten in Bayern mit dem Simulationsmodell Brook90. *Forstl. Forschungsber. München* 185.
- Hanks, R.J., Ashcroft, G.L., 1980: *Applied Soil Physics: Soil Water and Temperature Applications*, Springer Verlag, New York
- Hoffmann, H.-D., 1992: Modellierung der Interzeption von Waldbeständen und Überlegungen zur Regionalisierung der Modellparameter. In: DFG (Hrsg.) (1992): *Regionalisierung in der Hydrologie. Mitteilung XI der Senatskommission für Wasserforschung*. Weinheim, VCH
- Hofmann, G., 1996: Vegetationswandel in den Wäldern des nordostdeutschen Tieflandes. In: *Wald im Wandel. 9. Hamburger Forst- und Holztagung, 06.-09. Mai 1996*. Hamburg: Max Wiedebusch Kommiss. Verl., S. 45-72. = *Mitt. Bundesforschungsanst. Forst- Holzwirtschaft*, Nr. 185.
- Hölzer, R., 1982: Wasserhaushaltsuntersuchungen der Streu- und obersten Bodenschicht eines Fichtenbestandes unter Verwendung von Modellrechnungen. *Beitr. Hydrol. [Kirchzarten]*, Sonderheft 4, 117-144.
- Hörmann, G., 1997: SIMPEL - Ein einfaches, benutzerfreundliches Bodenwassermodell zum Einsatz in der Ausbildung. *Dt. Gewässerkundliche Mitteilungen*, 41(2):67-72
- Hörmann, G., Constantin, J., Herbst, M., Kluge, W., Morgenstern, M., Müller-Wohlfeil, D.-I., Schmidt, J., Thamm, F., Wegehenkel, M., Widmoser, P., 1997: Wasserhaushalt von Ökosystemen. In: Fränzle, O. et al. [Hrsg.] (1997 ff.): *Handbuch der Umweltwissenschaften. Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung*. Loseblattsammlung, Kap. IV-2.1.1. Landsberg/Lech.
- Hörmann, G., Meesenburg, H., 2000: Die Erfassung und Modellierung des Wasserhaushaltes im Rahmen des Level II-Programms in der Bundesrepublik Deutschland. *Forstarchiv*. 71(2000):70-75
- Hörmann, G., Schmidt, J., (Hrsg.) 1995: *Dokumentation von Wasserhaushaltsmodellen. - Berichte Forschungszentrum Waldökosysteme. - B 42, 1- 111.*
- Horn, R., Hartge, K.-H., 1999: *Einführung in die Bodenphysik*, 3. Auflage, Enke, Stuttgart
- Hoyningen-Huene, J. von 1983: Die Interzeption des Niederschlags in landwirtschaftlichen Pflanzenbeständen; *Schriftenreihe DVWK* 57, 1-53.
- Huwe, B. und R. R. van der Ploeg, 1988: Modelle zur Simulation des Stickstoffhaushalts von Standorten mit unterschiedlicher landwirtschaftlicher Nutzung; *Mitteilungen des Institutes für Wasserbau, Universität Stuttgart* 69, 213 S.
- Huwe, B., 1992: WHNSIM. Ein Modell zur Simulation des Wasser-, Wärme- und Stickstoffhaushalts von Standorten mit unterschiedlicher Nutzung, Vers. 2.0. *Programmdokumentation. Lehrstuhl für Bodenkunde und Bodengeographie, Abt. Bodenphysik, Universität Bayreuth*, unveröffentlicht, 112 S.
- Huwe, B., 1990: WHNSIM. Ein Modell zur Simulation des Wasser-, Wärme- und Stickstoffhaushalts landwirtschaftlich genutzter Böden: *Programmdokumentation; Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Fachgebiet Bodenphysik, Universität Hohenheim*, 96 S.
- Huwe, B., 1992: WHNSIM. A Model to Simulate the Water, Heat and Nitrogen Budget of Agricultural Fields; *Programmdokumentation; Universität Bayreuth, Abteilung Bodenphysik, D-95440 Bayreuth*, 104 S.
- Jackson, R.B., Canadell, J., Ehleringer, J. R., Mooney, H. A., Sala, O. E., Schulze, E. D., 1996 : A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia*, 108(3): 389-411.

- Jansson, P. E., S. Halldin, 1979: Model for the annual water and energy flow in a layered soil. In: S. Halldin (Ed), Comparison of forest and energy exchange models. Society for Ecological Modelling, Copenhagen, pp.145-163.
- Jansson, P.-E., 1994: The SOIL model (Vers. 7.5): User's manual, 3rd edition. Communications of the Swedish University of Agricultural Science, Uppsala, Department of Soil Science,.
- Jansson, P.E., Karlberg, L., 2001: Coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere systems. Web-Dokument: <ftp://amov.ce.kth.se/CoupModel/CoupModel.pdf>. Royal Institute of Technology, Dept of Civil and Environmental Engineering, Stockholm.
- Jochheim H., Einert P., Ende H.P., Kallweit R., Konopatzky A., Rieck W., Strohbach B., 2001: Die Wasserbilanz der Level-II-Standorte Brandenburgs- Berechnungen mit dem Simulationsmodell FOREST-BGC.- Beitr. Forstw. u. Landsch.ökol. 35, 9-13.
- Kändler, G., 1986: Die Ermittlung von Bestandesparametern als Eingangsgrößen für Interzeptionsmodelle mit Hilfe von aerophotogrammetrischer Verfahren. In Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Heft 127. 7800 Freiburg i. Breisgau.
- Kaub, H., 1994: Forst Meteorologische Datenbank. Rheinland-Pfalz. Funktion und Beschreibung der EDV-Programme CONVERTF (Version 1.5) und AGMEDA\_F (Version 2.3). Windesheim.
- Koitzsch, R., Günther, R. 1990: Modell zur ganzjährigen Simulation der Verdunstung und der Bodenfeuchte landwirtschaftlicher Nutzflächen.- Arch. Acker. Pflanzenbau Bodenkd. 24:717-725
- Kramer, K., 1994: Selecting a model to predict the onset of growth of *Fagus sylvatica*. J. Appl. Ecol. 31, 172-181.
- Kramer, K., 1996: Phenology and growth of European trees in relation to climate change. Thesis Landbow Univ. Wageningen, ISBN 90-5485-464-2
- Kramer, K., Leinonen, I., Loustau, D., 2000: The importance of phenology for the evaluation of impact of climate change on growth of boreal, temperate and Mediterranean forests ecosystems: an overview. International Journal of Biometeorology 44(2), 67-75.
- Kriebitzsch, W.-U., 1993: Der Wasserumsatz von Pflanzen in der Krautschicht eines Kalkbuchenwaldes. Phytocoenologia 23, 23-50.
- Küßner, R., Mosandl, R., 2000: Comparison of direct and indirect estimation of leaf area index in mature Norway spruce stands of eastern Germany. Can. J. For. Res. 30, 440-447.
- Landsberg, J. J., M. R. Kaufmann, D. Binkley, J. Isebrands, P. G. Jarvis 1991: Evaluating progress towards closed forest models based on fluxes of carbon, water and nutrients. Tree Physiology 9, 1-15.
- Lapin, M., Samaj, F., 1989): Methodics and corrections of systematic errors of atmospheric precipitation measurements in the CSSR. In: Sevruk, B. (Hrsg.)(1989): Precipitation Measurement. – WMO/IAHS/ETH Workshop on precipitation measurement, St. Moritz, 3-7 Dec. 1989, ETH Zürich 1989
- Legovic, T., 1997: Ecological modelling Internet resources; Ecological Modelling 100, 163-169.
- Leij, F.J., Alves, W.J., van Genuchten, M.T., Williams, J.R., 1996: The UNSODA unsaturated soil hydraulic database User's manual version 1.0. Rep. EPA/600/R-96/095, U.S. Environmental Protection Agency, Ada, Oklahoma. 103 S.
- Leuschner, C., 1998: Water extraction by tree fine roots in the forest floor of a temperate Fagus-Quercus forest. Ann. Sci. For. 55, 141-157.
- Leuschner, C., 2002: Forest succession and water resources: soil hydrology and ecosystem water turnover in early, mid and late stages of a 300-yr-long chronosequence on sandy soil. In: Dohrenbusch, A., Bartsch, N. (Hrsg.): Forest development: Succession, environmental stress and forest management. Berlin, Springer, 1-68.

- Lin, H.S., McInnes, K.J., Wilding, L.P., Hallmark, C.T., 1999: Effects of soil morphology on hydraulic properties, II. Hydraulic pedotransfer functions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63, 955-961.
- Lux, W. und Bund – Länderarbeitsgruppe Level II 1996: Dauerbeobachtung des Waldzustandes. *AFZ/ Der Wald* 11/1996.
- Manderscheid, B., Matzner, E., 1996: Auswirkungen unterschiedlicher Feinwurzelverteilungen und -biomassen auf das Risiko für Trockenstreß und Nadelverluste in Fichtenbeständen: Ergebnisse von Simulationsrechnungen zum Wasserhaushalt. *Forstw. Cbl.* 115, 350-362.
- Manderscheid, B., Matzner, E., Meiwes, K.-J., Xu, Y., 1995: Long-term development of element budgets in a Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) forest of the German Solling area. *Water, Air, and Soil Pollution* 79, 3-18.
- Menzel, A., 1997: Phänologie von Waldbäumen unter sich ändernden Klimabedingungen - Auswertung der Beobachtungen in den internationalen phänologischen Gärten und Möglichkeiten der Modellierung von Phänodaten. *Forstliche Forschungsberichte München*, Band 164. Forstwissenschaftliche Fakultät der Universität München und Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft.
- Menzel, A., Fabian, P., 1999: Growing season extended in Europe. *Nature*, 397, 659.
- Mitscherlich, G., 1978: *Wald, Wachstum und Umwelt. Band 1: Form und Wachstum von Baum und Bestand.* Frankfurt, Sauerländer.
- Monteith, J.L., 1981: Evaporation and surface temperature. *Quarterly J. Royal Meteor. Soc.* 107:1-27.
- Mualem, Y., 1976: A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resour. Res.* 12, 513-522.
- Müller, H., 1967: Standortsökologische Wasserhaushaltsuntersuchungen an *Vaccinium myrtillus* L. - *Archiv f. Forstwesen* 16, 587-590.
- Müller, J., 2001: Ermittlung von Kennwerten des Wasserhaushaltes in Kiefern- und Buchenbeständen des nordostdeutschen Tieflands. *Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie*, Berlin 35 1, 14-18.
- Müller, J., Bolte, A., Beck, W., Anders, S., 1998: Bodenvegetation und Wasserhaushalt von Kiefernforstökosystemen (*Pinus sylvestris* L.). *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, Berlin 28, 407-414.
- Müller, J. & Seyfahrt, M., 1999: Methode zur Ermittlung des Wasserverbrauches unterschiedlicher Waldbodenvegetationsdecken mit Hilfe von wägbaren Lysimetern. In: 8. Lysimetertagung der Bundesanstalt für Alpenländische Landwirtschaft in Gumpenstein am 13. und 14.4.1999. *BAL Bericht*, 177-178.
- Nemes, A., Schaap, M.G., Leij, F.J., Wösten, J.H.M., 2001.: Description of the unsaturated soil hydraulic database UNSODA version 2.0. *J. Hydrol.* 251, 151-162.
- Nemes, A., Wösten, J.H.M., Lilly, A., Oude Voshaar, J.H., 1999: Evaluation of different procedures to interpolate particle-size distributions to achieve compatibility within soil databases. *Geoderma* 90, 187-202.
- Nilson, T., Anniste, J., Lang, M., und Praks, J., 1999: Determination of needle area indices of coniferous forest canopies in the {NOPEX} region by ground-based optical measurements and satellite images. *Agricultural and Forest Meteorology*, 98-99, 449-462.
- Ogée, J.; Brunet, Y., 2002: A forest floor model for heat and moisture including a litter layer. *J. Hydrol.* 255, 212-233.
- Olejnik, J., F. Eulenstein, A. Kedziora & A. Werner, 2001: Evaluation of a water balance model using data for bare soil and crop surface in Middle Europe. - *Agricultural and Forest Meteorology* 106: 105-116.
- Olsson, L., Carlsson, K., Grip, H., Perttu, K., 1982: Evaluation of forest-canopy photographs with

- diode-array scanner OSIRIS. *Can. J. For. Res.* 12, 822-828.
- Raissi, F., Müller, U., Meesenburg, H., 2001: Ermittlung der effektiven Durchwurzelungstiefe von Forststandorten. *GeoFakten* 9, 7 S.
- Rawls, W.J. & Brakensiek, D.L., 1985: Prediction of soil water properties for hydrologic modelling. Jones, E., Ward, T.J. (Hrsg.): *Watershed management. Proc. Symp. Am. Soc. Civil Eng.*, Denver, CO, 30.04.-02.05.1985, Ney York, 293-299.
- Richards, L. A., 1931: Capillary conduction of liquids in porous mediums. *Physics*, 1, 318 - 333.
- Richter, D., 1995: Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Messfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. – *Berichte des Deutschen Wetterdienstes* 194.
- Running S.W. & Coughlan J.C., 1988: A general model of forest ecosystem processes for regional applications. I. Hydrologic balance, canopy gas exchange and primary production processes. *Ecological Modelling* 42: 125–154.
- Running, S.W. & Gower, S.T., 1991: FOREST-BGC, A general model of forest ecosystem processes for regional applications. II. Dynamic carbon allocation and nitrogen budgets. *Tree Physiology* 9, 147-160.
- Rutter, A.J., Kershaw, K.A., Robins, P.C., Morton, A.J., 1972: A predicitive model of rainfall interception in forests, 1. Derivation of the model from observations in a plantation of corsican pine. *Agricultural and Forest Meteorology*, 9, 367-384.
- Rutter, A.J. , Morton A.J. & Robins P.C., 1975: A predictive model of rainfall interception in forest 2. Generalization of the model and comparison woth observations in some coniferous and hardwood stands.- *J. Appl. Ecol.* 12: 367-381
- Rutter, A.J. & Morton, A.J., 1977: A predictive model of rainfall interception in forest. 3. Sensitivity of the model to stand parameters and meteorological variables. - *J. Appl. Ecol.* 14, 567-588.
- Schaap, M.G. & Leij, F.J., 1998: Database-related accuracy and uncertainty of pedotransfer functions. *Soil Sci.* 163, 765-779.
- Schaap, M.G., Leij, F.J., van Genuchten, M.T., 2001: Rosetta: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer fuctions. *J. Hydrol.* 251, 163-176.
- Schaber, J., 2002: Phenology in Germany in the 20th century: methods, analyses and models. Diss. Thesis, Universität Potsdam, Potsdam, 149 pp.
- Schäfer, B., Bens, O., Fischer, H., Hüttl, R.F., 2002: Einfluss des Baumartenwechsels auf die Wasserspeicherfähigkeit von sandigen Böden Nordost-Brandenburgs. *Forst u. Holz* 57, 571-575.
- Scheffer, F. & Schachtschabel, P., 2002: *Lehrbuch der Bodenkunde*, 15. Aufl., Spektrum, Akad. Verl., 2002, 593 S. :
- Scherzer, J., 2001: Der Wasserhaushalt von Kiefernforsten auf Kippböden der Niederlausitz. – *Cottbuser Schriften zu Bodebschutz und Rekultivierung*, 16.
- Scherzer, J., 2002: Lückenersatz von meteorologischen Messdaten der FVA Rheinland-Pfalz im Zeitraum 1996 – 2001 als Grundlage zur Wasserhaushaltsmodellierung. *Arbeitsbericht an die Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Abteilung Waldwachstum, D-67705 Trippstadt.*
- Schmidt, J.P., Blendinger, C., Lange, H., 1995: SilVlow - eine Modelldokumentation. In: *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B, Bd. 42: Dokumentation von Wasserhaushaltsmodellen*, 71-83.
- Schulze, A., Evers, J., Hoppe, J., Rumpf, S., Meiwes. K. J., 1999: Zur Anwendung des Nachhaltigkeitsprinzips im forstlichen Datenmanagement. *Forstarchiv* 70, 28-36.
- Schulze, A. & Meiwes, K. J., 2000: Erfahrungsbericht zum Einsatz eines Datenbanksystems im Level II – Programm. Bericht an die EU (Projekt-Nummer 98.60.DL.0160). *Niedersächsische Forstl.*

Versuchsanstalt.

- Schwarzmeier, M., Raspe, S., Kennel, M., Dietrich, H. P., 2000: Oberirdische Biomasse- und Elementvorräte der Fichtenbestände auf den Waldklimastationen Ebersberg und Flossenbürg, Abschlussbericht Projekt ST74. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising
- Seidling, W., Lux, W., Kürbis, H., 2002: Das Level II – Programm – Brücke zwischen Ökosystemforschung und Monitoring im Wald.
- Shuttleworth E. & Wallace W., 1985: Evaporation from sparse crops – an energy combination theory.- Quart. J. R. Met. Soc. 111: pp.839-855
- Simorangkir, D., 1994: Die Hysterese der pF-Kurve am Beispiel ihrer Auswirkung auf die Simulationsergebnisse für den Wasserhaushalt sandiger Kiefernwaldökosysteme. Ber. Forschungszentrum Waldökosysteme A119, 130 S.
- Spranger T., 1992: Erfassung und ökosystemare Bewertung der atmosphärischen Deposition und weiterer oberirdischer Stoffflüsse im Bereich der Bornhöveder Seenkette.- EcoSys Suppl. 4, 153
- Teepe, R., Beese, F., Dilling, H., 2000: Abschätzung der Luft- und Wasserspeicherkapazität in Waldböden. Ber. Freiburger Forstl. Forschung.
- Teepe, R., Dilling, H., Beese, F., 2002: Estimating water retention curves of forest soils from texture and bulk density. J. Soil Sci. Plant Nutr., z. Veröff. angen.
- Tiktak, A., H. J. M. van Grinsven, 1995: Review of sixteen forest-soil-atmosphere-models; Ecological modelling 85, 35-53.
- Turc, L., 1961: Évaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. Ann. Agron. 12, 13-49.
- Ulrich, B., 1983: Interactions of forest canopies with atmospheric constituents: SO<sub>2</sub>, alkali and earth alkali cations and chloride. Ulrich, B., Pankrath, J. (Hrsg.): Effects of air pollutants in forest ecosystems. Reidel Publ. Co., Dordrecht, 33-45.
- UN/ECE, 1997: Assessment of soil water flux. Programme Coordinating Centre, Federal Research Centre for Forestry and Forest Products (BFH) (Hrsg.): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. United Nations Economic Commission for Europe, Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests, Part III, Submanual on Soil Solution Collection and Analysis, 10-15.
- USDA, 1994: National soil pedon database. USDA Natural Resource Conservation Service, Lincoln, NE.
- Vaitl, W., 1989: Beschreibung der Prüfkriterien für die Qualitätskontrolle stündlicher meteorologischer Daten von automatischen agrarmeteorologischen Stationen der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau München - Freising 1989
- Van Genuchten, M.T., 1980: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44, 892-898.
- Van Genuchten, M.T., Leji, F.T., Yates, S.R., 1991: The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. USDA, US Salinity Laboratory, Riverside, CA, United States Environmental Protection Agency, document EPA/000/0-91/000.
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure), 1985: Meteorologische Messungen für Fragen der Luftreinhalte, Luftfeuchte. - VDI Richtlinien 3786, Blatt 4. Düsseldorf.
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure), 1985: Meteorologische Messungen für Fragen der Luftreinhalte, Lufttemperatur. - VDI Richtlinien 3786, Blatt 3. Düsseldorf.
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure), 1985: Meteorologische Messungen für Fragen der

- Luftreinhaltung, Niederschlag. - VDI Richtlinien 3786, Blatt 7. Düsseldorf.
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure), 1986: Meteorologische Messungen für Fragen der Luftreinhaltung, Globalstrahlung, direkte Sonnenstrahlung und Strahlungsbilanz. - VDI Richtlinien 3786, Blatt 5. Düsseldorf.
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure), 1988: Meteorologische Messungen für Fragen der Luftreinhaltung, Wind. - VDI Richtlinien 3786, Blatt 2. Düsseldorf.
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure), 1990: Meteorologische Messungen, Grundlagen. - VDI Richtlinien 3786, Blatt 1. Düsseldorf.
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure), 1993: Agrarmeteorologische Messstationen mit rechnergestütztem Datenbetrieb. - VDI Richtlinien 3786, Blatt 13. Düsseldorf.
- Vogel, T., K. Huang, R. Zhang und M. Th. Van Genuchten, 1996: The HYDRUS Code for Simulating One-Dimensional Water Flow, Solute Transport, and Heat Movement in Variably-Saturated Media; Research Report No. 140; U. S. Salinity Laboratory, Agricultural Research Service, U. S. Department of Agriculture; Riverside, California.
- Von Wilpert, K., 1990. Die Jahrringstruktur von Fichten in Abhängigkeit vom Bodenwasserhaushalt auf Pseudogley und Parabraunerde. Freiburger Bodenkundl. Abh. 24.
- Wegehenkel, M., 2000: Development and test of a modelling system for simulating water balances and plant growth using various different complex approaches. Ecol. Modell. 129, 39-64.
- Wegehenkel, M., Jochheim H., Einert P., Kallweit R., Konopatzky A., Riek W., Strohbach W., 2001: Wasserhaushaltssimulation der Level-II-Kiefernbestände Brandenburgs.- Beitr. Forstw. u. Landschaftsökologie.- 35, 5-8.
- Wesselink, L.G. & Mulder, J., 1995: Modelling Al-solubility controls in an acid forest soil, Solling, Germany. Ecol. Modell. 83, 109-118.
- Wilpert, von K., 1990. Die Jahrringstruktur von Fichten in Abhängigkeit von Bodenwasserhaushalt auf Pseudogley und Parabraunerde. Dissertation, Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br.
- Wittich, W., 1938: Wasserfaktor und Kiefernwirtschaft auf diluvialen Sandböden. Die Bedeutung der Bodendecke. Zeitschr. f. Forst- und Jagdwes. 70, 337-389.
- WMO (World Meteorological Organization), 1996: Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation Part II - III. - WMO, 8. Geneva.
- Wösten, J.H.M., A. Lilly, A. Nemes, C. Le Ba, 1999. Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. Geoderma, 90, 169-185.
- Wösten, J.H.M.; Pachepsky, Ya.A.; Rawls, W.J., 2001: Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing hydraulic characteristics. J. Hydrol.. 251, 123-150.
- Wulff, M.; Lüttschwager, D.; Fokert J.; Hüttl, R.F., 1996: Untersuchungen zum Deckungs- und Transpirationsgrad ausgewählter Pflanzenarten der Krautschicht in Kiefernbeständen. - Angew. Bot. 70, 65-171.



**Anlage 2    Zuarbeit Dr. S. Rust zur Erarbeitung des Teilvorhabens D  
„Waldstruktur und Wasserhaushalt“**

Text ist als pdf - Datei im Anhang enthalten (Berichte.pdf)

**Anlage 3 UDATA Literaturstudie  
E. Hangen und J. Scherzer**

Text ist als pdf - Datei im Anhang enthalten (BFH-Synthese.pdf)