

Kapitel 37

Jan C. Thiele^a / Robert S. Nuske^a / Bernd Ahrends^b / Joachim Saborowski^a

Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungssystems für die Waldbewirtschaftung unter sich ändernden Klimabedingungen

1 Einleitung

Durch die globalen Umweltveränderungen werden unsere Waldökosysteme in den nächsten Jahrzehnten Umweltfaktoren ausgesetzt sein, die sich in ihrer Kombination und Dynamik grundsätzlich von denen der Vergangenheit unterscheiden. Für Wälder in Deutschland sind vor allem der Temperaturanstieg, die veränderten Niederschlagsverteilungen sowie Witterungsextreme mit Starkregen, Stürmen und Trockenperioden (IPCC, 2007) von Bedeutung. Diese Faktoren werden in Kombination mit dem Anstieg der Kohlendioxid- und Ozongehalte der Luft, der anhaltenden Bodenversauerung sowie der Nährstoffverarmung und Stickstoffsättigung der Böden auf den Wald wirken.

Wie sich die Kombination warmer und trockener Perioden auf die Wälder Mitteleuropas auswirkt, konnte bereits im Sommer 2003 beispielhaft für verschiedene Standorte ermittelt werden. Damals wurden eine erhebliche Einschränkung der Assimilationsleistung bei reduzierten Wassergehalten (Granier et al., 2007) und damit einhergehend Zuwachsverluste beobachtet. Dobbertin et al. (2007) zeigten zudem, dass auch in den Jahren nach Trockenperioden noch eine erhöhte Anfälligkeit des Baumbestandes gegenüber Schaderregern besteht. Weitere Wechselwirkungen aus sich wandelnden klimatischen Randbedingungen ergeben sich aufgrund feuchterer Winter für das Sturmwurfisiko und durch eine veränderte stoffliche Ernährungssituation der Wälder.

Folglich lässt sich das Erfahrungswissen der Förster nicht mehr unmittelbar in die Zukunft übertragen. Vor dem Hintergrund von Produktionszeiträumen von über 100 Jahren sind die langfristige Planung und die sorgfältige Baumartenwahl für die Bewirtschaftung des Waldes jedoch unerlässlich.

Um in der strategischen Planung die Umweltfaktoren in ihren neuen Kombinationen und Wirkungen auf der Ebene der Waldökosysteme zu berücksichtigen, müssen modellgestützte Verfahren eingesetzt werden.

2 Zielgruppe und Anforderungen

Das Entscheidungsunterstützungssystem „DSS-WuK – Decision Support System Wald und Klimawandel“ richtet sich an die Entscheidungsträger auf der forstbetrieblichen Ebene mit entsprechendem forstlichen Sachverstand. Dabei soll das System die Zielgruppe vor

^a Abteilung Ökoinformatik, Biometrie und Waldwachstum, Georg-August-Universität Göttingen; ^b Abteilung Ökopedologie der gemäßigten Zonen, Georg-August-Universität Göttingen.

allem bei der Bewertung unterstützen, wie gut sich verschiedene Baumarten für die Erreichung der betrieblichen Ziele eignen. In sogenannten Nutzerforen wurde mit potenziellen Nutzern (Praxispartnern) herausgearbeitet, welche Themen das DSS-WuK behandeln soll.

Die Teilnehmer bewegte einerseits die Frage, welche Dimension der Klimawandel in ihren Regionen sowie für bestimmte Bestandestypen aufweisen wird und wie dies die Anbauwürdigkeit der einzelnen Baumarten verändert. Andererseits bestand der Wunsch, die eigene Situation im Vergleich zu anderen Regionen beurteilen zu können, um zu erkennen, ob man sich in einer Region hoher Gefährdung befindet. Des Weiteren war den potenziellen Nutzern wichtig, dass das Entscheidungsunterstützungssystem leicht zu bedienen ist und die verwendeten Methoden und Modelle in dem System dokumentiert sind.

3 Entscheidungsunterstützungssystem Wald und Klimawandel

Bei einem Entscheidungsunterstützungssystem handelt es sich um ein Werkzeug, das bei der Erarbeitung und Bewertung von Handlungsalternativen auf der Grundlage von Umweltdaten Hilfestellungen bietet. Anwendungsgebiete solcher Decision-Support-Systeme (DSS) sind Entscheidungen auf der Ebene des Managements, die zumeist schlecht strukturiert sind. Auch in Forstbetrieben haben Decision-Support-Systeme in den letzten Jahren vermehrt Einzug gehalten (zum Beispiel Vacik/Lexer, 2001).

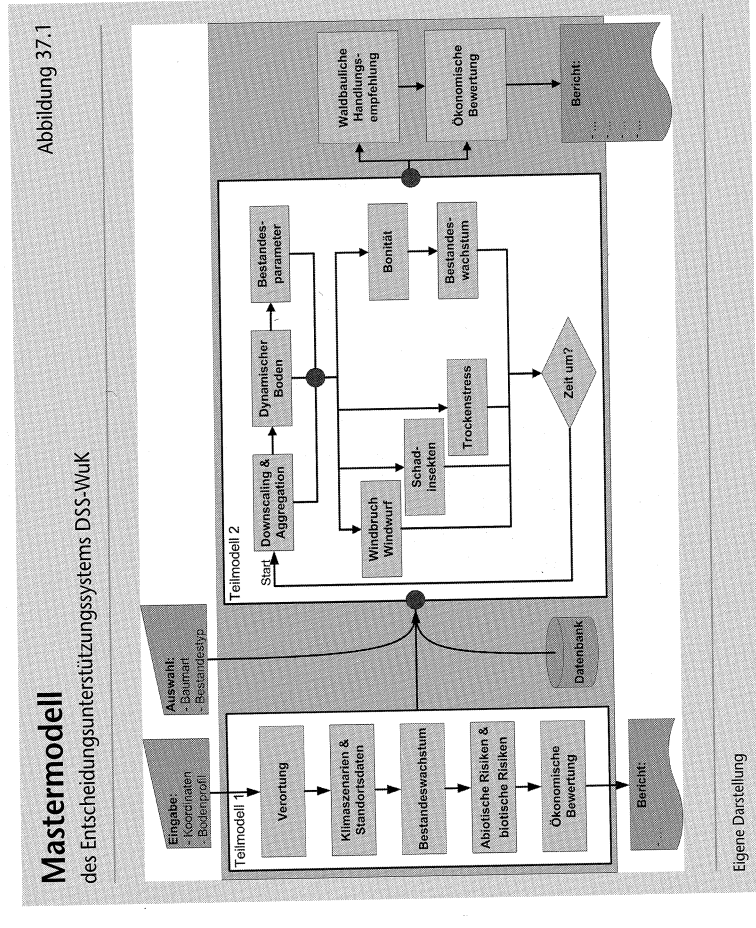
Aus den oben genannten Anforderungen der Zielgruppe leiten sich unmittelbar die Anforderungen an das zu entwickelnde DSS ab. Das System soll den forstlichen Entscheidungsträgern helfen, die Folgen des Klimawandels hinsichtlich der Anbauwürdigkeit verschiedener Baumarten zu beurteilen.

Um die vielfältigen Anforderungen zu erfüllen, besteht das DSS-WuK aus mehreren Bereichen. Im ersten Bereich findet der Nutzer vorprozessierte bundesweite thematische Karten zum Beispiel zur Niederschlags- und Temperaturveränderung der verwendeten Klimaszenarien. Im zweiten Bereich (siehe Teilmodell 1 in Abbildung 37.1) kann der Nutzer regional differenzierte Ergebnisse (bestehend aus biotischen und abiotischen Risiken, der Wuchstleistung und der ökonomischen Bewertung) in einer Auflösung von 20 mal 20 Kilometern für einen idealisierten Bestand abrufen. Im Bericht werden die Hauptbaumarten Eiche (*Quercus spec.*), Buche (*Fagus sylvatica*), Fichte (*Picea abies*), Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*) und Kiefer (*Pinus sylvestris*) vergleichend dargestellt. Die Ausgabe erfolgt für vier Perioden in den Jahren von 1980 bis 2100. Im dritten Bereich (siehe Teilmodell 2 in Abbildung 37.1) besteht für den Nutzer die Möglichkeit, für jeweils eine Baumart eine solche Beurteilung in einer höheren räumlichen Auflösung anzufordern. Ergänzt werden diese drei Bereiche durch ein Hintergrundinformationssystem, das dem Nutzer sowohl allgemeine Informationen zum Klimawandel und zu den Szenarien als auch detaillierte Beschreibungen der eingesetzten Modelle zur Verfügung stellt.

3.1 Modellkonzept

Kern des DSS-WuK ist das Mastermodell, welches die verschiedenen Submodelle zu einem Gesamtsystem verbindet. Auf der linken Seite der Abbildung 37.1 ist der Ablauf des

Teilmodells 1 zu sehen. Dieses beruht weitgehend auf vorprozessierten Daten in der räumlichen Auflösung des regionalen Klimamodells CLM (Climate Local Model). Mit diesem System lässt sich die Anbauwürdigkeit der fünf Hauptbaumarten in der räumlichen Auflösung der CLM-Daten in kurzer Rechenzeit vergleichend darstellen. Auf der rechten Seite der Abbildung 37.1 befindet sich das Teilmodell 2, welches dynamisch-gekoppelt arbeitet.



Im Teilmodell 1 werden die Submodelle sukzessiv abgearbeitet, nachdem der Nutzer seine Anfrage unter Eingabe seiner Koordinaten (Längen- und Breitengrad) und der Auswahl eines Bodenprofils gestartet hat. Mithilfe der Koordinaten werden zunächst Klimadaten sowie Standortdaten der entsprechenden Rasterzelle aus der Datenbank geladen. Mit diesen Daten bestimmt das Bonitätsmodell die Wuchstleistung der Baumarten auf dem Standort. Nachdem die vorprozessierten abiotischen (Windbruch/Windwurf, Trockenstress) und biotischen Risikowerte aus der Datenbank gelesen wurden, erfolgt die Berechnung eines mittleren Deckungsbeitrags mithilfe eines Betriebsklassenmodells.

Startet der Nutzer hingegen das Teilmodell 2, welches Ergebnisse für jeweils nur eine Baumart liefert, sind zusätzliche Benutzereingaben zum Bestandesalter notwendig, da hier mit einem dynamischen (allerdings von Risiken unbeeinflussten) Bestand gerechnet wird. Zudem findet hier ein Downscaling der Klimadaten auf eine höhere Auflösung statt. Die Submodelle werden nun iterativ in einer Schleife abgearbeitet. Das koordinierende Zeitintervall der Schleife beträgt zehn Jahre. In diesem Rhythmus wächst der betrachtete Bestand. Die Submodelle rechnen den nächsten Zeitschritt mit aktualisierten Eingangs-

daten. Klima-, Bestandes- und Bodenparameter bilden die Eingangsgrößen für die Risikomodelle und das Bonitätsmodell, welches wiederum das Bestandeswachstum beeinflusst und so eine klimasensitive Fortschreibung des Bestandes ermöglicht.

Im Anschluss an die Schleife werden waldbauliche Handlungsempfehlungen in Form von 3D-Ökogrammen ausgegeben, welche die Optimal- und die Grenzbereiche der Baumarten visualisieren. Zudem integriert eine ökonomische Bewertung des Gesamtrisikos die Einzelrisiken in einer ökonomischen Kennzahl. Aufgrund der aufwendigen Simulationen ist hier eine schnelle Ausgabe nicht möglich.

3.2 Submodelle

Im Folgenden werden die in Abbildung 37.1 dargestellten und oben eingeführten Submodelle näher beschrieben.

Downscaling der Klimavariablen

Für Europa wurden die globalen Klimaprojektionen mit dem Regionalmodell CLM auf eine höhere räumliche Auflösung skaliert. Die CLM-Daten haben eine horizontale Auflösung von 0,165 Grad beziehungsweise 0,2 Grad und stellen die Grundlage des DSS-WuK dar. Um die verschiedenen Risiken auf Ebene eines Waldbestandes modellieren zu können, werden die meteorologischen Variablen (Windgeschwindigkeit, Temperatur, Niederschlag und andere) unter Berücksichtigung der kleinskaligen Variationen der Topografie und Vegetation mithilfe des SVAT-Regio-Modells (Olshev et al., 2009) herunterskaliert. Im klimazwei-Projekt DSS-WuK werden die Läufe 1 und 2 der Emissions-szenarien A1B und B1 verwendet.

Dynamisches Standortmodell

Grundlage für die regionale, flächendifferenzierte Abschätzung des Trockenstresses von Wäldern ist die Modellierung des Bestandeswasserhaushalts. Hydraulische Bodeneigenschaften werden über Leitprofile aus vorliegenden Kartenwerken, beispielsweise der Bodenübersichtskarte (BÜK) 1:1.000.000 für Waldstandorte oder Standortskarten, zugeordnet. Über Schwellenwerte der Xylemleitfähigkeit, die quantitative Angaben zur Einschränkung der Wasserversorgung der Baumkrone durch Embolien liefern, und deren Zusammenhang mit dem Matrixpotenzial wurden kritische Bodenwasserpotenziale im Bereich der unteren Hauptwurzelzone für einzelne Hauptbaumarten definiert. Diese kritischen Bodenwasserpotenziale werden herangezogen, um Schadwirkungen einer Trockenperiode auf die verschiedenen Baumarten abzuschätzen. Als Grundlage für die dynamische Modellierung der Stickstoffeinträge dienen die Depositionskarten des Umweltbundesamts.

Windschadensrisiko

Zur Abschätzung von Windschäden werden drei Submodelle in einem Wind-Boden-Baum-Modell gekoppelt. Zur Beschreibung des Winds wird ein 3D-Modell der atmosphärischen Grenzschicht verwendet. Es beschreibt die Dynamik der atmosphärischen Grenzschicht unter Berücksichtigung der Geländehöhe und der Vegetationsbedeckung in

hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung. Das Windmodul liefert den Winddruck auf Bäume in Waldbeständen in Abhängigkeit von der Geländeposition. Zur Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Sturmschäden unter bekanntem Windstress sind zusätzlich Informationen zu den Bestandes- und Baumeigenschaften sowie zum Boden notwendig. Die Kombination dieser Angaben mit Restriktionen zur Durchwurzelung aufgrund von begrenzter Gründigkeit oder Grund- und Staumasse sowie mit zusätzlichen bestandesstrukturellen Informationen erlaubt eine qualifizierte Schätzung der Bestandesstabilität.

Waldschutzrisiken durch biotische Schaderreger

Es werden nur diejenigen Schaderreger im Modell abgebildet, die für die jeweilige Baumart ein hohes Schadenpotenzial besitzen. Von besonderer Bedeutung sind Schädlinge der Fichte und der Kiefer, da bei diesen Baumarten der wirtschaftliche Erfolg stark durch die Schädlinge beeinflusst werden kann. Der Buchdrucker (*Ips typographus*) ist eine große Risikokomponente in einem Fichtenbetrieb, da dieser Schädling von der Klimaerwärmung erheblich profitieren wird. Das Modell PHENIPS (Baier et al., 2007) beschreibt die Entwicklung des Buchdruckers anhand der täglichen Luft- und Stammtemperatur sowie der Strahlung. PHENIPS wurde um ein Fichtenschadmodell erweitert, welches in Abhängigkeit von Bestandesparametern und Trockenheit den Anteil ausfallender Holzmasse an der Gesamtmasse des Bestandes berechnet. Für die Kiefer sind mehrere Insektenarten relevant: Kiefernspinner (*Dendrolimus pini*), Kiefernspanner (*Bupalus piniarius*), Forleule (*Panolis flammea*) und Nonne (*Lymantria monacha*). Die Vermehrung dieser Arten wird durch steigende Durchschnittstemperaturen und sinkende Sommermiederschläge verstärkt. Alle diese Arten neigen zu Massenvermehrungen und haben in der Vergangenheit zum Absterben ganzer Bestände geführt.

Waldwachstum (Standort-Leistungs-Bezug)

Herkömmliche Bonitierungssysteme unterstellen eine Konstanz der Standortfaktoren, die aber bereits seit mehreren Jahrzehnten nicht mehr gegeben ist. Als Konsequenz musste daher für die Modellierung des Standort-Leistungs-Bezugs ein Bonitierungssystem angewendet werden, das die Dynamik der Standortfaktoren hinreichend abbildet. Auf Grundlage ertragskundlicher Daten von Betriebsinventuren, der Bundeswaldinventur, zahlreicher klimatischer Faktoren (zum Beispiel Temperatur, Niederschlag, potenzielle Evapotranspiration) und standörtlicher Faktoren (zum Beispiel nutzbare Feldkapazität, Nährstoffversorgung, Stickstoffdeposition) wurden für die Baumarten Standort-Leistungs-Modelle parametrisiert. Durch die Anwendung der Modelle können die Optimal-, die Potenz- und die Grenzbereiche der jeweiligen Baumarten identifiziert werden. Für die anderen Submodelle können durch die Koppelung des Standort-Leistungs-Modells mit dem Waldwachstumssimulator BWINPro der Wachstumsgang eines Bestandes klimasensitiv modelliert und damit Bestandesparameter berechnet werden.

Ökonomische Bewertung

In diesem Submodell findet eine ökonomische Bewertung der zuvor ermittelten Klimateinflüsse mithilfe der Abbildung risikobeeinflusster Zahlungsströme statt. Hierzu

dienen dimensionsabhängige Erlös- und Kostenfunktionen, jeweils für reguläre und kalamitätsbedingte Holzrenten. Der Risikoeinfluss wird dabei durch die Anpassung einer Überlebensfunktion an die ermittelten Ausfallwahrscheinlichkeiten in einen Flächenausfall überführt. Der gewählte Ansatz erlaubt es, dabei nach Baumarten, Schadenereignissen und Ernteverfahren zu differenzieren.

3.3 Modellimplementierung und technische Umsetzung

Da sich in neueren Entscheidungssystemen, um die Benutzer- und Bedienerfreundlichkeit zu erhöhen, der Einsatz von webbasierten Benutzerschnittstellen bewährt hat, wurde auch das DSS-WuK als Webanwendung entwickelt (Abbildung 37.2). Besonders vor dem Hintergrund von leistungsschwachen Computern in den Forstbetrieben ist die Auslagerung der rechenintensiven Arbeiten auf einen leistungsstarken Server sinnvoll. Für die Entwicklung der Webapplikation wurde ein bewährtes Webframework (Django) eingesetzt, das vor allem auf die zügige Entwicklung von Webapplikationen mit Datenbankverbindungen ausgerichtet ist. Innerhalb dieses Frameworks wurde die Model-Engine umgesetzt, welche die Implementierung des Mastermodells (vgl. Abbildung 37.1)

Start-Webseite des Prototypen

des Entscheidungsunterstützungssystems DSS-WuK

Abbildung 37.2

DSS - WuK
Decision support system - Wald und Klimawandel

Startseite Übersichtskarten Baumartenbeurteilung Hintergrundinfos Kontakt

» **Unterstützung bei Entscheidungen**
Das «Decision support system - Wald und Klima» unterstützt Sie bei der Wahl einer Baumart vor dem Hintergrund sich wandelnden Klimas. Das System bietet Ihnen hierfür Informationen auf verschiedenen Ebenen an.

» **Übersichtskarten**
Einen ersten Eindruck der regionalen Unterschiede des Klimawandels und seiner Auswirkungen auf den Wald können Sie hier gewinnen. Karten der Temperatur- und Niederschlagsänderung beider Klimaszenarien als auch ausgewählter Risiken wurden vorbereitet und stehen in einem Web-GIS als interaktive Karten bereit.

» **Baumartenbeurteilung**
Das System beurteilt die fünf Hauptbaumarten hinsichtlich des Zuwachses, des Windwurfs-, Trockenstress- und biotischen Risikos. Das Risiko kann für eine Koordinate Ihrer Wahl abgefragt werden. Die Beurteilung erfolgt dabei für einen Zeitraum bis zum Jahre 2100, unterteilt in drei Perioden. Es werden die Klimaszenarien (B1 und A1B) bei der Baumartenbeurteilung berücksichtigt.

» **Hintergrundinformationen**
Im Hintergrundinformationssystem bekommen Sie Auskunft zum Klimawandel allgemein und zu den erwarteten Auswirkungen auf den Wald. Darüber hinaus sind die verwendeten Eingangsdaten sowie die eingesetzten Modelle ausführlich dokumentiert.

© 2008 Forschungszentrum Waldökosysteme
Impressum

Validiert nach XFPPL 1.0 Transitional
Validiert nach CSS 2.1

Applikation basiert auf Django
Layout basiert auf YAH!

Eigene Darstellung

darstellt. Die Model-Engine ist sowohl für die Zugriffe auf die Datenbank als auch für die Koordination der Submodelle und die Zusammenstellung der Ergebnisse für den Bericht zuständig. Besonders die Koordination der Datenflüsse zwischen den Submodellen erwies sich als sehr aufwendig, da zum Beispiel viele der Klimadaten in täglicher Auflösung verarbeitet werden. Zudem lagen die Submodelle in verschiedenen Programmiersprachen vor. Darum mussten Schnittstellen geschaffen werden, über die der direkte Zugriff auf die jeweilige Sprache aus der Model-Engine heraus möglich ist.

Für die Darstellung der Übersichtskarten sowie für die Koordinatenauswahl wurde eine Web-GIS-Architektur eingerichtet. Diese besteht aus einem UMN-MapServer, der die Auslieferung der Karten und Legenden an den Webserver (hier Apache 2) als Web-Map-Service (WMS) gemäß dem Open Geospatial Consortium (OGC) übernimmt. Für die Visualisierung (Web-Mapping) fand die JavaScript-Bibliothek OpenLayers Verwendung. Zur Darstellung von Basiskarten wurde der Kartendienst GoogleMaps in OpenLayers eingebunden.

4 Benutzerintegration und Wissenstransfer

Für die Akzeptanz einer Software sind die Zielgruppenorientierung und die Benutzerfreundlichkeit von herausragender Bedeutung. Daher waren potenzielle Nutzer von Beginn an in den Entwicklungsprozess des Entscheidungsunterstützungssystems DSS-WuK eingebunden. Zu diesem Zweck wurden diverse Testversionen des Systems erstellt, die jeweils als Diskussionsgrundlage dienten und deren Weiterentwicklung unter Berücksichtigung der Vorschläge der Praxispartner schließlich in der Endversion mündeten. Neben der benutzerorientierten Systementwicklung wurden im Rahmen des Projekts DSS-WuK Strategien erarbeitet, mit denen der Wissenstransfer optimiert werden kann. Hierzu wurden neben schriftlichen Befragungen von potenziellen Nutzern mehrere Informationsforen mit Stakeholdern aus dem Politikfeld Wald und Klima durchgeführt.

5 Zusammenfassung

Die sich abzeichnenden globalen Umweltveränderungen werden zukünftig die Waldökosysteme Umweltfaktoren aussetzen, die sich in ihrer Kombination und Dynamik von denen der Vergangenheit unterscheiden. Das Ausmaß und die Geschwindigkeit dieses Wandels sowie die Wechselwirkungen zwischen den Änderungen werden vielerorts die natürlichen Anpassungsmechanismen der Wälder überfordern. Da diese zukünftigen Risiken aus den bisherigen Erfahrungen nur schwer ableitbar sind, wurden im „DSS-WuK – Decision Support System Wald und Klimawandel“ Modelle und Methoden entwickelt und verknüpft, mit denen die zu erwartenden standörtlichen Veränderungen für die nächsten 100 Jahre abgebildet und die Stressoren Wind, Trockenheit und biotische Schaderreger abgeschätzt werden können. Darüber hinaus ermöglicht das webbasierte Entscheidungsunterstützungssystem die Einschätzung der walddachstumskundlichen Veränderungen mithilfe eines klima- und standortsensitiven Wachstumssimulators sowie eine öko-

nomische Bewertung der Risiken und Wachstumsveränderung. Da für die Akzeptanz eines solchen Systems die Zielgruppenorientierung und die Benutzerfreundlichkeit von herausragender Bedeutung sind, wurden bei der Implementierung von Beginn an potenzielle Nutzer in den Entwicklungsprozess eingebunden.

Literatur

- Baier, Peter / Pemmerstorfer, Josef / Schopf, Axel**, 2007, PHENIPS – A comprehensive phenology model of *Ips typographus* (L.) (Col. Scolytinae) as a tool for hazard rating of bark beetle infestation, in: *Forest Ecology and Management*, Vol. 249, No. 3, S. 171–186
- Dobbertin, Matthias et al.**, 2007, Linking increasing drought stress to scots pine mortality and bark beetle infestations, in: *TheScientificWorldJOURNAL*, Vol. 7, No. 2, S. 231–239
- Granier, André et al.**, 2007, Evidence for soil water control on carbon and water dynamics in European forests during the extremely dry year: 2003, in: *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 143, No. 1-2, S. 123–145
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2007, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge (UK)/New York
- Olchev, Alexander / Radler, Karl / Panferov, Oleg / Sogachev, Andrey / Gravenhorst, Gode**, 2009, Application of a three-dimensional model for assessing effects of small clear-cuttings on radiation and soil temperature, in: *Ecological Modelling*, doi:10.1016/j.ecolmodel.2009.1002.1004, im Druck
- Vacik, Harald / Lexer, Manfred J.**, 2001, Application of a spatial decision support system in managing the protection forests of Vienna for sustained yield of water resources, in: *Forest Ecology and Management*, Vol. 143, No. 1-3, S. 65–76