Verbundprojekt

OakChain

„Eichen-Kiefern-Mischbestände“

Abschlussbericht 2010

Zuwendungsempfänger:
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V. (PIK)

Förderkennzeichen:
330576E

Vorhabensbezeichnung:

TP 2.2: Modellgestützte Analyse von Eichen-Kiefern-Mischbeständen im subkontinentalen Nordostdeutschen Tiefland unter Klimawandel

Laufzeit des Vorhabens:
01.05.2005 – 31.12.2009

Projektleiter:
Dr. Felicitas Suckow

Projektmitarbeiter:
Martin Gutsch
Dipl.-Math. Petra Lasch
Dr. Franz Badeck

I. Kurze Darstellung

1. Aufgabenstellung

Im Rahmen des Verbundprojekts, das sich mit dem Umbaus von Kiefern-Reinbeständen zu Eichen-Kiefern-Mischbeständen beschäftigte, hatte das Teilprojekt 2.2 die Aufgabe, mit Hilfe von Szenarien und Modellanalysen die Folgen des Waldumbaus auf die Ertragsleistung dieser Bestände unter der kombinierten Wirkung von Klimawandel, fortgesetzter Nährstoffdeposition und steigendem atmosphärischen CO_2-Gehalt zu untersuchen.

Dabei sollte das vom Antragsteller entwickelte Waldwachstumsmodell 4C mit Ansätzen zu Wurzelverteilung und Wasseraufnahme erweitert, an den Untersuchungsstandorten des Verbundprojektes eingesetzt und mit den Ergebnissen entlang der studierten Gradienten und den aus Baumringanalysen gewonnenen Ergebnissen zur interannuellen Variation im Zuwachs verglichen werden.

In Zusammenarbeit mit den Teilprojekten 1.1, 1.2 und 2.1 sollten die dort gewonnen Erkenntnisse zu Eichen-Kiefern-Mischbeständen untersucht und Notwendigkeiten der detaillierteren Beschreibung von Trockenresistenz bestimmenden Faktoren wie Wurzeltiefenverteilung analysiert werden.

2. Voraussetzungen

Die Projektbearbeiter am PIK (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung) arbeiten seit mehreren Jahren auf dem Gebiet der mathematischen Modellierung von biologischen Prozessen unter Berücksichtigung verschiedener Systemebenen. Die Arbeitsweise ist durch interdisziplinäre Forschungsansätze und Anwendung von Methoden der angewandten Systemanalyse charakterisiert. Eine langjährige enge Zusammenarbeit existiert mit anderen Fachdisziplinen wie Bodenkunde, Hydrologie, Meteorologie und Agrarwissenschaften, auch bedingt durch die interdisziplinäre Struktur des PIK.

In den vergangenen Jahren wurden u. a. regionale Anwendungen und Vergleichsstudien mit verschiedenen Sukzessionsmodellen realisiert (Lasch and Lindner 1995; Badeck et al. 2001) und das Simulationsmodell FORSANA für Kiefern-Reinbestände entwickelt (Grote 1998; Grote et al. 1999).

Aufbauend auf diesen Erfahrungen wurde von den Projektbearbeitern das physiologisch basierte Waldwachstumsmodell 4C entwickelt, das die Etablierung, das Wachstum und die Mortalität von Baumkohorten beschreibt (Bugmann et al. 1997; Suckow et al. 2001). Dieses Modell wurde an vielen Standorten getestet und in mehreren Studien eingesetzt (Lasch et al. 2002; Suckow et al. 2002; Lasch et al. 2005; Lasch and Suckow 2007).

Große Kompetenz besteht am PIK in der Entwicklung von Klimaszenarien, die aus den Abschätzungen der Global Circulation Models (GCM) abgeleitet und regionalisiert werden (Werner and Gerstengarbe 1997; Orlowsky et al. 2008). Dadurch werden die regionalen Klimate voneinander abgegrenzt und der Einsatz dieser Szenarien bewirkt somit eine räumliche Differenzierung der Triebkräfte.

3. Planung und Ablauf

Die Aufgabenstellung und der zeitliche Verlauf der Projektphasen wurden in gegenseitiger Abstimmung mit den am Projekt beteiligten Partnern festgelegt, da es insbesondere mit dem Teilprojekt 2.1 eine enge Verflechtung gab.

Die im Projekt vorgesehene Doktorandenstelle wurde planmäßig zum 1. November 2005 mit dem Diplom-Forstwirt Martin Gutsch besetzt, der sie bis zum Projektende inne hatte. Die Bereitstellung von Klimadaten sowie die Analysen und theoretische Arbeiten zur Modellierung verliefen ebenfalls gemäß Plan.

Verzögerungen bzw. Ausfälle gab es bei der Datenerhebung (TP 2.1), die letztendlich dazu führten, dass die neu implementierten Ansätze zur Wurzelverteilung nicht auf den Untersuchungsflächen getestet werden konnten. Dafür musste auf ältere Untersuchungen in Kiefern-Reinbeständen zurückgegriffen werden. Außerdem wurden Martin Gutsch bei einem Stipendiatsaufenthalt am European Forest Institute (EFI) in Joensuu (Finnland) Daten zur Verfügung gestellt, die ebenfalls die Modellbildung und Validierung unterstützten.

Auf Grund der Verzögerungen wurde Ende 2006 ein Antrag auf kostenneutrale Verlängerung gestellt, dem auch stattgegeben wurde.

Für die gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Forstnutzung der TU Dresden ausgeschrieben Diplom- oder Masterarbeit mit dem Thema:" Anpassung der im Waldwachstumsmodell 4C verwendeten Modelle zur Sortierung und zur Holzverarbeitung (Holzproduktmodell) an die Holznutzung aus Eichen-Kiefern-Mischbeständen." konnte kein Kandidat gefunden werden. Deshalb wurde mit Hilfe von Messdaten zu Holzqualitäten bzw. –sorten aus TP 3.1 lediglich der bereits implementierte Holzsortieralgorithmus in 4C überprüft.

Am 30.11.2006 ist der Projektleiter Dr. Franz-W. Badeck aus dem PIK ausgeschieden, die Projektleitung wurde von Frau Dr. Felicitas Suckow übernommen.

4. Wissenschaftlicher Stand

4.1 Klimahüllen und Habitatmodellierung

In statistischen Habitatmodellen werden Vorkommensdaten (Responsevariablen) und Habitateigenschaften (Prädiktorvariablen) dazu genutzt, für ein betrachtetes Gebiet Vorkommenswahrscheinlichkeiten einer Baumart zu berechnen. Von Klimahüllen spricht man, wenn für die Untersuchung nur Klimavariablen verwendet werden. Die Verschneidung der aktuellen Verbreitung einer Baumart mit den in diesem Gebiet beobachteten Klimavariablen, ermöglicht die Abschätzung unter welchen klimatischen Bedingungen diese Art konkurrenzfähig ist. Diese Abschätzung besitzt nur für die aktuell herrschenden Rahmenbedingungen (z.B. Bodeneigenschaften, aktuelle Artenzusammensetzung und Bewirtschaftungsformen der Waldbestände) Gültigkeit. Verschiedene statistische Methoden wurden in den letzten Jahren entwickelt und validiert (Araújo et al. 2005). Ein aktuelles Verfahren ist die Berechnung der Vorkommenswahrscheinlichkeit mit Hilfe der Bayesischen Statistik, zu denen auch das hier verwendete MAXENT Modell zählt (Phillips et al. 2006).

4.2 Wurzelwachstumsmodellierung

In prozessbasierten Waldwachstumsmodellen wie 4C findet eine Verteilung der Wurzelbiomasse entlang einer Wurzeltiefe statt. Die Modellierung der vertikalen Verteilung kann aufgrund einer empirisch ermittelten statischen funktionalen Beziehung erfolgen. Dabei nimmt die relative Wurzelbiomasse in der Bodentiefe exponentiell ab (Jackson et al. 1996). Neuere

Ansätze beschreiben die vertikale Verteilung mittels Modellierung von Bodenvariablen, die das Wurzelwachstum beeinflussen. Dabei wird zeitlich dynamisch in Abhängigkeit der Bodenvariablen die Wurzelbiomasse über die modellierten Bodenschichten verteilt. Dieser Ansatz ermöglicht daher eine direkte Analyse verschiedener witterungsbedingter Ereignisse wie Trockenheit oder Bodenfrost (Rasse et al. 2001; Wang and Smith 2004).

4.3 Waldwachstumsmodelle

In der Waldwachstumsmodellierung kommen hauptsächlich zwei verschiedene Ansätze zum Einsatz. Waldwachstumssimulatoren wie SILVA und BWINPRO haben das Ziel, einen Bestand möglichst genau in seinen räumlichen Dimensionen zu erfassen und dessen Entwicklung über einen relativ kurzen Zeitraum (<30 Jahre) zu simulieren. Fragestellungen der Bewirtschaftung stehen bei diesen Analysen im Vordergrund. Der zweite Ansatz betrachtet mit prozessbasierten Waldwachstumsmodellen wie 4C, BALANCE oder TREEDYN die für das Wachstum relevanten Prozesse wie Photosynthese, Transpiration, Respiration und Allokation. Diese Modellart wird insbesondere in der Analyse des Waldwachstums über längere Zeiträume und unter sich ändernden Umweltbedingungen eingesetzt (Pretzsch et al. 2008).

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Sehr enge Zusammenarbeit innerhalb des Projekts bestand zu den Einrichtungen der BTU, LFE, TU Dresden und den Forstämtern in Polen. Der Daten- und Wissensaustausch wurde im Rahmen der jeweiligen Möglichkeiten wie geplant realisiert. Insbesondere die Zusammenarbeit bei den bodenkundlichen Beschreibungen der BTU, den Jahrringanalysen der LFE und der Volumenabschätzung der Baumstämme durch die TU Dresden erwies sich als sehr erfolgreich aus der Perspektive des Teilprojekts.

Zu folgenden Projekten, die fachlich in Beziehung zum abgeschlossenen Projekt standen, gab es während der Projektphase Arbeitskontakte:

- Integrierte Analyse der Auswirkungen des globalen Wandels auf die Umwelt und die Gesellschaft im Elbegebiet (GLOWA Elbe, BMBF)
- Multi-source inventory methods for quantifying carbon stocks and stock changes in European forests (CarboInvent, EU 5. Rahmenprogramm)
- Tools for the assessment of future sustainable forestry and land restoration in water limited regions – Analyse möglicher zukünftiger Klimacharakteristiken unter verschiedenen Klimawandelszenarien (TAFF, INTERREG IIIC)

II. Eingehende Darstellung

1. Erzielte Ergebnisse

1.1 Klimahüllen

Im Rahmen des Teilprojekts wurde die Diplomarbeit von Alexander Henschel (Studiengang Geographie, HU Berlin) mit dem Thema: "Habitatmodellierung der drei Baumarten Waldkiefer, Traubeneiche und Stieleiche" 2008 abgeschlossen. In dieser Arbeit wurden die klimatischen Faktoren des Verbreitungsraumes der Traubeneiche und der Waldkiefer analysiert. Damit kann die Anpassungsfähigkeit der Traubeneiche an sich ändernde Umweltbedingungen

in Folge des Klimawandels in Brandenburg besser beurteilt werden. Dazu wurde mit Hilfe des Klimahüllenmodells MAXENT (Phillips et al. 2006)Simulationen für die drei Baumarten unter verschiedenen Klimaszenarien durchgeführt. Abb. 1 und 2 zeigen beispielhaft Ergebnisse für Kiefer und Traubeneiche unter einem ausgewählten Klimaszenario.

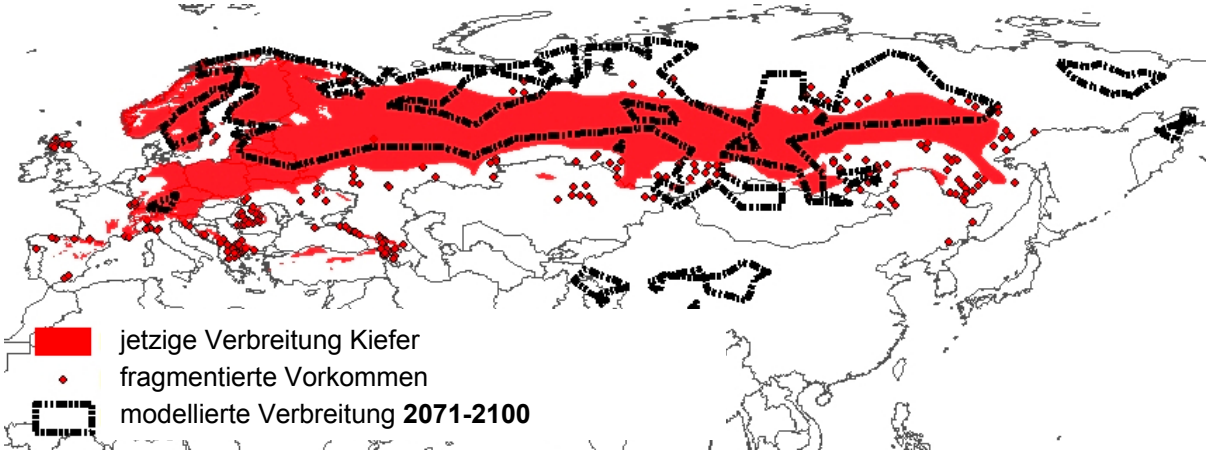

Abb. 1: Klimahüllenmodell MAXENT (Phillips et al. 2006) auf Basis des Klimaszenarios MPI ECHAM 5 SRES A2 für die Waldkiefer

Wie auch in anderen Studien festgestellt wurde, besteht das Risiko einer Verschiebung des Verbreitungsgebietes der Kiefer nach Norden und der Verdrängung der Kiefer aus Brandenburg (Rebetez and Dobbertin 2004; Wallentowski et al. 2007; Garzon et al. 2008). Einschränkend gilt, dass in der hier verwendeten Methode der Habitatmodellierung keine physiologischen Parameter der Baumarten berücksichtigt werden, die eine Anpassung an sich ändernde Klimabedingungen erlauben. Es wird unterstellt, dass das Verbreitungsgebiet der Kiefer mit den gleichen klimatischen Parametern charakterisiert wird, wie sie aktuell beobachtet werden. Andere Autoren (z.B. (Bolte et al. 2008)) weisen zusätzlich daraufhin, dass das aktuelle Verbreitungsgebiet Ergebnis der Konkurrenz zwischen den Baumarten ist und keine Rückschlüsse auf die potentielle Verbreitung zulässt. Demzufolge kann aus den Ergebnissen nur geschlussfolgert werden, dass sich die nach dem verwendeten Klimaszenario zu erwartenden klimatischen Bedingungen in Brandenburg nicht mit denen im aktuellen Verbreitungsgebiet der Kiefer decken (Abb. 1). Im Gegensatz dazu entsprechen die zu erwartenden klimatischen Bedingungen denen im aktuellen Verbreitungsgebiet der Traubeneiche (Abb. 2).

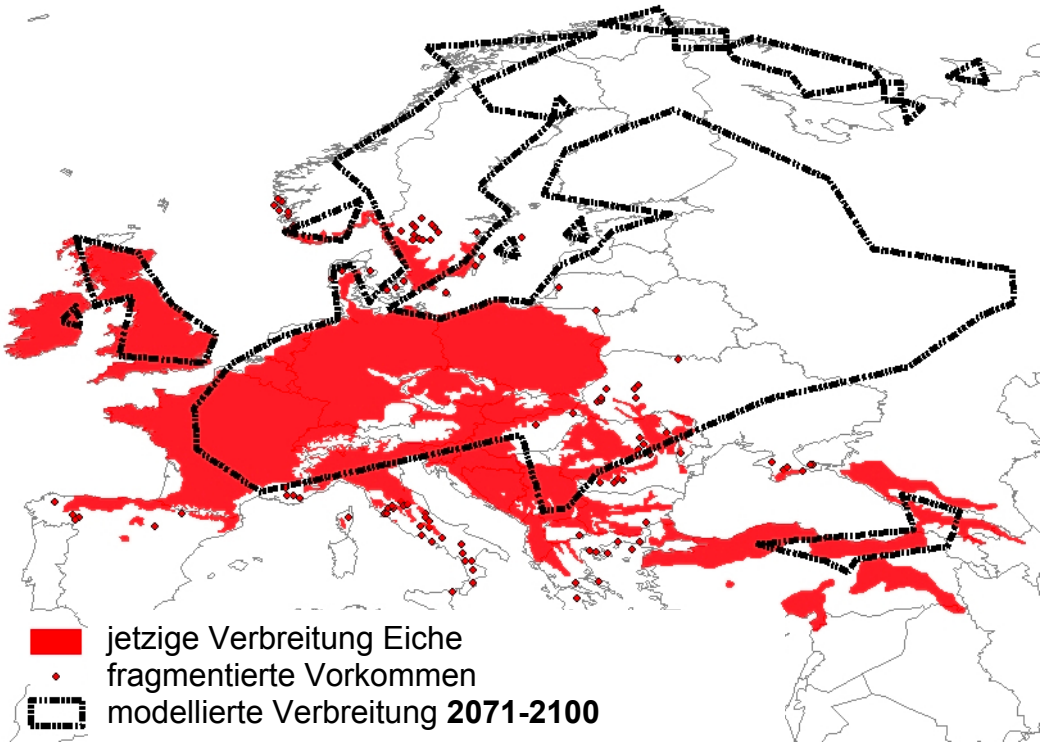

Abb. 2: Klimahüllenmodell MAXENT (Phillips et al., 2006) auf Basis des Klimaszenarios MPI ECHAM 5 SRES A2 für die Traubeneiche

1.2 Schätzfunktion für die Nettoprimärproduktion

Aufbauend auf dieser Arbeit wurden verschiedene Indizes zur Beschreibung klimatischer Verhältnisse untersucht, um mögliche Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Mischbestände in Brandenburg zu analysieren. Im Ergebnis wurden lineare Regressionsbeziehungen zwischen der Nettoprimärproduktion und den Faktoren Globalstrahlung sowie Klimaindex nach WECK (Weck 1954) abgeleitet, der eine Beziehung zwischen dem Klima und der mittleren Produktivität in Wuchsgebieten herstellt. Diese einfache Beziehung erlaubt es, die Produktivität von Baumarten in den verschiedenen Wuchsgebieten unter Klimaänderungen abzuschätzen. Mit Hilfe dieser ermittelten einfachen Schätzfunktion können viele Klimaszenarien effektiv bezüglich ihrer Auswirkung auf die Produktivität untersucht werden. Diese Schätzfunktion wurde unter Einbeziehung der vier Hauptbaumarten (Gemeine Fichte, Waldkiefer, Rotbuche, Traubeneiche) und der gesamten DWD-Klimastationen in Deutschland verfeinert (Gutsch et al. 2009).

1.3 Wurzelverteilung

Zum besseren Verständnis der Auswirkungen von Wurzelverteilungen bei Anpassung an Trockenperioden wurde ein dynamisches Wurzelverteilungsmodell (Rasse et al. 2001) in das Waldwachstumsmodell 4C implementiert. Es erlaubt eine Verteilung der Wurzelbiomasse über verschiedene Bodentiefen in Abhängigkeit von vier berechneten Stressfaktoren (Boden-

temperatur, Bodenhärte, Belüftung und Azidität). Simulationsstudien zeigten, dass bei häufigerer Austrocknung des Oberbodens relativ mehr Wurzelbiomasse in die unteren Bodenschichten verteilt wird. Das hat Auswirkung auf die Fähigkeit der Bäume, das Wasser tiefer liegender Bodenschichten zu erschließen.

1.4 Analyse von Mischbeständen unter Klimawandel

Auf der Grundlage der oben beschriebenen Arbeiten konnte die Analyse der Entwicklung von Eichen-Kiefern-Mischbeständen unter dem zu erwartenden Klimawandel durchgeführt werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind im Gesamt-Abschlussbericht zu finden, insbesondere im Kap. 8 (Elmer et al. 2009).

An dieser Stelle folgt eine kurze Zusammenfassung der durchgeführten Arbeit und der wesentlichen Ergebnisse:

Zur Untersuchung der Fragestellung wurde das prozessbasierte Waldwachstumsmodell 4C eingesetzt (s. I.2. Voraussetzungen). Um den Einfluss der Klimaänderung zu simulieren, wurden drei verschiedene Klimaszenarien des statistischen Regionalmodells STAR 2.0 (Endlicher and Gerstengarbe 2007) verwendet, die sich hinsichtlich der Niederschlagsmenge unterscheiden. Der Temperaturanstieg ist in allen drei Szenarien gleich und liegt bei 2K im Jahr 2060 gegenüber dem Mittelwert von 1961-90. Für eine praxisnahe Bestandessimulation wurden des Weiteren zwei verschiedene Bewirtschaftungsstrategien für zwei verschiedene Standorte (A2, K3) entwickelt.

Deutliche Auswirkungen, sowohl positive als auch negative, hatten die Klima- und Bewirtschaftungsszenarios auf Bestandeseigenschaften wie Biomasse, geerntetes Holz und Versickerung. Auch die Kohlenstoff-Akkumulation im Boden wird in dem betrachteten Zeitraum von 30 Jahren durch die ausgewählten Szenarios beeinflusst, der Effekt ist aber nicht so stark ausgeprägt. Auf der klimatisch trockensten Fläche (K3) überprägten die Effekte der Klimaszenarien teilweise die der Bewirtschaftungsszenarien. Insbesondere führte hier eine geringe Durchforstungsstärke zu einer deutlich höheren Mortalität. Die Analysen zeigten, dass die Auswirkungen von Klimaänderungen und Bewirtschaftungsstrategien wesentlich von den Standortbedingungen und der Bestandesstruktur abhängen.

Die Analysen mit 4C erweiterten die Aussagen zur zukünftigen Entwicklung von Mischbeständen um wasser- und kohlenstoffbezogene Aspekte. Die Kombination von Klimaänderungs- und Bewirtschaftungsszenarios ermöglichte eine genauere Bewertung des Wachstumsverhaltens der untersuchten Bestände und der Bandbreite möglicher Entwicklungen.

2. Zahlenmäßiger Nachweis

Siehe Verwendungsnachweis.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Arbeiten zu den Klimahüllen ermöglichen einen ersten schnellen Überblick über mögliche Verschiebungen von Verbreitungsgebieten der Baumarten unter Klimawandel und daraus resultierenden gefährdeten Gebieten.

Die Ableitung von Schätzfunktionen der Nettoprimärproduktion auf der Basis einzelner Klima- und Bodenkomponenten schafft die Voraussetzung, mehrere Realisierungen eines oder mehrerer Klimaszenarios für größere Regionen effektiv und schnell zu untersuchen. Dadurch wird es möglich, die Bandbreite der Änderungen besser anzuschätzen und Entwicklungstendenzen zu ermitteln.

Die Implementierung eines neuen Moduls zur Wurzelverteilung stellt eine Weiterentwicklung des Waldwachstumsmodells 4C dar, die vor allem eine bessere Beschreibung des Wasserhaushalts ermöglicht. Damit wird eine genauere Abbildung der Bestandesentwicklung erreicht.

4. Voraussichtlicher Nutzen / Verwertbarkeit

Die erzielten Ergebnisse werden für weitergehende Fragestellungen in anderen Projekten genutzt. So fließen die Untersuchungen zur Produktivität der Eichen-Kiefern-Mischbestände in die Erarbeitung eines Klimafolgenkatasters im Rahmen des vom BMBF geförderten Projekts INKA-BB. Dabei geht es um die Erarbeitung von klimatischen Schwellenwerten, deren Überschreitung zu einem Rückgang der Produktivität führen könnte.

Die Modellerweiterungen im Waldwachstumsmodell 4C und die Ergebnisse der Simulationen an den Oakchain-Standorten werden auch in der Modellstudie des EU-Projekts MOTIVE (models for adaptive forest management) verwendet.

Verwertbare Ergebnisse wurden vom Teilprojekt in Zusammenarbeit mit den anderen Teilprojekten für die Praxis erarbeitet und sind im Synthesekapitel 9 des Abschlussberichts aufgeführt (Elmer et al. 2009). Die Ergebnisse zeigten, dass Eichen-Kiefern-Mischbestände insgesamt besser gerüstet sind für den Klimawandel als reine Kiefernbestände. Damit ist der Waldumbau auch unter den Bedingungen des Klimawandels eine gute waldbauliche Option für den Aufbau stabiler und nachhaltiger Waldsstrukturen.

Mit den Modellerweiterungen zur Wurzelverteilung können in Zukunft Konkurrenzverhältnisse zwischen verschiedenen Baumarten mit dem Waldwachstumsmodell 4C genauer abgebildet werden.

5. Bekanntgewordener Fortschritt

Eine im Rahmen eines von der VW Stiftung geförderten Projektes erarbeitete Studie stellt ein einfaches Forstmodul für die regionale ökohydrologische Modellierung vor (Wattenbach et al. 2005). In dieser Studie wurden hydrologische Funktionen von Kiefern- und Eichenbeständen untersucht und ein neues Forstmodul integriert, wodurch eine bessere Abbildung des Gebietswasserhaushalts erreicht wurde.

Am European Forest Institute (EFI) in Joensuu (Finnland) wurden Untersuchungen zur Auswirkung der Wurzelverteilung und Wurzeltiefe auf Basis einer Simulationsstudie durchgeführt. Ergebnisse einer Untersuchung zur Feinwurzelbiomasse in reinen Kiefern und Fichtenbeständen in Nord- und Südfinnland in Abhängigkeit von Standorts- und Bestandescharakteristiken (Helmisaari et al. 2007) des finnischen Forstinstitutes METLA flossen in diese Studie ein. Die Ergebnisse dieser Studie sind in die eigenen Arbeiten zur Implementierung und Validierung eines Wurzelmodells und eines neuen Wasseraufnahmemodells durch Wurzeln im Rahmen des Waldwachstumsmodells 4C eingeflossen. Fehlende Wurzeluntersuchungen in TP 2.1 (s. Zwischenbericht 2007) konnten dadurch zu einem Teil kompensiert werden.

6. Veröffentlichungen

Eine erste Veröffentlichung zu den Projektzielen des OakChain Projekts mit besonderem Schwerpunkt auf der Darstellung von TP2.2 resultierte aus der Teilnahme von Martin Gutsch

an einem deutsch-polnischen Seminar „Natural Systems and Global Change“ (18./19.5.2006 in Turev bei Poznan) (Gutsch 2006).

Ergebnisse zur Sensitivität des Modells 4C bezüglich der maximalen Wurzeltiefe bei der Simulation des Eichenwachstums auf verschiedenen Standorten wurden im Rahmen des Fachkongresses "Fourth International Symposium on dynamics of physiological processess in roots of woody plants" vom 16.-20. September 2007 an der Universität von Wales in Bangor in Form eines Posters vorgestellt.

Martin Gutsch, Jan Haase, Felicitas Suckow, Petra Lasch, Franz-W.-Badeck, Bernd U. Schneider, Reinhardt Hüttl: *Using Minirhizotron Technique for Modelling Fine Root Growth in Deep Drought Exposed Oak and Pine Forest Ecosystems.*

Auf der „Forstwissenschaftlichen Tagung 2008“ in Freiburg wurde ein Vortrag gehalten, der sich mit der Abschätzung der Nettoprimärproduktion von verschiedenen Baumarten unter Klimaänderungen befasste.

Martin Gutsch, Petra Lasch und Felicitas Suckow: *Klimaindizes zur Bewertung der Waldproduktivität unter Klimaänderungen - Modellstudie Brandenburg*.

Ein weiterer Beitrag auf dieser Tagung war ein Poster, auf dem Ergebnisse von Simulationen der Produktivität und Zusammensetzung der Mischbestände gezeigt wurden, die mit dem dynamischen Waldwachstumsmodells 4C durchgeführt wurden. Hierfür wurde für drei Standorte des Klimagradienten zunächst ein Vergleich des simulierten Zuwachses der letzten 40 Jahre mit Jahrringanalysen durchgeführt; anschließend wurde das Wachstum unter Klimaänderungsszenarien analysiert.

Felicitas Suckow, Petra Lasch und Martin Gutsch: *Das Wachstum von Eichen-Kiefern-Mischbeständen entlang eines Klimagradienten in Brandenburg*.

Die Abbildungen der Poster sind im Anhang zu finden.

Um die Projekt-Arbeiten einem breiten Publikum bekannt zu machen, wurden die Ergebnisse in aggregierter Form in der von Förstern viel gelesenen Zeitschrift „Forst und Holz“ veröffentlicht (Elmer et al. 2009).

Im Rahmen des Workshops "Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften" wurden ein Vortrag und eine anschließende Veröffentlichung erarbeitet, die sich mit der Verwendung von Klimaindizes bei der Bewertung der Klimaszenarien hinsichtlich der Produktivität von Waldbäumen befassten. (Gutsch et al. 2009)

Auf der Konferenz der European Geoscience Union (EGU) im Mai 2010 in Wien wurde ein Vortrag gehalten, der die Auswirkungen unterschiedlicher Wurzelverteilungen auf das Wachstum und die Konkurrenzverhältnisse von Mischbeständen zum Thema hatte. Dabei wurden Douglasien-Buchen-Mischbestände und Eichen-Kiefern-Mischbestände analysiert.

Christopher Reyer, Martin Gutsch, Petra Lasch, Felicitas Suckow, Frank Sterck, Frits Mohren: *Species-specific fine root biomass distribution alters competition in mixed forests under climate change*.

Der ausführliche Abschlussbericht ist als Buch erschienen (Elmer et al. 2009).

III. Literatur

Araújo, M. B., R. G. Pearson, W. Thuiller and M. Erhard (2005). Validation of species-climate impact models under climate change. Global Change Biology **11**(9): 1504-1513.

Badeck, F. W., H. Lischke, H. Bugmann, T. Hickler, K. Honninger, P. Lasch, M. J. Lexer, F. Mouillot, J. Schaber and B. Smith (2001). Tree species composition in European pristine forests: Comparison of stand data to model predictions. Climatic Change **51**(3-4): 307-347.

Bolte, A., P. Ibisch, A. Menzel and A. Rothe (2008). Was Klimahüllen uns verschweigen. AFZ-Der Wald **15**: 800-803.

Bugmann, H., R. Grote, P. Lasch, M. Lindner and F. Suckow (1997). A new forest gap model to study the effects of environmental change on forest structure and functioning. Impacts of Global Change of Tree Physiology and Forest Ecosystem. Proceedings of the International Conference on Impacts of Global Change on Tree Physiology and Forest Ecosystems, held 26-29 November 1996, Wageningen. G. M. J. Mohren, K. Kramer and S. Sabate. Dordrecht, Kluwer Academic Publisher**:** 255-261.

Elmer, M., M. Gutsch, U. Bachmann, O. Bens, F. Suckow and F. Hüttl (2009). Der Einfluss des Umbaus von Kiefern-Reinbeständen in Traubeneichen-Kiefern-Mischwälder auf Standortqualität und Bestandesklima. Forst und Holz **64**(3): 12-17.

Elmer, M., R. Kätzel, O. Bens, C.-T. Bues, H. Sonntag and R. F. Hüttl, Eds. (2009). Nachhaltige Bewirtschaftung von Eichen-Mischbeständen. München, Oekom Verlag.

Endlicher, W. and F.-W. Gerstengarbe, Eds. (2007). Der Klimawandel - Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. Potsdam, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung und Deutsche Gesellschaft für Geographie.

Garzon, M. B., R. Sanchez de Dios and H. Sainz Ollero (2008). The evolution of the Pinus sylvestris L. area in the Iberian Peninsula from the last glacial maximum to 2100 under climate change. The Holocene **18**: 705-714.

Grote, R. (1998). Integrating dynamic morphological properties into forest growth modeling. II. Allocation and mortality. For. Ecol. Manage. **111**: 193-210.

Grote, R., F. Suckow and K. Bellmann (1999). Modelling of carbon-, nitrogen-, and water balances in pine stands under changing air pollution and deposition. Changes of Atmospheric Chemistry and Effects on Forest Ecosystems. A Roof Experiment Without Roof. R. F. Hüttl and K. Bellmann. Dordrecht, Kluwer. **3:** 251-281.

Gutsch, M. (2006). OakChain - forest conversion from subcontinental pine forests to mixed oak-pine forests: The projekt at a glance and the current state of progress. Natural Systems and Global Change. Z. W. Kundzewicz, Hattermann, F. F. Poznan, Potsdam, Center for Agricultural and Forest Environment of the Polish Academy of Sciences, Potsdam Institute for Climate Impact Research**:** 173.

Gutsch, M., F. Suckow and P. Lasch (2009). Klimaindizes zur Bewertung der Waldproduktivität unter Klimaänderungen: eine Modellstudie für Deutschland. Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften. J. Wittmann and M. Flechsig. Aachen, Shaker.

Helmisaari, H. S., J. Derome, P. Nojd and M. Kukkola (2007). Fine root biomass in relation to site and stand characteristics in Norway spruce and Scots pine stands. Tree Physiology **27**(10): 1493-1504.

Jackson, R. B., J. Canadell, J. R. Ehleringer, H. A. Mooney, O. E. Sala and E. D. Schulze (1996). A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. Oecologia **108**(3): 389-411.

Lasch, P., F.-W. Badeck, M. Lindner and F. Suckow (2002). Sensitivity of simulated forest growth to changes in climate and atmospheric CO_2. Forstwiss. Centralblatt **121, Supplement 1**: 155-171.

Lasch, P., F. W. Badeck, F. Suckow, M. Lindner and P. Mohr (2005). Model-based analysis of management alternatives at stand and regional level in Brandenburg (Germany). Forest Ecology And Management **207**(1-2): 59-74.

Lasch, P. and M. Lindner (1995). Application of two forest succession models at sites in north east Germany. Journal of Biogeography **22**: 485-492.

Lasch, P. and F. Suckow (2007). Reaktion von Kiefernbeständen unter Klimaänderungen - eine Analyse mit dem Waldwachstumsmodell 4C. Die Kiefer im nordostdeutschen Tiefland - Ökologie und Bewirtschaftung. 230-237. Eberswalde, MLUV des Landes Brandenburg. **Band XXXII**.

Orlowsky, B., F. W. Gerstengarbe and P. C. Werner (2008). A resampling scheme for regional climate simulations and its performance compared to a dynamical RCM. Theoretical And Applied Climatology **92**(3-4): 209-223.

Phillips, S. J., R. P. Anderson and R. E. Schapire (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling **190**(3-4): 231-259.

Pretzsch, H., R. Grote, B. Reineking, T. Rotzer and S. Seifert (2008). Models for forest ecosystem management: A European perspective. Annals Of Botany **101**(8): 1065-1087.

Rasse, D. P., B. Longdoz and R. Ceulemans (2001). TRAP: a modelling approach to belowground carbon allocation in temperate forests. Plant And Soil **229**(2): 281-293.

Rebetez, M. and M. Dobbertin (2004). Climate change may already threaten Scots pine stands in the Swiss Alps. Theoretical and Applied Climatology **79**(1): 1.

Suckow, F., F.-W. Badeck, P. Lasch and J. Schaber (2001). Nutzung von Level-II-Beobachtungen für Test und Anwendungen des Sukzessionsmodells FORESEE. Beitr. Forstwirtsch. u. Landsch.ökol. **35**(2): 84-87.

Suckow, F., P. Lasch and F.-W. Badeck (2002). Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die Grundwasserneubildung. Funktionen des Waldes und Aufgaben der Forstwirtschaft in Verbindung mit dem Landschaftswasserhaushalt. U. u. R. Ministerium für Landwirtschaft. Eberswalde, LFE. **XV:** 114.

Wallentowski, H., C. Kölling and J. Ewald (2007). Waldkiefer-bereit für den Klimawandel? Beiträge zur Waldkiefer. B. L. f. W. u. Forstwirtschaft. **LWF-Wissen 57**.

Wang, E. and C. J. Smith (2004). Modelling the growth and water uptake function of plant root systems: a review. Australian Journal of Agricultural Research **55**(5): 501.

Wattenbach, M., F. Hattermann, R. Weng, F. Wechsung, V. Krysanova and F. Badeck (2005). A simplified approach to implement forest eco-hydrological properties in regional hydrological modelling. Ecological Modelling **187**(1): 40-59.

Weck, J. (1954). Untersuchungen über das Etragspotenzial der deutschen Waldlandschaften. AFJZ **125**: 153-159.

Werner, P. C. and F.-W. Gerstengarbe (1997). A proposal for the development of climate scenarios. Climate Research **8**(3): 171-182.