

Editorial

Christine Fürst, Katrin Pietzsch, Franz Makeschin: ENFORCHANGE – Wälder von heute für die Umwelt von morgen

Beiträge

Christine Fürst, Katrin Pietzsch, Franz Makeschin: Zukünftige Entwicklung bodenchemischer Parameter auf ehemals emissionsbeeinflussten Waldstandorten

Future development of soil chemical parameters on formerly emission affected forest sites

Dietmar Zirlwagen: Regionalisierung der bodenchemischen Drift in der Dübener Heide im Zeitraum 1995–2006

Upscaling of the soil-chemical drift in the Dübener Heide for period 1995 to 2006

Dietmar Zirlwagen, Klaus von Wilpert: Raum-Zeitmuster von Stoffflüssen im Boden: Verbindung von Sickerwasserchemie und Bodenfestphase

Spatio-temporal patterns of matter fluxes in soils: linkage between soil solution and soil solid phase

Peter Hartmann, Heiner Fleige, Rainer Horn: Veränderung bodenphysikalischer Eigenschaften von Humusaufgaben auf ehemals flugaschebeeinflussten Waldstandorten der Oberlausitz

Modifications of soil physical properties of forest floor horizons at previously flyash affected forest sites in the region Upper Lusatia

Björn Fischer, Valeri Goldberg, Christian Bernhofer: Der Einfluss klimabedingt veränderter Bestandesstruktur auf die Temperatur- und Verdunstungsverhältnisse in der Dübener Heide /Sachsen

The effect of climatic changed stand structure on temperature and evaporation conditions in the Dübener Heide /Saxony

Ralf Moshhammer, Thomas Rötzer, Hans Pretzsch: Analyse der Waldentwicklung unter veränderten Umweltbedingungen – Neue Informationen für die Forstplanung durch Kopplung von Modellen am Beispiel des Forstbetriebes Zittau

Analysing forest development under changing environmental conditions – novel information for the forest management by combining models demonstrated for the forest enterprise Zittau

Dirk-Roger Eisenhauer, Sven Sonnemann: Waldbaustrategien unter sich ändernden Umweltbedingungen – Leitbilder, Zielsystem und Waldentwicklungstypen

Silvicultural strategies under changing environmental conditions – Guiding principles, Target system and Forest development types

Sebastian Stang, Thomas Knoke: Optimierung der Hiebsatzplanung zur Quantifizierung von finanziellen Ertragseinbußen durch den Klimawandel am Beispiel des Forstbetriebes der Stadt Zittau

Optimization of the prescribed cut planning to quantify financial yield losses like the climate change at the example of the municipal forest enterprise Zittau

Bernhard Goodwin, Michael Suda: Forstwissenschaftler und der Wissenstransfer – Erklärungen für unterschiedliche Kommunikationsstile

Forest Scientists and Knowledge Transfer – Explanations for Differences in Communication Styles

Melanie Morisse-Schilbach, Stefan Werland: Forstwissenschaften und die Globale Governance des Waldes

Forestry Sciences and Global Forest Governance

Titelbilder: pixelio/Löwenzahn

Verlag Kessel, www.verlagkessel.de

ISSN: 1867-710X

Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz

Forest Ecology, Landscape Research and Nature Conservation

Jahr/Year: 2009, Heft/Issue: 8

2009/8

Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz

Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz

Forest Ecology, Landscape Research and Nature Conservation

Hier werden ausschließlich Original-Arbeiten publiziert. Die Veröffentlichung erfolgt als pdf-Datei. Über die Annahme der Beiträge wird aufgrund externer Gutachten entschieden (*peer review*-System). Das Themenspektrum beinhaltet:

- Regionale, nationale und internationale Studien zu Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz.
- Methoden der nordostdeutschen und der süddeutschen Schulen zur Standorts-, Vegetations- und Naturraumerkundung.
- Klimawandel und Eutrophierung als neue Faktoren der Standorts- und Naturraumerkundung (z. B. Einbeziehung regionaler Klimamodelle; Einbeziehung möglicher Trockenklemmen; trees for the future).
- Natur und biologische Vielfalt (Konzepte für ökologisch nachhaltige Landnutzung; Konzepte, Werkzeuge und Indikatoren für Biodiversitätsmonitoring auf verschiedenen Skalenebenen; Biodiversität und ökologische Funktionalität; biologische Invasionen).

Schriftleiter – EDITORS IN CHIEF

Prof. Dr. Gerhard **Karrer**, Universität für Bodenkultur Wien, Department für Integrative Biologie und Biodiversitätsforschung, Gregor-Mendel-Str. 33, A-1180 Wien (Austria), email: gerhard.karrer@boku.ac.at

Dr. Helge **Walentowski**, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Am Hochanger 11, D-85354 Freising, email: Helge.Walentowski@lwf.bayern.de

Prof. Dr. Michael **Manthey**, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Institut für Botanik und Landschaftsökologie, Grimmer Str. 88, D-17487 Greifswald, email: manthey@uni-greifswald.de

Prof. Dr. Stefan **Zerbe**, Free University of Bozen - Bolzano, Faculty of Science and Technology, Via Leonardo da Vinci 7, I-39100 Bolzano (Italy), email: Stefan.Zerbe@unibz.it

Redaktions-Beirat – COORDINATING EDITORS

Prof. Dr. Elgene O. **Box**, Geography Dept, University of Georgia, Athens (USA)

Prof. Dr. Ingo **Kowarik**, Fachgebiet Ökosystemkunde / Pflanzenökologie, Technische Universität Berlin

Dr. Mario **Broggi**, Geschäftsstelle Binding-Preis für Umwelt und Naturschutz, Schaan (Liechtenstein)

Prof. Dr. Vera **Luthardt**, FB Landschaftsnutzung und Naturschutz, Fachhochschule Eberswalde

Dr. Andraž **Carni**, Institute of Biology, Scientific Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts, Ljubljana (Slovenia)

Dr. Hans-Gerhard **Michiels**, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg i.Br.

Prof. Dr. Klaus **Dierßen**, Ökologiezentrum, Christian-Albrechts-Universität Kiel

Prof. Dr. Jörg **Pfadenhauer**, Dept. für Ökologie, Technische Universität München, WZW Weihenstephan

Prof. Dr. Jörg **Ewald**, Fakultät Wald und Forstwirtschaft, Fachhochschule Weihenstephan

Prof. Dr. Albert **Reif**, Waldbau-Institut, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Prof. Dr. Georg **Grabherr**, Institut für Ökologie und Naturschutz, Universität Wien (Austria)

Prof. Dr. Peter A. **Schmidt**, Institut für Allgemeine Ökologie und Umweltschutz, Technische Universität Dresden

Dr. Ab **Grootjans**, Community & Conservation Ecology Group, University of Groningen (Netherlands)

Prof. em. Dr. Rolf **Schmidt**, FB Landschaftsnutzung und Naturschutz, Fachhochschule Eberswalde

Prof. em. Dr. Ulrich **Hampicke**, Institut für Botanik und Landschaftsökologie, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

Prof. Dr. Wolfgang **Schmidt**, Institut für Waldbau, Universität Göttingen

Prof. Dr. Martin **Hermý**, Catholic University of Leuven, Division Forest, Nature and Landscape Research (Belgium)

Dr. Peer Hajo **Schnitter**, Fachbereich Naturschutz, Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Halle

Prof. Dr. Hans **Joosten**, Institut für Botanik und Landschaftsökologie, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

Dr. Rainer **Schulz**, Institut für Forstliche Biometrie und Informatik, Universität Göttingen

Prof. Dr. Birgit **Kleinschmit**, Fachgebiet für Geoinformationsverarbeitung in der Landschafts- und Umweltplanung, Technische Universität Berlin

Dr. Axel **Ssymank**, Bundesamt für Naturschutz, Bonn

Prof. Dr. Hans-Dieter **Knapp**, Internationale Naturschutzakademie Insel Vilm des Bundesamtes für Naturschutz

Prof. Dr. Winfried **Türk**, Fachgebiet Vegetationskunde, Fachhochschule Lippe und Höxter / Abt. Höxter

Dr. Christian **Kölling**, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising-Weihenstephan

Dr. Thomas **Wohlgemuth**, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft Birmensdorf (Switzerland)

Technische Redakteure / TECHNICAL EDITORS

René **Fronczek**, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Institut für Botanik und Landschaftsökologie, Grimmer Str. 88, D-17487 Greifswald, email: fronczek@uni-greifswald.de

Kersten **Renneberg**, Renneberg-Webdesign, Grüner Weg 2, D-37133 Friedland, email: info@renneberg-webdesign.de

Andrew **Liston**, email: andrew.liston@t-online.de

Herausgeber – PUBLISHER

Dr. Norbert **Kessel**, Verlag Dr. Kessel, Eifelweg 37, D-53424 Remagen-Oberwinter, email: webmaster@forstbuch.de

Hinweise für Autoren

- Manuskripte werden per E-Mail als Attachment eingereicht.
- Folgende Text-Formate werden akzeptiert: *.doc, *.rtf
- Beiträge werden überschrieben mit
 - Titel des Beitrags
 - Vorname und Name der Autoren/der Autorinnen
- Abbildungen sind möglich in den Formaten JPG, GIF, TIF oder als Excel-Grafiken (XLS). Bitte immer die Original-Dateien mitsenden!
- Beiträge können in Deutsch oder Englisch verfasst sein.
- Ein Abstract in Englisch und eine Zusammenfassung in Deutsch sind voranzustellen.
- Tabellenüberschriften und Abbildungsunterschriften (auch) in Englisch

Bitte beachten Sie bitte die unter www.afsv.de in der Rubrik „Waldökologie online“ hinterlegten Formatvorgaben.

Zitierweise

Bei Artikeln in Zeitschriften: Verfasser (in Kapitalchen, Vorname gekürzt), Erscheinungsjahr in Klammern: Titel der Arbeit. Abgekürzter Titel der Zeitschrift mit Bandzahl fettgedruckt, Heftnummer in Klammern: Seitenzahlen.

Beispiel:

ASSMANN, T. (1994): Epigäische Coleopteren als Indikatoren für historisch alte Wälder der Nordwestdeutschen Tiefebene. *NNA-Ber.* **7** (3): 142–151.

Bei Büchern: Verfasser (in Kapitalchen, Vorname gekürzt), Erscheinungsjahr in Klammern: Titel der Arbeit. Auflage (nur von der 2. Auflage ab). Verlag, Erscheinungsort: Seitenzahl. Beispiel:

ELLENBERG, H. (1996): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. 5. Aufl., Ulmer, Stuttgart: 1095 S.

Zusätzlich können anschließend sowohl bei Artikeln als auch bei Büchern Internetadressen angegeben werden.

Beispiel:

ENGELHARD, J., REIF, A. (2004): Veränderungen der Bodenvegetation und des Oberbodenzustandes durch Fichtenanbau auf Standorten des Kalkbuchenwaldes. *Waldökologie online* **1**: 29–56.

http://www997.wb09.de/download/literatur/waldoekologie-online/waldoekologie-online_heft1-5.pdf

Die Manuskripte senden Sie bitte per E-Mail an einen der Schriftleiter (*Editors in Chief*).

Copyright

Das Copyright für alle Web-Dokumente und Bilder liegt beim Journal. Eine Folgeverwertung von Web-Dokumenten ist nur möglich, wenn die Redaktion ihr Einverständnis erklärt. Externe Links auf das Waldökologie-Online Journal sind ausdrücklich erwünscht. Eine unautorisierte Übernahme ganzer Seiten oder ganzer Beiträge oder auch Beitragsteile ist dagegen nicht zulässig.

Bestellung als print on demand:

Das Journal kann auch in gedruckter Form im Format 21 x 29,7 cm bestellt werden („*print on demand*“). Ihre Bestellung richten Sie bitte an den Verlag Kessel, Eifelweg 37, 53424 Remagen-Oberwinter.

Fax: 01212-512 382 426

e-mail: webmaster@forstbuch.de

homepage: www.verlagkessel.de

Für den Schriftentausch bitten wir, folgende Anschrift zu verwenden:

Schriftentausch für die Arbeitsgemeinschaft Forstliche Standorts- und Vegetationskunde, c/o. Geschäftsführung, Am Hochanger 11, D-85354 Freising

Liebe Leserin, lieber Leser,

Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz hat es sich zum Ziel gesetzt, zum Wohle seiner Leserschaft konsequent den Facetten-Reichtum, die eine kombinierte *Online-/Printing-on-demand*-Publikationsreihe bietet, zu nutzen. Dazu gehören z. B. die gute Recherchierbarkeit des Journals (Volltextversionen zum Download) und die große Flexibilität der gedruckten Versionen (Auflagehöhe je nach Bedarf; Sonderdrucke einzelner Beiträge; thematisch kombinierte Sammel-Beiträge; komplette Einzel-Hefte; kombinierte Hefte etc.). Außerdem können wir mit der gewählten Publikationsform auch längere Beiträge oder Beiträge mit umfangreichen Textbeilagen/Anhängen annehmen, die bei anderen Journalen stark gekürzt werden müssten. Eine weitere Stärke besteht darin, dass wir gezielt die Möglichkeit zur Publikation thematischer Bände anbieten. So können z. B. wissenschaftliche Beiträge von Fachsymposien oder alle relevanten Ergebnisse eines Forschungsverbund-Projektes komplett und ungekürzt veröffentlicht werden. Ein derartiges Beispiel liefert das nun vorgelegte Heft Nr. 8.

Herzlichst,
Ihr Schriftleitungsteam
Gerhard Karrer, Michael Manthey, Helge Walentowski,
Stefan Zerbe

Vorwort der Projektleitung

Der vorliegende Band beinhaltet Ergebnisse, die im Projekt ENFORCHANGE erarbeitet worden sind. ENFORCHANGE war eines von 27 Forschungsprojekten im Programmschwerpunkt „Nachhaltige Waldwirtschaft“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Von 2005 bis 2007 sind anhand von zwei Modellregionen Fragen zur Reaktion von Wäldern auf veränderte Umweltbedingungen und zur Übersetzung der Erkenntnisse in waldbauliche Handlungsempfehlungen bearbeitet worden. Ein wesentlicher Aspekt war auch die Frage eines besseren Transfers von Forschungsergebnissen in die Öffentlichkeit.

Danken möchten wir an dieser Stelle allen unseren Projektpartnern, die an der gemeinsamen Abschlusspublikation mitgewirkt haben und ebenso den Gutachtern, die dabei geholfen haben, die Ergebnisse am Stand des Wissens zu messen. Ein besonderer Dank gilt an dieser Stelle Kerstin Hübsch, die die graphische Aufbereitung der Beiträge übernommen hat und Christina Bendix für die Übernahme des Lektorats. Bedanken möchten wir uns schließlich bei den Herausgebern des Journals für die gute und nachhaltige Betreuung und für die Plattform Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz an sich, die es ermöglicht, Ergebnisse qualitäts gesichert im deutschen Sprachraum gemeinsam zu publizieren.

Christine Fürst

Unsere Partner

Deutscher Verband Forstlicher
Forschungsanstalten
www.dvffa.de



www.tuexenia.de



Allgemeine Forst Zeitschrift
für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge

www.afz-derwald.de



www.schaper-verlag.de

Editorial

CHRISTINE FÜRST, KATRIN PIETZSCH, FRANZ MAKESCHIN ENFORCHANGE – WÄLDER VON HEUTE FÜR DIE UMWELT VON MORGEN.....	5
--	---

Beiträge

HEIKO FRITZ, MENGISTU ABIY, THOMAS KLINGER, FRANZ MAKESCHIN ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNG BODENCHEMISCHER PARAMETER AUF EHEMALS EMISSIONSBEEINFLUSSTEN WALDSTANDORTEN	9
<i>FUTURE DEVELOPMENT OF SOIL CHEMICAL PARAMETERS ON FORMERLY EMISSION AFFECTED FOREST SITES</i>	

DIETMAR ZIRLEWAGEN REGIONALISIERUNG DER BODENCHEMISCHEN DRIFT IN DER DÜBENER HEIDE IM ZEITRAUM 1995–2006.....	21
<i>UPSCALING OF THE SOIL-CHEMICAL DRIFT IN THE DÜBENER HEIDE FOR PERIOD 1995 TO 2006</i>	

DIETMAR ZIRLEWAGEN, KLAUS VON WILPERT RAUM-ZEITMUSTER VON STOFFFLÜSSEN IM BODEN: VERBINDUNG VON SICKERWASSERCHEMIE UND BODENFESTPHASE.....	31
<i>SPATIO-TEMPORAL PATTERNS OF MATTER FLUXES IN SOILS: LINKAGE BETWEEN SOIL SOLUTION AND SOIL SOLID PHASE</i>	

PETER HARTMANN, HEINER FLEIGE, RAINER HORN VERÄNDERUNG BODENPHYSIKALISCHER EIGENSCHAFTEN VON HUMUSAUFLAGEN AUF EHEMALS FLUGASCHEBEEINFLUSSTEN WALDSTANDORTEN DER OBERLAUSITZ.....	41
<i>MODIFICATIONS OF SOIL PHYSICAL PROPERTIES OF FOREST FLOOR HORIZONS AT PREVIOUSLY FLY ASH AFFECTED FOREST SITES IN THE REGION UPPER LUSATIA</i>	

BJÖRN FISCHER, VALERI GOLDBERG, CHRISTIAN BERNHOFER DER EINFLUSS KLIMABEDINGT VERÄNDERTER BESTANDESSTRUKTUR AUF DIE TEMPERATUR- UND VERDUNSTUNGSVERHÄLTNISSE.....	53
<i>IN DER DÜBENER HEIDE/SACHSEN</i>	
<i>THE EFFECT OF CLIMATIC CHANGED STAND STRUCTURE ON TEMPERATURE AND EVAPORATION CONDITIONS IN THE DUEBENER HEIDE/SAXONY</i>	

RALF MOSHAMMER, THOMAS RÖTZER, HANS PRETZSCH ANALYSE DER WALDENTWICKLUNG UNTER VERÄNDERTEN UMWELTBEDINGUNGEN – NEUE INFORMATIONEN FÜR.....	63
<i>DIE FORSTPLANUNG DURCH KOPPLUNG VON MODELLEN AM BEISPIEL DES FORSTBETRIEBES ZITTAU</i>	
<i>ANALYSING FOREST DEVELOPMENT UNDER CHANGING ENVIRONMENTAL CONDITIONS – NOVEL INFORMATION FOR THE FOREST MANAGEMENT BY COMBINING MODELS DEMONSTRATED FOR THE FOREST ENTERPRISE ZITTAU</i>	

DIRK-ROGER EISENHAEUER, SVEN SONNEMANN WALDBAUSTRATEGIEN UNTER SICH ÄNDERNDEN UMWELTBEDINGUNGEN – LEITBILDER, ZIELSYSTEM UND	71
<i>WALDENTWICKLUNGSTYPEN</i>	
<i>SILVICULTURAL STRATEGIES UNDER CHANGING ENVIRONMENTAL CONDITIONS – GUIDING PRINCIPLES, TARGET SYSTEM AND FOREST DEVELOPMENT TYPES</i>	

SEBASTIAN STANG, THOMAS KNOKE OPTIMIERUNG DER HIEBSATZPLANUNG ZUR QUANTIFIZIERUNG VON FINANZIELLEN ERTRAGSEINBUSSEN DURCH DEN KLIMAWANDEL.....	89
<i>AM BEISPIEL DES FORSTBETRIEBES DER STADT ZITTAU</i>	
<i>OPTIMIZATION OF THE PRESCRIBED CUT PLANNING TO QUANTIFY FINANCIAL YIELD LOSSES LIKE THE CLIMATE CHANGE AT THE EXAMPLE OF THE MUNICIPAL FOREST ENTERPRISE ZITTAU</i>	

BERNHARD GOODWIN, MICHAEL SUDA FORSTWISSENSCHAFTLER UND DER WISSENSTRANSFER: ERKLÄRUNGEN FÜR UNTERSCHIEDLICHE KOMMUNIKATIONSSTILE.....	95
<i>FOREST SCIENTISTS AND KNOWLEDGE TRANSFER: EXPLANATIONS FOR DIFFERENCES IN COMMUNICATION STYLES</i>	

MELANIE MORISSE-SCHILBACH, STEFAN WERLAND FORSTWISSENSCHAFTEN UND DIE GLOBALE GOVERNANCE DES WALDES	107
<i>FORESTRY SCIENCES AND GLOBAL FOREST GOVERNANCE.....</i>	

ENFORCHANGE – Wälder von heute für die Umwelt von morgen

Editorial

Christine Fürst, Katrin Pietzsch, Franz Makeschin

*Der unermesslich reichen, stets sich erneuernden Natur gegenüber wird der Mensch,
so weit er auch in der wissenschaftlichen Erkenntnis fortgeschritten sein mag,
immer das sich wundernde Kind bleiben und muss sich stets auf neue Überraschungen gefasst machen.*

Max Planck (1858–1947)

Der Blick in die Zukunft gelingt zuweilen erst über einen Umweg in die Vergangenheit. Wie reagieren die Wälder auf Wasserknappheit und höhere Temperaturen, wie entwickeln sich Waldstandorte unter veränderten Umweltbedingungen, spielen ehemalige Emissionen heute noch eine Rolle? Können Wälder morgen noch das leisten, was wir heute als so selbstverständlich betrachten? Die Antworten auf solche Fragestellungen sind zumeist nicht eindeutig. Lassen doch verschiedene Szenarien gerade mit Blick auf den Klimawandel auch unterschiedliche Entwicklungswege offen. Doch wie Wälder in der Vergangenheit auf teils drastische Veränderungen ihrer Umwelt reagiert haben, was dies für die Holzproduktion und die Standortsnachhaltigkeit bedeutete, das ist messbar, hilft Prozesse zu verstehen und damit auch den Rahmen einzugrenzen, innerhalb dessen ein so komplexes Ökosystem wie der Wald reagieren kann.

Im Projektverbund ENFORCHANGE sind die Spuren der Vergangenheit bis in die Gegenwart verfolgt worden. Von 2005–2009 konnte der Verbund als einer von 27 Verbundvorhaben im Programmschwerpunkt „Nachhaltige Waldwirtschaft“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung anhand der Modellregionen „Dübener Heide (Leipzig-Halle-Bitterfeld)“ und „Oberlausitz“ Modelle und Instrumente entwickeln, die es erlauben, waldbauliche und ökonomische Entscheidungen besser abzusichern und gleichzeitig dem Transfergedanken besser Rechnung zu tragen. Vom Boden über den Waldbestand bis hin zum Waldnutzer sind Entwicklungstendenzen und Nutzungsansprüche in einer Welt im Wandel betrachtet und abgeglichen worden. Die Ergebnisse aus dem Forschungsverbund sind Gegenstand des vorliegenden Bandes.

Die Dübener Heide als regionaler Forschungsschwerpunkt des Verbundvorhabens ENFORCHANGE präsentiert sich heute als grünes Paradies vor den Toren Leipzigs. Sie ist eines der wichtigsten Naherholungsgebiete für die Großstadt. Es ist schwer vorstellbar, dass das Waldgebiet noch vor rund 20 Jahren einer völlig anderen Dynamik unterworfen war. Mehr als ein Jahrhundert hindurch wurden die Wälder in der Dübener Heide durch extrem hohe Stoffeinträge beeinflusst. Quelle der Immissionen war einer der wichtigsten mitteldeutschen Industriestandorte, das Industriedreieck Leipzig-Halle-Bitterfeld. Diese Region galt für eine lange Zeit als eine der am stärksten verschmutzten Regionen Deutschlands, geprägt durch große Braunkohlekraftwerke und eines

der größten Chemiekombinate in den Neuen Ländern. Mehr als 18 Mio.t Flugasche und 12 Mio.t Schwefeleinträge sowie viele weitere Immissionen des Chemiekombinats Bitterfeld hinterließen langfristige Spuren in der Dübener Heide, die sich bis heute in überprägten Standortseigenschaften und einer dadurch in ihrer Dynamik veränderten Waldentwicklung niederschlagen. Eine ähnliche und noch weiter in die Gegenwart reichende Überprägung hat die Oberlausitz erfahren, mit teils noch extremeren, aber räumlich enger umgrenzten Einträgen aus Deutschland, Tschechien und Polen.

Seit den 1960er Jahren bis heute und insbesondere seit den 1990er Jahren hat sich die Umwelt für Wälder wie in der Dübener Heide deutlich verändert. Bodenchemische und physikalische Weiser, aber auch der Wald selbst zeichnen diese Veränderung deutlich nach. Die pH-Werte in den Humusaufgaben nahe der Kraftwerke in Bitterfeld und Zschornowitz lagen zwischen 1960 und 1970 noch bei 7–9, einem Wert, der zum Vergleich in etwa Meerwasser oder Seife entspricht. Der regionale Hintergrundwert bewegt hingegen im Bereich von etwa 3–4, also im Säurebereich von Haushaltsessig. Schon in den 1980er Jahren gingen die pH-Werte zurück. Dies lag zum einen an der Einführung erster Rauchfilter in den Kraftwerken. Gleichzeitig stiegen allerdings die Schwefeleinträge aus der Kohleverbrennung sogar noch an. Sie wirken extrem versauernd auf die Waldstandorte und konnten nicht mehr durch die basische Flugasche abgepuffert werden. Nach 1990 fielen zwar sowohl die Ascheinträge als auch die Schwefeleinträge weitestgehend weg, allerdings bewirken hohe Stickstoffimmissionen aus Verkehr und Landwirtschaft eine weitergehende Rückversauerung der Waldböden. Heute erreichen die noch messbar beeinflussten Standorte nahe der ehemaligen Kraftwerke, z. B. in Burgkernitz, pH-Werte von bis zu 5, sind also in etwa so sauer wie Kaffee oder Tee.

Betrachtet man das Waldwachstum seit den 1960er Jahren, so wurde in dieser Zeit noch von deutlichen Wachstumseinbußen insbesondere durch Schwefeldioxid ausgegangen. Diese waren umso höher, je näher man den Kraftwerken kam. Allerdings findet sich dieser Effekt schon zwischen 1982 und 1988 nicht mehr. In dieser Zeit wurden bereits erste Rauchfilter eingeführt und nur der großräumig wirkende Schwefelaustrag blieb bestehen. Über noch längere Vergleichszeiträume hinweg, 1940–1991 und von 1975–1991

zeigt sich sogar, dass zwischen dem Wachstum der Bestände nahe der Kraftwerke und in maximaler Entfernung keinerlei Unterschied bestand: Die Immissionen wirkten großräumig gleichmäßig wachstumsmindernd. Nach den 1990er Jahren, nach dem Ende der Depositionen also, zeigte sich ein erster Hoffnungsschimmer: Aus den Ergebnissen einer der ältesten Dauerversuchsflächen in der Dübener Heide, der von Danckelmann begründeten „Tornau 45“, ließ sich sogar nachweisen, dass ein mehr als 150-jähriger Kiefernbestand wieder im Höhenwachstum zulegen und dies sogar bis heute mit zunehmender Tendenz.

Begibt man sich auf eine Spurensuche entlang des ehemaligen Immissionsgradienten von Zschornowitz nahe Bitterfeld nach Bad Schmiedeberg, so findet man in einer Entfernung von bis zu 8 km zu den alten Kraftwerksstandorten einen Bereich mit nach wie vor hoher Wirkungsintensität der ehemaligen Immissionen. Hier sind die Waldstandorte noch durch eine hohe Basensättigung und erhöhte pH-Werte gekennzeichnet. Vor allem der wichtige Pflanzennährstoff Kalzium ist noch immer deutlich besser verfügbar – die Vorräte liegen bis zu 10–20-fach höher als der regionaltypische Referenzwert. Dies beeinflusst zum einen das Pflanzenwachstum, gleichzeitig aber auch die Artenausstattung. Noch heute wachsen dort beispielsweise Erdbeere und Perlgras unter Kiefernreinbeständen – sie sind Weiser für eine deutlich über das normale Niveau erhöhte Nährstoffversorgung. Eine üppige Naturverjüngung, die durch viele Edellaubholzarten mit hohen Nährstoffansprüchen wie Bergahorn, Esche oder Linde geprägt ist, zeigt die Luxusituation ebenso deutlich an. Sie kann den Forschungsergebnissen zufolge zumindest in der nächsten Waldgeneration in waldbauliche Konzepte eingebunden werden.

In einer räumlichen Entfernung von bis zu 15 km findet sich ein Übergangsbereich, der durch nicht immer signifikante Unterschiede zu den regionaltypischen Hintergrundwerten gekennzeichnet ist. Hier liegen die pH-Werte noch über dem regionaltypischen Durchschnitt, nicht aber die Basensättigung. Die Bodenvegetation zeichnet hier durch eine Mischung zwischen Zeigerarten für eine noch vor kurzem basischere und durch ein erhöhtes Nährstoffangebot geprägte Situation und wieder einwandernden Säurezeigern die dynamische Entwicklung des Waldes nach. In einer Entfernung von mehr als 15 km sind heute keinerlei bodenchemische Effekte der Immissionen nachweisbar. Hier finden sich die für die Dübener Heide typischen, eher armen Kiefernwälder mit Gräsern, Farnen und Moosen.

Die hohen Einträge insbesondere an Flugasche beeinflussen nicht nur die bodenchemischen Eigenschaften – auch physikalische Eigenschaften vor allem die der Humusaufgaben wurden verändert. Die Flugascheeinträge bewirken, dass sich die Humusaufgaben in bis zu 8 km Entfernung von den ehemaligen Kraftwerksstandorten noch heute quasi wie ein Mineralboden verhalten. Hier sind die Wasserleitfähigkeit, die Festsubstanzdichte und die Luftkapazität deutlich erhöht. Das heißt, dass beispielsweise Niederschlagswasser leichter eindringen kann – natürlicher Humus hat einen we-

sentlich höheren Benetzungswiderstand. Der Anteil des pflanzenverfügbaren Wassers im Humus hingegen ist reduziert, die Verdunstungsrate und die Versickerungsgeschwindigkeiten sind gegenüber unbeeinflussten Humusaufgaben sogar erhöht. Dadurch steht dem Wald zwar einerseits mehr Wasser zur Verfügung, andererseits eventuell über einen kürzeren Zeitraum im Jahresverlauf. Momentan überwiegen angesichts des sich verändernden regionalen Klimas allerdings die Vorteile. Die Rahmenbedingungen für das Waldwachstum und damit auch die Waldbewirtschaftung auf den noch messbar beeinflussten Standorten im Vergleich zu den nicht mehr messbar beeinflussten Standorten sind eher als günstiger zu bezeichnen. Nährstoffe und Wasser sind in größerem Umfang verfügbar und eine heute schon reichere Artenausstattung und üppige Naturverjüngung aus Laubhölzern eröffnet einen deutlich größeren Handlungsspielraum. Allerdings machen es die veränderten chemischen und physikalischen Eigenschaften der kraftwerksnahen Humusaufgaben für Bäume im an und für sich eher nährstoffarmen und trockenen Tiefland attraktiv, sehr nahe an der Bodenoberfläche oder sogar in den Humusaufgaben zu wurzeln. Dort gibt es deutlich mehr Nährstoffe und Wasser – zumindest aktuell. Dadurch ergeben sich heterogene Effekte auf das Baumwachstum und dessen zukünftige Entwicklung. Momentan sind deutlich erhöhte Zuwächse zu verzeichnen, während gleichzeitig neue Arten die Wälder besiedeln. Aus den einstigen Kiefernreinbeständen sind nahe der ehemaligen Kraftwerksstandorte Kiefernwälder mit einer üppigen Verjüngung aus Laubhölzern geworden. Edellaubhölzer wie Bergahorn und Linde verjüngen sich natürlich. Zieht man in Betracht, dass sich sowohl die Nährstoffsituation eher verschlechtern wird und gleichzeitig aktuelle Klimaprognosen eine Abnahme der regionalen Niederschläge um etwa ein Viertel des heutigen – ohnehin nicht sehr üppigen – Niederschlages vorherzusagen, dann entsteht aus diesem Trend ein beträchtliches Zukunftsrisiko für die heutigen Bestände. Sowohl die flache Durchwurzelung als auch die Etablierung von nicht wirklich an die ursprünglichen regionalen Ausgangsbedingungen angepassten Baumarten könnten in Zukunft Ausfälle einzelner Bäume aber auch ganzer Waldbestände provozieren.

Dennoch muss das beschriebene Risiko nicht zwingend eintreten. Prognosen zur regionalen Wirkung des globalen Klimawandels gehen zwar davon aus, dass in rund 100 Jahren in der Region ein Klima herrschen wird, wie es heute in Toulouse zu finden ist. Rund 3,5 °C wärmer könnte es werden, gleichzeitig sind rund 100 mm weniger Niederschlag zu erwarten. Dieser Herausforderung kann sich der Wald allerdings stellen. Strukturierte Mischbestände aus Kiefer und Buche oder Eiche haben einen günstigeren Wasserhaushalt als die heutigen einschichtigen Kiefernbestände. Sie sind in der Lage, bis zu 100 mm Wasserverbrauch „einzusparen“ und das Bestandesinnenklima so einzuregulieren, dass der prognostizierte Temperaturanstieg im Sinne des Wortes nicht spürbar ist. Reich strukturierte Bestände sind gleichzeitig deutlich besser in der Lage, flächigen Ausfällen oder auch der Entwicklung von Schadinsekten vorzubeugen. Die Gegenüberstellung möglicher Risiken und zukünftiger Potenziale zeigt eines: Wälder wie sie sich in der Dübener

Heide aber auch der Oberlausitz finden, sind dank ihrer intensiven Entwicklungsdynamik durchaus in der Lage, auch größere Veränderungen der Umweltrahmenbedingungen auszugleichen. Sie können selbst langfristige Belastungen nicht nur überleben, sondern sogar teils zum Vorteil wenden. Aus diesen Ergebnissen lassen sich Waldentwicklungstypen für ableiten, die vor allem dem Anspruch gerecht werden, laufende Umweltprozesse besser in die mittel- und langfristigen Entscheidungen zu integrieren und dem Wirtschaftler damit ein modernes Planungsinstrument an die Hand geben.

Autorenanschriften

Christine Fürst, Franz Makeschin
Technische Universität Dresden
Institut für Bodenkunde und Standortlehre,
Pienner Straße 19, D-01737 Tharandt
Telefax +49-35203 383-1388
Email fuerst@forst.tu-dresden.de
Email makeschin@t-online.de

Katrin Pietzsch
PiSolution
Hauptstraße 12, D-04416 Markkleeberg
Telefon + 49-341 3192-740
Telefax + 49-341 3192-739
Email kp@pisolution.de

Zukünftige Entwicklung bodenchemischer Parameter auf ehemals emissionsbeeinflussten Waldstandorten

Future development of soil chemical parameters on formerly emission affected forest sites

Heiko Fritz, Mengistu Abiy, Thomas Klinger, Franz Makeschin

Abstract

This paper presents scenarios for the future development of selected soilchemical parameters (pH-value, nutrient stocks and heavy metal contents) on fly ash affected forest soils of the Dübener Heide. Twelve forest sites were examined, having different distances from the main emitter and thus lying along a deposition gradient of basic fly ash containing heavy metals. Models were developed for the future development of pH-values and element contents using literature data and actual measurements as well as leaching experiments. According to these model results the most affected site Burgkennitz will be characterized by superior stocks of calcium and magnesium for duration of the next 100 years. In the organic horizons of this site the contents of cadmium, copper, nickel and zinc exceed the threshold values of the BBodSchV (German Federal Soil Protection and Contaminated Sites Ordinance) presently. But due to high pH-values the mobile contents of these heavy metals are low enough so that currently a risk of damage to plants or microorganisms can not be deduced. Because of continuous acidification the mobile contents of nickel and zinc will exceed the trigger values (PRÜESS 1994) in the next decades. But a high damage is not to be expected. Thus forest management could make use of the improved nutrition conditions at this site on a long-term time scale.

Keywords: fly ash, forest soil, Dübener Heide, leaching, heavy metal, calcium, magnesium

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit stellt Prognosen zur Entwicklung verschiedener bodenchemischer Parameter (pH-Wert, Nährstoffvorräte und Schwermetallgehalte) für flugaschebeeinflusste Waldböden der Dübener Heide vor. Untersucht wurden dazu zwölf Waldstandorte mit unterschiedlicher Entfernung vom Hauptemittenten und damit entlang eines Depositionsgradientenbasischer, schwermetallhaltiger Flugasche. Aus der Kombination von vorhandenen Altdaten, dem gemessenen Ist-Zustand und den Ergebnissen von Freisetzungsversuchen wurden Modelle für zukünftig zu erwartende pH-Werte und Elementgehalte der Auflagen abgeleitet. Entsprechend dieser Modelle wird der am stärksten beeinflusste Standort Burgkennitz voraussichtlich noch mindestens 100 Jahre über aufgebaste Auflagen verfügen, die sich

durch überdurchschnittlich hohe Calcium- und Magnesiumvorräte auszeichnen, was als positiv für die Pflanzenernährung zu bewerten ist. Die Schwermetallgesamtgehalte von Cadmium, Kupfer, Nickel und Zink in den Auflagen dieses Standortes überschreiten zwar heute schon die Vorsorgewerte der BBodSchV. Aufgrund des hohen pH-Wertes sind zur Zeit die mobilen Gehalte aber noch so gering, dass sich daraus keine Gefährdung für Pflanzen und Mikroorganismen ergibt. Die mobilen Schwermetallgehalte von Nickel und Zink werden zwar aufgrund stetiger Wiederversauerung in den nächsten Jahrzehnten die Prüfwerte von PRÜESS (1994) überschreiten. Mit einem hohen Schädigungspotenzial ist allerdings nicht zu rechnen. Das durch die Flugasche verbesserte Nährstoffangebot könnte hier also noch langfristig waldbaulich genutzt werden.

Schlüsselwörter: Flugasche, Waldboden, Dübener Heide, Freisetzung, Schwermetalle, Calcium, Magnesium

1. Einleitung

Das sich nordöstlich des Ballungsgebietes Leipzig-Halle-Bitterfeld erstreckende Waldgebiet der Dübener Heide wurde im 20. Jahrhundert durch Immissionen aus Braunkohleverbrennung und chemischer Industrie beeinflusst. Neben großen Mengen an Schwefeldioxid, Stickoxiden und Ammoniak, die primär zu massiven Waldschäden führten, wurden durch die Verbrennung von ca. 1 Mrd. t Rohbraunkohle etwa 12 Mio. t Flugasche ausgestoßen und überwiegend im Gebiet der Dübener Heide abgelagert (NEUMEISTER et al. 1991; NEUMEISTER et al. 1997; ENDERS, 2007). Im Gegensatz zur schädlichen Wirkung der Gase führten die Einträge des calciumreichen, basischen Aschenmaterials aber zu basenreichen Humusaufgaben, so dass bereits 1962 für die gesamte Dübener Heide die Einstellung der Bestandeskalkung angeordnet wurde (ENDERLEIN & STEIN, 1964a; KÖHLER & LIEBER, 1968). Die starken und teilweise gegenläufigen Auswirkungen der Stoffeinträge auf die Waldökosysteme gaben bereits frühzeitig Anlass dazu, die Folgen der Industrieimmissionen näher zu untersuchen. Dadurch kann heute auf eine umfangreiche, über viele Jahrzehnte reichende Datengrundlage zurückgegriffen werden. So ließen sich zum Beispiel anhand von Untersuchungen der Humusaufgabe (ENDERLEIN & STEIN, 1964a), Kronenansprachen (LUX, 1965a; LUX, 1965b; LUX & STEIN, 1977; SCHULZ & HUHN, 1997) und Borkenanalysen (NIEHUS & SCHULZ, 1997) deutliche Immissionsgradienten flächen-

deckend über das Gebiet der Dübener Heide ausmachen. Ein besonders hoher Einfluss war demnach im Nordwesten der Region (um Gräfenhainichen und das dort befindliche Kraftwerk Zschornowitz) festzustellen. Doch während die negativen Auswirkungen der Schadgase (SO_2 , NO_x , NH_3) auf den Gesundheitszustand der Waldbestände nach der Reduktion der Industrieemissionen weitestgehend zurückgingen, sind die überwiegend positiven Folgen der Flugascheablagerungen aufgrund der verbesserten Nährstoffausstattung der Standorte bis heute nachweisbar (FRITZ & MAKESCHIN, 2007; FRITZ et al. 2008).

Aufgrund der nach Rückgang der basischen Einträge eingesetzten Wiederversauerung (HERPEL et al. 1995; KONOPATZKY, 1995; KONOPATZKY et al. 1995; KALBITZ et al. 1997) besteht jedoch nun zur Planung der optimalen waldbaulichen Nutzung die Herausforderung, die lang- und mittelfristige Freisetzung von Stoffen aus den abgelagerten Flugaschen unter den sich ändernden Bedingungen abzuschätzen. So berichten zum Beispiel KONOPATZKY et al. (1995), KOCH et al. (2001; 2002) und KLOSE & MAKESCHIN (2003) bereits von einem zunehmenden Verlust basischer Kationen aus den Humusaufgaben und einer Verlagerung der Aufbasungsfront in die Tiefe. Durch die sinkenden pH-Werte wird außerdem die Mobilität der zur Zeit in den aufgebasteten Auflagen vorliegenden Schwermetalle (NEUMEISTER et al. 1991; BARONIUS, 1992; NEUMEISTER & RUSKE, 1995; KALBITZ, 1996; KALBITZ et al. 1997; KLOSE et al. 2003; KLOSE & MAKESCHIN, 2004; FÜRST et al. 2007) zunehmen, was ein Gefährdungspotenzial für Pflanzen und Bodenmikroorganismen darstellt. In der vorliegenden Arbeit werden durch den Vergleich von aktuellen Messungen mit vorhandenen Altdaten und mit Hilfe neuer Freisetzungsversuche Aussagen und Prognosen über die zukünftige Entwicklung des Nährstoff- und Gefahrenpotenzials abgeleitet.

2. Material und Methoden

Standortauswahl, Probenahme

Im Untersuchungsgebiet wurden 12 Standorte ausgewählt (Tab. 1), die 90% der Fläche terrestrischer Böden der Dübener Heide abdecken (EISENHAUER & SONNEMANN, 2008) und außerdem ausgehend vom Hauptemittenten Kraftwerk Zschornowitz auf einem Nordwest-Südost gerichteten Immissionsgradienten liegen. Für detailliertere Informationen zur genauen Lage, Vegetation und Profilbeschreibung siehe FRITZ & MAKESCHIN (2007) und HARTMANN et al. (2007b).

An diesen Standorten wurden Bodenprofile angelegt und in Anlehnung an die BUND-LÄNDER AG BZE II (2006) mit Kunststoffgeräten volumenbezogen in Tiefenstufen beprobt.

Die vorliegende Arbeit ist auf die Darstellung der Ergebnisse der Auflagen (über das Auflagengewicht gewichtete Mittelwerte der Of- und Oh-Horizonte) fokussiert. Für weitere Informationen zu den einzelnen Horizonten und zum Mineralboden wird wieder auf FRITZ & MAKESCHIN (2007) verwiesen.

Probenvorbereitung, -analyse

Die Probenanalyse erfolgte gemäß dem Handbuch Forstliche Analytik (GUTACHTERAUSSCHUSS FORSTLICHE ANALYTIK, 2005) in Anlehnung an die BZE II an getrockneten (48 h bei 60°C) und gesiebten (5 mm Kunststoffsieb) Proben. Gemessen wurden jeweils der pH-Wert in KCl-Lösung und sowohl die NH_4NO_3 -extrahierbaren- als auch die Gesamtgehalte der Elemente Ca, Mg, Cd, Cu, Ni und Zn.

Tab. 1: Charakterisierung der Standorte (RSZ = Rauchsadenszone nach Lux (1965a), Entfernung = Entfernung von Zschornowitz, Bodentyp = Bodentyp nach HARTMANN (2008)).

Table 1: Characterisation of the sites (RSZ = zone of damage according to Lux (1965a), Entfernung = distance from Zschornowitz, Bodentyp = soil typ according to HARTMANN (2008)).

Standort	RSZ	Entfernung	Bodentyp	Lokalbodenform
Burgkernitz	1	4,2 km	podsolige Normbraunerde	Bärenthorener Sandbraunerde
Buchholz	1	7,9 km	reliktisch flach vergleyte	Nedlitzer Sand-Braunerde Podsol-Braunerde
Ochsenkopf-BDF	1	11,0 km	Pseudogley-Gley	tonunterlagerter Salmtieflehm-Fahlstaugley
Tornau-45	3	15,0 km	pseudovergleyte Normbraunerde	Nedlitzer Sand-Braunerde
Ochsenkopf-EU	3	15,1 km	Normpodsol	Moschwiger Sand-Rügpodsol
Eisenhammer	3	15,4 km	Podsol-Braunerde	Nedlitzer Sand-Braunerde
Torfhaus-Nord	3	29,8 km	Podsol-Braunerde	Nedlitzer Sand-Braunerde
Torfhaus-Süd	3	29,8 km	vergleyter Braunerde-Podsol	Bärenthorener Sand-Braunerde
Battaune	3	30,5 km	Podsol-Gley	Wiepersdorfer Sand-Graugley
Jagdhaus-Nord	4	30,5 km	podsolige Pseudogley-Braunerde	Nedlitzer Sand-Braunerde
Jagdhaus-Süd	4	30,7 km	Normpodsol	Stahnsdorfer Sand-Rostpodsol
Trossin	4	34,2 km	podsolige Pseudogley-Braunerde	Zahnaer Sand-Braunerde

Freisetzungsversuch

An gestörten Proben der Auflagen ausgewählter Standorte (Burgkernitz, Buchholz und Torfhaus-Nord) wurden zur Abschätzung der zeitlichen Entwicklung Freisetzungsversuche durchgeführt. Grundannahme der Versuche war, dass die Freisetzung von Stoffen aus dem Boden primär auf die mit dem Niederschlag eingebrachte Säurefracht zurückzuführen ist. Die Säurefracht nach REHFUESS (1990) ist hierbei der Frachtüberschuss an Anionen starker Säuren (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , PO_4^{3-}) gegenüber den Basen-Kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) im Niederschlag. Die Frachten der einzelnen Ionen wurden nach folgender Formel berechnet.

$$F_i = P \cdot 10^{-6} \cdot \frac{c_i \cdot z_i}{M_i}$$

F_i Säurefracht des Ions i im Niederschlag [kmol(IE)/(ha·a)]
 P Jahresniederschlag [l/(ha·a)]
 c_i Niederschlagskonzentration des Ions i [mg/l]
 z_i Wertigkeit des Ions i
 M_i Molare Masse des Ions i [g/mol]

Für die Dübener Heide beträgt die aktuelle Säurefracht unter Kiefernbeständen 0,6 kmol/(ha·a). Diese wurde berechnet aus Level II-Daten der Messstation Laußnitz, gemittelt über den Zeitraum 2000–2004.

Im Experiment wurden an 25 aufeinander folgenden Tagen die Bodenproben jeweils in 100 ml einer 0,008 M HCl-Lösung aufgeschlämmt, 24 h stehen gelassen, durch Vakuumfiltration von der Lösung abgetrennt und erneut mit 100 ml Säure versetzt. Mit Hilfe einer ICP-AES wurden in der Lösung die Konzentrationen an Ca, Mg, Cd, Cu, Ni und Zn gemessen. Unter der Bedingung, dass im Experiment auf ein Gramm eingesetzter Bodenprobe pro Zeiteinheit die gleiche Säuremenge wirken soll wie am jeweils untersuchten Waldstand-

ort, ergibt sich für jede Probe über die folgende Gleichung ein simulierter Zeitraum pro Experimentiertag. Die 25 Tage des Freisetzungsversuches decken dabei mindestens die Zeit bis 2100 ab.

$$PZ = \frac{V_L \cdot c_L}{F} \cdot \frac{AG}{E}$$

PZ Prognosezeit [a/d]
 V_L Volumen des Lösungsmittels [100 ml/d]
 c_L Konzentration des Lösungsmittels [0,008 mol/l]
 F Säurefracht im Niederschlag [0,6 kmol/(ha·a)]
 AG Auflagegewicht des Horizontes [t/ha]
 E Einwaage der Bodenprobe [g]

Durch Abzug des pro Experimentiertag freigesetzten Elementgehaltes vom bekannten aktuellen Gesamtgehalt lässt sich unter Einbezug der Prognosezeit die zukünftige zeitliche Entwicklung der Nährelement- und Schwermetallgehalte abschätzen.

Prognose der pH-Wert-Entwicklung

Die zukünftige Entwicklung der Auflagen-pH-Werte in den einzelnen Rauchsadenzonen (LUX, 1965a) wurde mit Hilfe einer exponentiellen Kurvenanpassung an vorhandene Literaturdaten und eigene pH-Messwerte abgeschätzt. Die verwendeten Literaturdaten sind in Tab. 2 zusammengestellt. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden alle darin beschriebenen Standorte den Rauchsadenzonen (LUX, 1965a) zugeordnet. Ausgehend vom aktuellen mittleren pH-Wert der emittentenfernen Auflagen (FRITZ & MAKESCHIN, 2007) und der Angabe von HEINSDORF et al. (1992), dass vor Beginn der großen Fremdstoffeinträge pH-Werte zwischen 3,2 und 3,5 vorgelegen haben, wurde für die exponentielle Anpassung der Funktionsgrenzwert auf pH 3,2 festgelegt.

Tab. 2: Datengrundlage für den Trend der zeitlichen Entwicklung der pH-Werte in den Auflagen der Dübener Heide für die verschiedenen Rauchsadenzonen von Lux (1965a).

Table 2: Database for the trend of pH-value development with time in the organic horizons of the Dübener Heide within the different zones of damage by Lux (1965a).

Probenahmejahr	Literaturquelle	mittlerer pH-Wert in den Rauchsadenzonen (LUX, 1965a)		
		1	3	4
1964*	ENDERLEIN & STEIN (1964a)	6,3	4,1	3,5
	LUX (1964)	6,7	-	3,7
1967	KÖHLER & LIEBER (1968)	5,8	4,5	3,8
1974*	LUX (1974)	6,0	-	3,7
1986	HEINSDORF et al. (1992)	4,9	-	-
1988	HERPEL et al. (1995)	5,4	3,9	3,7
1995	POPP et al. (1997)	4,5	-	-
1996*	NEBE & ZIMMERMANN (1996)	-	-	3,7
1999	KLOSE et al. (2001)	4,7	3,8	-
	KLOSE & MAKESCHIN (2003)			
2005	FRITZ & MAKESCHIN (2007)	4,5	3,4	3,2

* Probenahmejahr nicht eindeutig feststellbar

3. Ergebnisse

Aktuelle pH-Werte

Die pH_{KCl} -Werte der Auflagen (Abb. 1) schwanken von mäßig sauer bis extrem sauer in einem sehr großen Wertebereich (AG-BODEN, 2005). Sehr deutlich ist ein Anstieg der pH-Werte hin zum Kraftwerk Zschornowitz zu erkennen. Zwischen den emittentennahen und emittentenernen Standorten tritt ein pH-Wert-Unterschied von ca. 1,5 pH-Einheiten auf. Während die pH-Werte der dem Emittenten nahe gelegenen Standorte über dem 75%-Perzentil des BZE-Datenkollektives ($pH_{KCl} = 3,80$) liegen und als überdurchschnittlich hoch eingeschätzt werden müssen, weisen die weit vom Emittenten entfernten Standorte pH-Werte im Bereich des Medians ($pH_{KCl} = 3,35$) auf (BML, 1996).

Prognose der pH-Wert-Entwicklung

Abb. 2 zeigt eine kontinuierliche und exponentielle Abnahme der pH-Werte der drei untersuchten Rauschschadenszonen mit der Zeit. In den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts lagen noch klare Unterschiede bei den pH-Werten verschiedener Rauchschadenszonen (Lux, 1965a) vor. Seit dem haben sich die weiter entfernten, weniger belasteten Zonen 3 und 4 bezüglich ihrer pH-Werte sehr stark angenähert. Bis 2075 wird der pH-Wert-Unterschied zwischen den Rauchschadenszonen (Lux, 1965a) nach der hier durchgeführten Prognose maximal 0,2 pH-Einheiten betragen.

Aktuelle Nährelementvorräte

Die Gesamtvorräte der Nährelemente sind nach BML (1996) für die meisten Standorte als durchschnittlich einzuschätzen (Tab. 3). Die Werte der Standorte Burgkernitz, Buchholz, Tornau-45 und Torfhaus-Süd liegen dagegen jenseits des 75%-Perzentils. Trotz größerer Schwankungen sind die NH_4NO_3 -extrahierbaren Nährelementvorräte der Standorte Burgkernitz und Buchholz im Mittel deutlich höher als die der emittentenernen Standorte der RSZ 3 und 4 (Tab. 1). Die gemeinsame Betrachtung von Auflagen und Oberböden unterstreicht dies (FRITZ & MAKESCHIN, 2007; FRITZ et al. 2008)

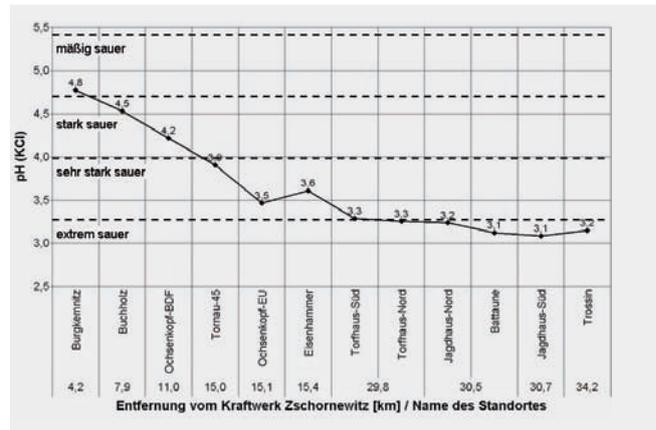


Abb. 1: pH_{KCl} -Werte in den Auflagen der untersuchten Standorte in Abhängigkeit von der Entfernung vom Kraftwerk Zschornowitz (unter Kennzeichnung der pH-Bereiche nach AG-BODEN (2005)).

Fig. 1: pH_{KCl} -value in the organic horizons of the investigated sites against the distance from power plant Zschornowitz (with labels of the pH-range after AG-BODEN (2005)).

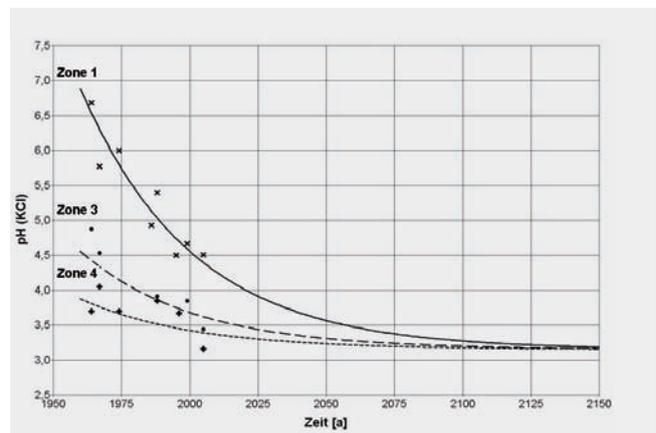


Abb. 2: Zeitliche Entwicklung der pH_{KCl} -Werte in den Auflagen der Dübener Heide für die verschiedenen Rauchschadenszonen von Lux (1965a) (Zone 1: sehr stark bis stark geschädigt, Zone 3: mäßig geschädigt, Zone 4: gering geschädigt; Datengrundlage siehe Tab. 2).

Fig. 2: Development of pH-value in the organic horizons of the Dübener Heide in different zones of damage by Lux (1965a) (Zone 1: very highly to highly affected, Zone 3: moderately affected, Zone 4: lowly affected, see Table 2 for database).

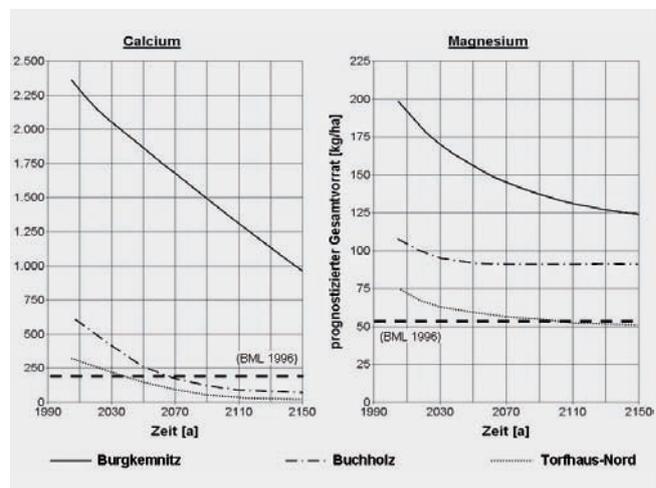


Abb. 3: Auf Grundlage der Freisetzungsvorhersagen prognostizierte Abnahme des Gesamtvorrates von Calcium und Magnesium in den Auflagen der untersuchten Standorte (unter Kennzeichnung der Hintergrundwerte nach BML (1996)).

Fig. 3: From leaching experiments prognosticated decrease of the total stocks of calcium and magnesium in the organic horizons of the investigation sites (with labels of the background level according to BML (1996)).

Tab. 3: Nährelementvorräte von Calcium und Magnesium in den Auflagen der untersuchten Standorte (mit zunehmender Entfernung vom Kraftwerk Zschornowitz (siehe Tab.1)).

Table 3: Stocks of calcium and magnesium in the organic horizons of the investigation sites (with increasing distance from power plant Zschornowitz (see Table 1)).

Vorräte in kg/ha Standort	Gesamtvorrat		NH ₄ NO ₃ -extrahierbarer Vorrat	
	Ca	Mg	Ca	Mg
Burgkernitz	2360	198	394	16
Buchholz	644	110	273	14
Ochsenkopf-BDF	337	102	169	9
Tornau-45	616	121	45	2
Ochsenkopf-EU	182	38	41	3
Eisenhammer	371	99	45	4
Torfhaus-Nord	352	72	190	18
Torfhaus-Süd	591	111	300	14
Battaune	182	55	51	5
Jagdhaus-Nord	251	80	104	11
Jagdhaus-Süd	215	52	100	8
Trossin	175	36	84	8
Hintergrundwert und 75%-Perzentil nach BML (1996)	211 357	55 105	- -	- -

Prognose der Nährelement-Entwicklung

Basierend auf den Freisetzungsversuchen ist in Abb. 3 für die Nährelemente Calcium und Magnesium die zukünftige Entwicklung der Gesamtvorräte der untersuchten Auflagen in Abhängigkeit der Zeit dargestellt.

Aus Abb. 3 ist ersichtlich, dass die Calciumvorräte von Torfhaus-Nord voraussichtlich gegen 2040, die von Buchholz gegen 2060 den Hintergrundwert aus der BZE (Tab. 3) unterschreiten werden. Anders gestaltet sich die Situation für den Standort Burgkernitz, bei dem sich bis 2100 der Calciumvorrat nicht einmal halbieren wird, was bedeutet, dass selbst das 90%-Perzentil der BZE (647 kg/ha) überschritten bleibt. Während bei Calcium nahezu der gesamte Vorrat freigesetzt werden kann, scheint ein großer Teil des Magnesiums im Experiment nicht extrahierbar zu sein. So ist für Torfhaus-Nord und Buchholz die Freisetzung bereits gegen 2070 abgeschlossen, obwohl dann noch ca. 80% des derzeit vorhandenen Magnesiumvorrates im Boden vorliegen werden. Für Burgkernitz erfolgt die Abnahme des Gesamtvorrates deutlich langsamer und ist auch nach 2100 noch nicht abgeschlossen. Die Tendenz einer immer geringeren Freisetzungsrates ist auch hier deutlich zu beobachten.

Die Magnesium-Hintergrundwerte der BZE (Tab. 3) werden für den emittententfernen Standort Torfhaus-Nord voraussichtlich gegen 2100 erreicht. Für die emittentennahen Standorte Burgkernitz und Buchholz sind die Werte dagegen zu diesem Zeitpunkt noch weit überschritten.

Aktuelle Schwermetallgehalte

In Tab. 4 sind für die untersuchten Auflagen die Gesamtgehalte sowie deren prozentuale mobilen (= NH₄NO₃-extrahierbaren) Anteile einiger ausgewählter Schwermetalle zusammengestellt. Für die Gesamtgehalte von Cadmium und Zink ist ein Gradient in Abhängigkeit der Entfernung zum Hauptemittenten festzustellen. Für Kupfer und Nickel lassen sich keine räumlichen Trends abzeichnen.

Eine Bewertung der Höhe der Schwermetallgesamtgehalte erfolgt anhand der Überschreitung der Vorsorgewerte der BBodSchV (Abb. 4). Die oben beschriebenen Gradienten für Cadmium und Zink werden hier besonders offensichtlich, wobei für alle Standorte die Vorsorgewerte für Cadmium deutlich überschritten sind, während sich überhöhte Zinkwerte auf die emittentennäheren Standorte beschränken. Auffällig ist weiterhin, dass der dem Hauptemittenten Zschornowitz am nächsten gelegene Standort Burgkernitz sämtliche Schwermetall-Vorsorgewerte überschreitet, während bereits beim nur wenig entfernten Standort Buchholz deutlich geringere Überschreitungen beobachtet werden. Ähnliche Tendenzen ergeben sich auch beim Vergleich der Daten mit Hintergrundwerten nach BML (1996).

Tab. 4: Schwermetallgehalte in den Auflagen der untersuchten Standorte (mit zunehmender Entfernung vom Kraftwerk Zschornowitz (siehe Tab.1)).

Table 4: Heavy metal content in the organic horizons of the investigated sites (with increasing distance from power plant Zschornowitz (see Table 1)).

Standort	Cd		Cu		Ni		Zn	
	mg/kg*	%**	mg/kg*	%**	mg/kg*	%**	mg/kg*	%**
Burgkernitz	1,37	1	27,8	0,1	16,7	0,7	106,3	2
Buchholz	0,87	4	13,0	0,7	8,2	1,0	70,5	6
Ochsenkopf-BDF	1,03	6	15,6	0,5	12,2	3,4	87,9	8
Tornau-45	1,21	3	20,4	0,5	10,7	1,1	80,9	3
Ochsenkopf-EU	0,61	5	16,8	0,4	6,0	2,1	29,0	9
Eisenhammer	0,79	2	31,9	0,2	11,7	1,0	54,7	3
Torfhaus-Nord	0,82	15	18,0	0,8	7,3	6,7	48,6	21
Torfhaus-Süd	0,87	14	23,6	0,8	9,5	6,7	61,9	23
Battaune	0,52	10	16,0	0,7	6,8	4,8	29,2	13
Jagdhaus-Nord	0,44	8	11,9	1,1	6,4	5,6	29,9	17
Jagdhaus-Süd	0,54	9	18,7	0,7	5,9	5,7	27,2	19
Trossin	0,54	14	18,1	0,8	8,9	5,2	47,3	22
Vorsorgewert nach BBodSchV (1999)	0,40	-	20,0	-	15,0	-	60,0	

** Schwermetallgesamtgehalte in mg/kg

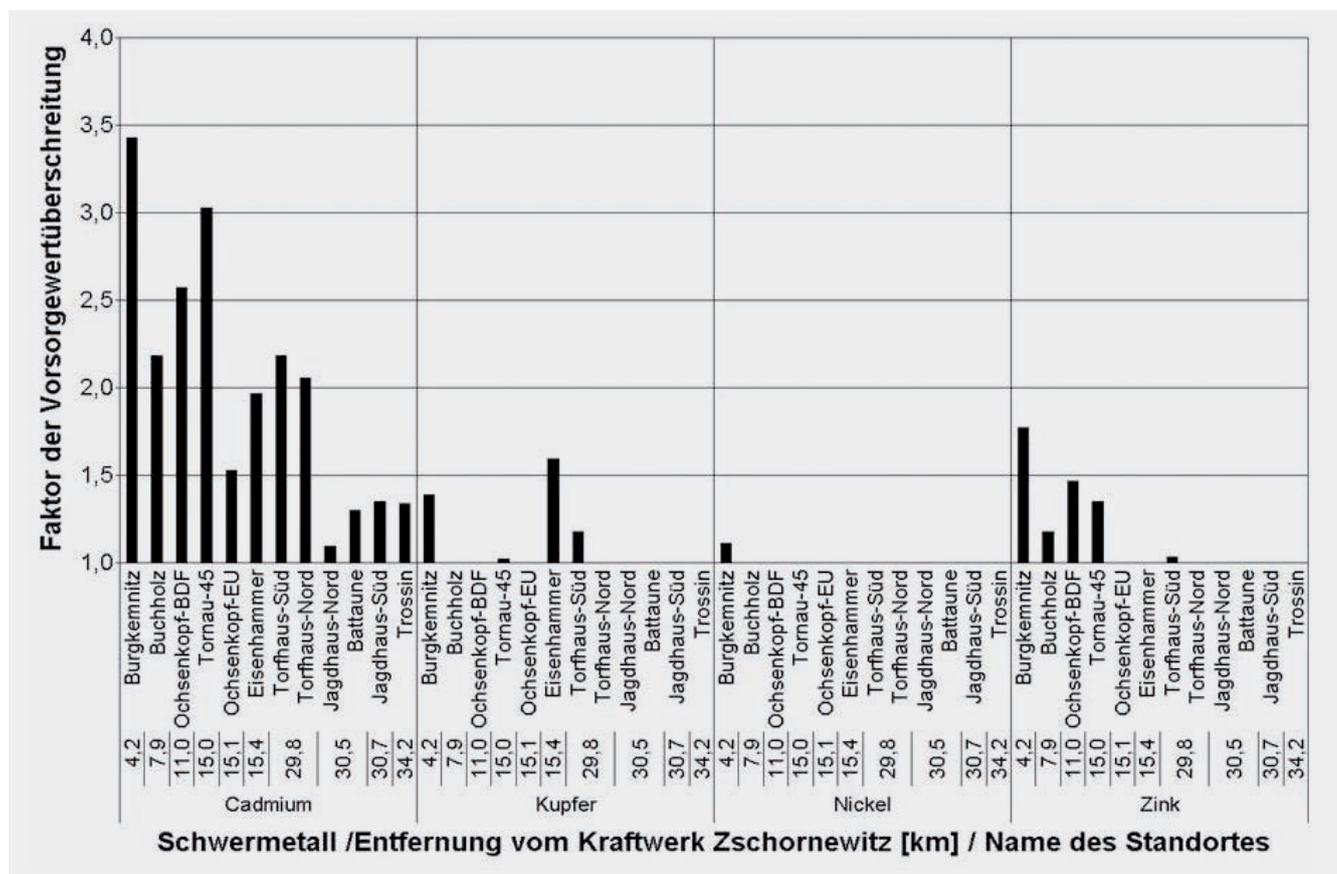
** NH₄NO₃-extrahierbarer Anteile der Gesamtgehalte in %

Abb. 4: Faktor der Vorsorgewert-Überschreitung (BBodSchV) für die Gesamtgehalte verschiedener Schwermetalle in Abhängigkeit der Entfernung zum Kraftwerk Zschornowitz.

Fig. 4: Factor of exceedance of the threshold-values (BBodSchV) for the total amounts of different heavy metals against the distance from power plant Zschornowitz.

Tab. 5: pH-abhängige Vorsorgewerte (definiert als die Obergrenze des Hintergrundwertes) und Prüfwerte von PRÜESS (1994).

Table 5: pH dependent threshold-values (defined as the upper limit of the background level) and inspection-values according to PRÜESS (1994).

mg/kg	Vorsorgewerte			Prüfwerte	
	pH < 4,0	4,0 < pH < 4,5	4,5 < pH < 5,0	Pflanzen	Mikroorganismen
Cadmium	0,08	0,05	0,02	-	-
Kupfer	0,3	0,28	0,25	2±0,4	1±0,2
Nickel	1	1	0,6	1±0,2	-
Zink	5	4	3	10±1,0	-

Weil für die mobilen Schwermetallgehalte der Waldstandorte keine Vergleichswerte nach BBodSchV (1999) vorliegen, wurden die NH_4NO_3 -extrahierbaren Gehalte mit den pH-abhängigen Vorsorge- und Prüfwerten von PRÜESS (1994) verglichen (Tab. 5)

Demnach liegen alle Kupfer- und Nickelgehalte unterhalb des Vorsorgewerte und damit im Hintergrundbereich. Die von PRÜESS (1994) erhobenen Prüfwerte für das Pflanzenwachstum und die Leistung der Mikroorganismen werden für diese beiden Metalle ebenfalls bei keinem der untersuchten Standorte überschritten.

Die mobilen Cadmium- und Zinkwerte sind dagegen als überdurchschnittlich hoch einzuschätzen. Doch während sich für Cadmium kein klarer Trend abzeichnen lässt, sind die Vorsorgewerte für Zink trotz der niedrigen Gesamtgehalte vor allem bei den emittentfernen Standorten überschritten. Auffällig ist, dass für Burgkernitz, wo für alle Metalle die Vorsorgewerte der BBodSchV für die Gesamtgehalte deut-

lich überschritten sind, keine Überschreitung bei den verfügbaren Gehalten nach PRÜESS (1994) vorliegen.

Prognose der Schwermetall-Entwicklung

Als Ergebnis der Freisetzungsversuche ist in Abb. 5 für die Schwermetalle die zukünftige Entwicklung der Gesamtgehalte in den untersuchten Auflagen in Abhängigkeit der Zeit aufgetragen.

Aus Abb. 5 kann abgeschätzt werden, wann die Gesamtgehalte der einzelnen Schwermetalle an den jeweiligen Standorten unter die Vorsorgewerte der BBodSchV fallen werden. Demnach werden bei den weniger schwermetallbelasteten Standorten Buchholz und Torfhaus-Nord 2100 die Gehalte von allen betrachteten Metallen unterhalb der Vorsorgewerte liegen. Dahingegen ist bei Burgkernitz nicht damit zu rechnen, dass bis 2100 die Gehalte ausreichend stark abnehmen, um laut BBodSchV als unbedenklich eingestuft zu werden.

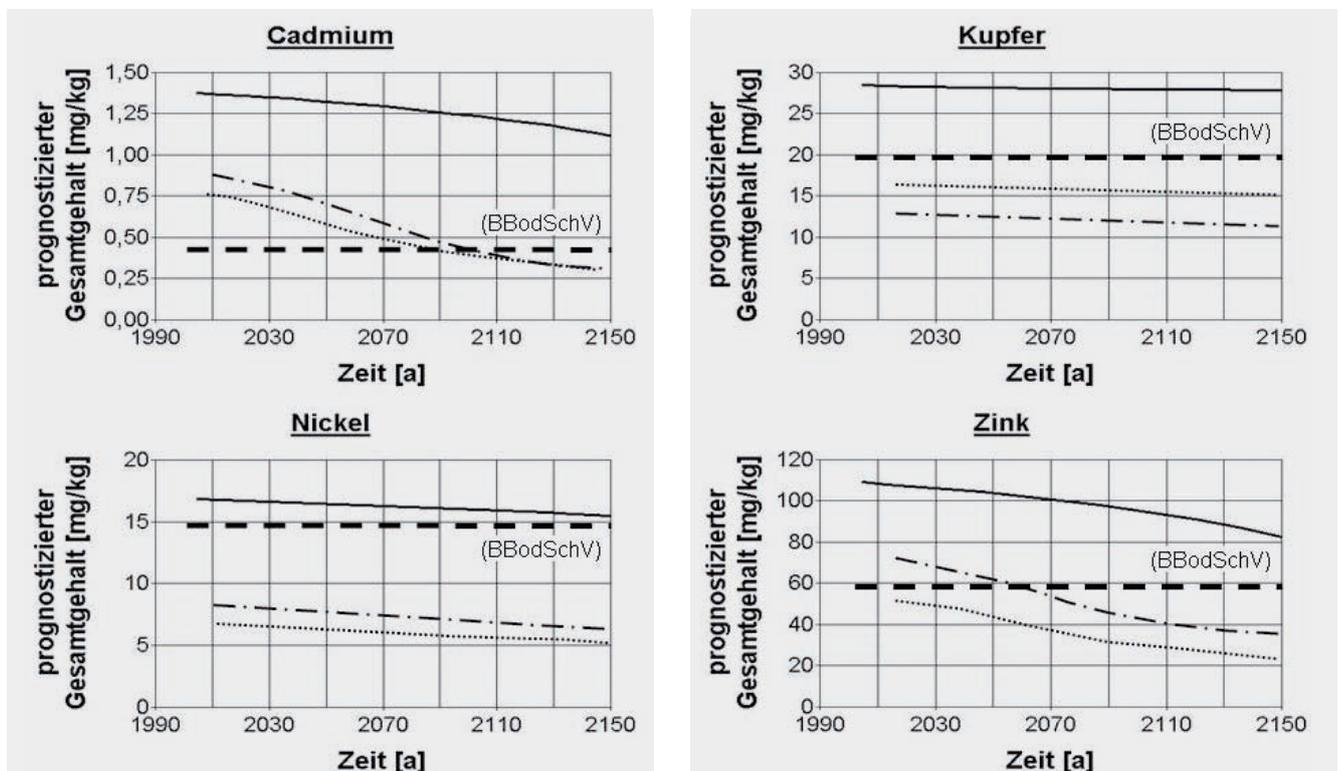


Abb. 5: Auf Grundlage der Freisetzungsversuche prognostizierte Abnahme der Schwermetallgesamtgehalte in den Auflagen der untersuchten Standorte (unter Kennzeichnung der Vorsorgewerte nach BBodSchV).

Fig. 5: From leaching experiments prognosticated decrease of the total amounts of heavy metals in the organic horizons of the investigated sites (with label of the threshold-value according to BBodSchV).

Prognose der Entwicklung mobiler Schwermetalle

In Abb. 6 ist die durch Kombination der pH-Wert-Entwicklung mit der pH-Wert-Abhängigkeit der Schwermetallmobilität (PRÜESS, 1994) erhaltene Prognose zur zeitlichen Entwicklung der Schwermetallmobilität am Beispiel der Rauchschaadenszone 1 (Lux, 1965a) dargestellt.

Während die Mobilität von Zink sehr stark und die von Cadmium und Nickel stark ansteigen, bleibt die von Kupfer über den betrachteten Zeitraum fast konstant.

Am Beispiel des Standortes Burgkernitz ist in Abb. 7 die voraussichtliche zeitliche Entwicklung der Überschreitung der mobilen Vorsorgewerte von PRÜESS (1994) für die untersuchten Schwermetalle dargestellt.

Demnach ist mit einer Überschreitung der mobilen Vorsorgewerte nach PRÜESS (1994) für Zink bereits ab ca. 2010 und für die restlichen Schwermetalle nach 2040 zu rechnen. Ab 2130 kommt es aber für Zink und Cadmium bereits wieder zu einem Abklingen der Vorsorgewertüberschreitung.

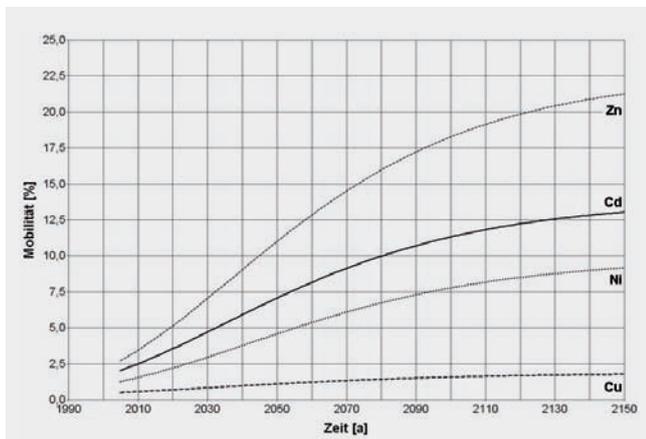


Abb. 6: Aus der zeitlichen Entwicklung der pH_{KCl}-Werte prognostizierte Entwicklung der Mobilität verschiedener Schwermetalle für die Rauchschaadenszone 1 von Lux (1965a).

Fig. 6: From pH_{KCl}-value development prognosticated trend for the mobility of different heavy metals within zone of damage 1 by Lux (1965a).

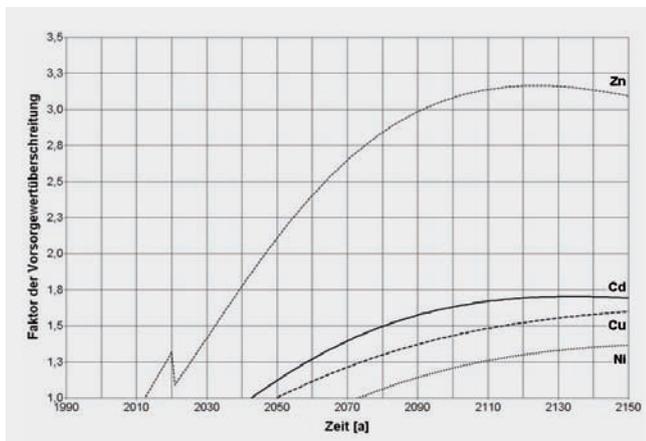


Abb. 7: Prognose zur Überschreitung der Vorsorgewerte nach PRÜESS (1994) für die mobilen Gehalte verschiedener Schwermetalle am Standort Burgkernitz.

Fig. 7: Prognosis for the exceedance of threshold-values by PRÜESS (1994) for the mobile contents of different heavy metals at the site Burgkernitz.

4. Diskussion

pH-Werte

Die nachhaltige Beeinflussung der Böden der Dübener Heide durch die Einträge industrieller Flugaschen wurde über die letzten Jahrzehnte umfangreich untersucht (siehe Kap.1). Laut KLOSE et al. (2001) können die Auflagen der beeinflussten Böden als diagnostische Horizonte zum Nachweis der atmosphärischen Einträge dienen, weil hier die indirekten Folgen der Flugascheeinträge, wie die Änderung bodenchemischer Parameter, besonders deutlich sind.

So ist die pH-Wert-Erhöhung der Auflagen in der Dübener Heide ein klares Anzeichen für die noch immer andauernde Beeinflussung der Böden durch die basische Flugasche. Aus den dargestellten Ergebnissen (Abb. 1) ist hierzu sehr deutlich ein Anstieg der pH-Werte hin zum Kraftwerk Zschornowitz zu erkennen, der auf die unterschiedlich starke Aufbausung der Standorte infolge unterschiedlich großer Flugascheeinträge zurückzuführen ist. Forstkalkung als Quelle kann dabei ausgeschlossen werden (ENDERLEIN & STEIN, 1964b; AMARELL, 1997).

Während der pH-Wert an Standorten, die weiter als 20 km vom Hauptemittenten entfernt sind, deutlich abfällt (HARTMANN et al. 2007a) und somit wieder für Wälder durchschnittliche Werte annimmt (BML, 1996), ist besonders an den emittentennahen Standorten der anhaltende Trend der bereits früher beobachtete Wiederversauerung (HERPEL et al. 1995; KONOPATZKY, 1995; KONOPATZKY et al. 1995) noch klar zu erkennen.

Auf Grundlage der erstellten Prognose zur pH-Wert-Entwicklung (Abb. 2) kann unter gleich bleibenden Umweltbedingungen davon ausgegangen werden, dass in der Rauchschaadenszone 1 (Lux, 1965a) noch bis zum Ende dieses Jahrhunderts eine weitere Versauerung der Auflagen stattfinden wird. Erst gegen 2100 werden auch die emittentennahen Standorte den typischen pH-Wert unbeeinflusster Waldböden (BML, 1996) annehmen.

Die ursprüngliche Einteilung der Dübener Heide in die verschiedenen Rauchschaadenszonen durch Lux (1965a) erfolgte anhand des Schädigungsgrades der Vegetation, war aber nach ENDERLEIN & STEIN (1964a) auch auf den Zustand der Oberböden übertragbar. Während sich die Rauchschaadenszonen (Lux, 1965a) in den 70er Jahren in ihren Auflage-pH-Werten noch klar unterschieden, sind heute die Differenzen aber deutlich geringer geworden. Eine Einteilung in mehr als zwei Schadzonen (emittentennah und emittententfern) erscheint kaum noch als sinnvoll.

Diese Ansicht wird auch von bereits an anderer Stelle veröffentlichten Messergebnissen weiterer bodenchemischer Parameter sowie statistischen Analysen gestützt (FRITZ et al. 2007; FRITZ & MAKESCHIN, 2007).

Nährelemente

Erhöhte Nährelemente sind vor allem bei den emittentennahen Standorten zu finden. Burgkernitz besitzt mit seinen knapp 2400 kg Calcium pro Hektar und knapp 200 kg Magnesium pro Hektar derzeit Nährelementvorräte, die die bun-

desdeutschen Durchschnittswerte um das 10-fache bzw. das 3-fache überschreiten.

Berücksichtigt man neben den Ergebnissen des Freisetzungsversuchs zusätzlich Nährelementverluste aufgrund von Ernteentzug (BLOCK et al. 2008), lässt sich abschätzen, dass die Calcium- und Magnesiumvorräte an diesem Standort erst in 160 bzw. 110 Jahren auf durchschnittliche Werte abgesunken sein werden (Tab.6). (Nährelementeinträge erfolgen hauptsächlich über das Niederschlagswasser und sind deshalb bereits in der potentiellen Säurefracht berücksichtigt.)

Fraglich ist allerdings, inwieweit erhöhte Magnesiumvorräte aber für die Pflanzenernährung nutzbar sind. Da sich im Freisetzungsversuch gezeigt hat, dass sich nur ca. 50–80% des Gesamtvorrates an Magnesium freisetzen lässt, ist davon auszugehen, dass ein großer Teil des Magnesiums relativ fest gebunden und damit nicht pflanzenverfügbar ist. Geht man zum Beispiel für den Standort Burgkernitz davon aus, dass sich nur ein Gesamtvorrat von ca. 100 kg/ha freisetzen lässt (Abb.3) würde sich die Zeit überdurchschnittlich hoher, nutzbarer Magnesiumvorräte auf ca. 80 Jahre verringern.

Tab. 6: Prognose über den Zeitraum überdurchschnittlich hoher Calcium- und Magnesiumvorräte am Standort Burgkernitz.

Table 6: Prognosis for the period superior of stocks of calcium and magnesium at the site Burgkernitz.

		Ca	Mg
Gesamtvorräte in Burgkernitz	[kg/ha]	2360	198
Hintergrundwerte der BZE	[kg/ha]	211	55
Differenz:	[kg/ha]	2149	143
Ernteentzug für den Bestand			
Kiefer mit Buche*	[kg/(ha·a)]	3,6	0,7
durchschnittliche Freisetzungsrage	[kg/(ha·a)]	10	0,6
Gesamtentzug:	[kg/(ha·a)]	13,6	1,3
Prognostizierter Zeitraum:	[a]	160	110

* für hohe konventionelle Nutzungsintensität nach BLOCK et al. (2008)

Schwermetalle

Die Überschreitung der Schwermetallgesamtgehalte (Abb.4) verdeutlicht, dass in Übereinstimmung mit KALBITZ (1996) nur für Cadmium und Zink ein Gradient in Abhängigkeit von der Entfernung zum Hauptemittenten festzustellen ist. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass nur diese beiden Schwermetalle in ausschlaggebenden Mengen mit den Flugaschen eingetragen wurden.

Für eine ökotoxikologische Betrachtung sind aber neben den Schwermetallgesamtgehalten vor allem die mobilen Gehalte von Bedeutung. Diese sind unter anderem abhängig von den Gesamtgehalten und der pH-abhängigen Mobilität (WONG & WONG, 1990; CARLSON & ADRIANO, 1993; ARIESE et al. 2002). So kommt es zum Beispiel auch dazu, dass am besonders flugaschebeeinflussten Standort Burgkernitz alle untersuchten Schwermetallgesamtgehalte die Vorsorgewerte der

BBodSchV überschreiten, aber aufgrund der stark aufgebaute Auflagen und der damit verbundenen geringen Schwermetallmobilität die Prüfwerte der verfügbaren Gehalte derzeit alle noch unterschritten sind. Während aber die Gesamtgehalte der untersuchten Schwermetalle über die Zeit immer weiter absinken (Abb.5) kommt es aufgrund der prognostizierten pH-Wert-Abnahme (Abb.2) besonders bei Zink und Cadmium zur Zunahme der Mobilität (Abb.6).

Für den emittentennahen Standort Burgkernitz, der zur Rauchschadenszone 1 (LUX, 1965a) gehört, wird aufgrund der hohen Schwermetallgesamtgehalte und der noch bevorstehenden starken pH-Wert-Änderung hier ein gesteigertes Gefahrenpotenzial vorliegen. Mit einer Überschreitung der mobilen Vorsorgewerte nach PRÜESS (1994) ist für Zink an diesem Standort bereits ab ca. 2010 und für die restlichen Schwermetalle nach 2040 zu rechnen. Die Vorsorgewerte stellen dabei aber nur die Obergrenze des Hintergrundbereiches dar und enthalten keine Informationen über ein Schädigungspotenzial.

Eine Überschreitung der Prüfwerte für das Pflanzenwachstum nach PRÜESS (1994) ist für Zink ab etwa 2050 und für Nickel ab 2060 zu erwarten. Allerdings besitzt Zink, welches die höhere Prüfwertüberschreitung aufweist, nur ein geringes phytotoxisches Potenzial und Nickel, welches zwar als stärker toxisch gegenüber Pflanzen zu bewerten ist, überschreitet den Prüfwert nur knapp. Trotzdem ist es für die Planung zukünftiger waldbaulicher Maßnahmen aber auf jeden Fall empfehlenswert, die Verträglichkeit der Baumarten gegenüber diesen Schwermetallen mit zu berücksichtigen, um die extrem hohen Nährstoffpotenziale an diesem Standort optimal nutzen zu können.

Freisetzungsversuche

Nach VAN GRINSVEN & VAN RIEMSDIJK (1992) sind die Ergebnisse von Batchversuchen mit aufgeschlammten Proben (kein Rühren oder Schütteln) am ehesten mit denen von Säulenversuchen vergleichbar, weil die Bodenpartikel mechanisch nicht beansprucht werden. Von Säulenversuchen selbst wurde aufgrund des Einflusses von Randeffecten und des deutlich höheren Aufwands Abstand genommen. Ein Nachteil des durchgeführten Freisetzungsversuches gegenüber Säulenversuchen besteht allerdings in der Nicht-Berücksichtigung präferentieller Fließbahnen, die vor allem beim Vorliegen trockener Böden entscheidend das Auswaschen von Stoffen beeinflussen (HARTMANN, 2008).

Die mit Hilfe der Freisetzungsversuche abgeleiteten Prognosen stellen eine Untergrenze der tatsächlich für den Elementaustag benötigten Zeit dar. Tatsächlich werden erhöhte Stoffvorräte/-gehalte über noch größere Zeiträume vorliegen, da an den Standorten unvollständige Benetzung sowie Verlagerung von Stoffen in tiefere Bodenschichten (anstelle vollständiger Auswaschung) auftreten. Außerdem wurde im Versuch angenommen, dass die gesamte Säurefracht des Niederschlags ausschließlich in den Auflagen und nicht in tieferen Schichten wirkt.

Der Freisetzungsversuch basiert auf der Annahme einer konstanten Säurefracht über den gesamten simulierten Zeit-

raum. Es kann aber nach aktuellem Kenntnisstand nicht davon ausgegangen werden, dass über einen Zeitraum von 100 Jahren gleichbleibende Umweltbedingungen vorliegen werden. Nach GOLDBERG et al. (2007) ist in der Dübener Heide bis 2100 ein Temperaturanstieg von 2 bis 3°C und eine Niederschlagsabnahme um 100 mm zu erwarten. Diese sich ändernden Standorteigenschaften werden das derzeitige Ökosystem beeinflussen, was zu Veränderungen im Bestandesbild führen wird.

Der Einfluss auf das vorgestellte Modell zur Entwicklung bodenchemischer Parameter wird dagegen gering bis vernachlässigbar sein, weil im Modell die Bilanz aus Stoffein- und -austragen für die Veränderung von Elementgehalten und pH-Werten entscheidend ist. Bei gleich bleibenden Emissionen führt eine Verringerung der Niederschlagsmenge jedoch lediglich zu einer Erhöhung der Stoffkonzentration im Niederschlag oder zur Erhöhung trockener Einträge, nicht aber zu einer signifikanten Veränderung der Stofffracht. Deshalb kann für den Prognosezeitraum von einer konstanten Säurefracht im Niederschlag ausgegangen werden. Eine Verringerung der Niederschlagsmenge führt aber zu insgesamt trockeneren Böden und damit zu einem noch stärkeren Einfluss von Benetzung und präferentieller Fließbahnen (HARTMANN, 2008), die in diesem Modell unberücksichtigt bleiben.

Danksagung

Für die finanzielle Unterstützung durch das BMBF über den Projektträger Jülich im Rahmen des Projektes Enforchange (ENVironments and FORests under CHANGing conditions, Förderkennzeichen: 0330634K) vielen Dank.

Literatur

- BBODSCHV (1999): Bundes- Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999, BGBl. I, S. 502.
- AG-BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Aufl., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart, Hannover.
- AMARELL, U. (1997): Umweltbelastungen in der Region Leipzig-Halle-Bitterfeld und deren Bewertung: Anthropogene Vegetationsveränderungen in den Kiefernforsten der Dübener Heide. In: FELDMANN, R.; HENLE, K.; AUGÉ, H.; FLACHOWSKY, J.; KLOTZ, S. & KRÖNERT, R.: Regeneration und nachhaltige Landnutzung – Konzepte für belastete Regionen. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- ARIESE, F.; SWART, K.; MORABITO, R.; BRUNORI, C.; BALZAMO, S.; SLOBODNIK, J.; KORENKOVÁ, E.; JANOSS, P.; WILDNEROVA, M.; HLAVAY, J.; POLYÁK, K.; FODOR, P.; MUNTAU, H. (2002): Leaching studies of inorganic and organic compounds from fly ash. *Int J Environ Anal Chem* 82 (11–12): 751–770.
- BARONIUS, G. (1992): Zur Ausbildung und Dynamik von Ernährungs- und Chlorosezuständen der Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) im Immissionsgebiet Dübener Heide. Unveröffentl. Dissertation, Fakultät für Bau-, Wasser- und Forstwesen, Technische Universität Dresden: 183 S.
- BLOCK, J.; SCHUCK, J.; SEIFERT, T. (2008): Einfluss unterschiedlicher Nutzungsintensitäten auf den Nährstoffhaushalt von Waldökosystemen auf Bundsandstein im Pfälzerwald. *Forst Holz* 63 (7/8): 66–70.
- BML (1996): Deutscher Waldbodenbericht 1996; Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald von 1987–1993 (BZE). Hrsg.: Bundesministerium für Ernährung Landwirtschaft und Forsten, Bonn.
- BUND-LÄNDER AG BZE II (2006): Arbeitsanleitung für die zweite bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II). Hrsg.: Bundesministerium für Verbraucherschutz Ernährung und Landwirtschaft (BMELV).
- CARLSON, C. L.; ADRIANO, D. C. (1993): Environmental impacts of coal combustion residues. *J. Environ. Qual.* 22 (2): 227–247.
- EISENHAEUER, D.-R.; SONNEMANN, S. (2008): Waldentwicklungstypen – Grundlage für die Entwicklung regionaler Waldbaurichtlinien in Sachsen. *Forst Holz* 63 (10): 12–17.
- ENDERLEIN, H.; STEIN, G. (1964a): Der Säurezustand der Humusaufgabe in den rauchgeschädigten Kiefernbeständen des Staatlichen Forstwirtschaftsbetriebes Dübener Heide. *Arch. Forstwes.* 13: 1181–1191.
- ENDERLEIN, H.; STEIN, G. (1964b): Schädigung der Kiefernwälder durch industrielle Exhalationen und sich daraus ergebene Folgerungen für den Forstschutz und den Waldbau. *Sozial. Forstwirtsch.* 14: 21–23.
- ENDERS, K. (2007): Die Entwicklung der Verunreinigung der Luft im Raum Bitterfeld/Wolfen. *Arch. Nat.schutz Land.sch.forsch.* 46 (3): 25–30.
- FRITZ, H.; ABIY, M.; FÜRST, C.; MAKESCHIN, F. (2007): Auswirkungen von Flugasche-Emissionen auf den Stoffhaushalt von Waldböden. *Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges.* 110(1): 189–190.
- FRITZ, H.; ABIY, M.; MAKESCHIN, F. (2008): Einfluss von Indus-

- triebmissionen auf bodenchemische Kennwerte in Waldböden der Dübener Heide. *Forst Holz* 63(7/8): 18–20.
- FRITZ, H.; MAKESCHIN, F. (2007): Chemische Eigenschaften flugaschebeeinflusster Böden der Dübener Heide. *Arch. Nat.schutz Landsch.forsch.* 46 (3): 105–120.
- FÜRST, C.; LORZ, C.; MAKESCHIN, F. (2007): Development of forest ecosystems after heavy deposition loads considering Dübener Heide as example-challenges for a process-oriented forest management planning. *For. Ecol. Manage.* 248(1–2): 6–16.
- GOLDBERG, V.; SURKE, M.; BERNHOFER, C. (2007): Regionalisierte Klimadaten für forstliche Anwendungen am Beispiel der Lausitz und der Dübener Heide. *Forst Holz* 62 (7): 24–27.
- GUTACHTERAUSSCHUSS FORSTLICHE ANALYTIK (2005): Handbuch Forstliche Analytik (HFA) – Eine Loseblatt-Sammlung der Analysemethoden im Forstbereich. Hrsg.: Bundesministerium für Verbraucherschutz Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL), Bonn.
- HARTMANN, K.-J.; ABIY, M.; FÜRST, C. (2007a): Bewertung und Planung – Bodenkundliche Flächeninformationen für die nördliche Dübener Heide. *Arch. Nat.schutz Landsch.forsch.* 46 (3): 65–78.
- HARTMANN, P. (2008): Bodenphysikalische Eigenschaften, Benetzbarkeiten und Wasserhaushalt von Waldböden unter Flugascheeinfluss. Unveröffentl. Dissertation, Fakultät der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel: 143 S.
- HARTMANN, P.; FLEIGE, H.; HORN, R. (2007b): Flugascheeinfluß auf Böden in der Dübener Heide – Physikalische Eigenschaften, Hydrophobie und Wasserhaushalt. *Arch. Nat.schutz Landsch.forsch.* 46 (3): 79–103.
- HEINSDORF, D.; EINERT, P.; FENNERT, A.; SCHNEIDER, R. (1992): Charakterisierung des atmosphären Fremdstoffeintrages in Kiefernökosystemen des norddeutschen Tieflandes. *Beitr. Forstwirtschaft. Landsch.ökol.* 26 (1/2): 24–29.
- HERPEL, J.; HEINZE, M.; FIEDLER, H. J. (1995): Veränderung von Boden und Vegetation in Kieferbeständen der Dübener Heide zwischen 1966 und 1990. *Arch. Nat.schutz Landsch.forsch.* 34: 17–41.
- KALBITZ, K. (1996): Untersuchungen zur Freisetzung der gelösten organischen Substanz des Bodens (DOM) und zum Einfluß der DOM auf die Mobilisierung ausgewählter Schadstoffe in Abhängigkeit von Boden- und Standorteigenschaften. *UFZ-Bericht* 23: 139 S.
- KALBITZ, K.; KNAPPE, S.; TANNEBERG, H.; KONOPATZKY, A. (1997): Umweltbelastungen in der Region Leipzig-Halle-Bitterfeld und deren Bewertung: Belastungs- und Regenerationspotenzial der Böden. In: FELDMANN, R.; HENLE, K.; AUGÉ, H.; FLACHOWSKY, J.; KLOTZ, S. & KRÖNERT, R.: *Regeneration und nachhaltige Landnutzung – Konzepte für belastete Regionen*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- KLOSE, S.; KOCH, J.; BÄUCKER, E.; MAKESCHIN, F. (2001): Indicative properties of fly-ash affected forest soils in North-eastern Germany. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 164: 561–568.
- KLOSE, S.; MAKESCHIN, F. (2003): Effects of past fly ash deposition on the forest floor humus chemistry of pine stands in Northeastern Germany. *For. Ecol. Manage.* 183 (1–3): 113–126.
- KLOSE, S.; MAKESCHIN, F. (2004): Chemical properties of forest soils along a fly-ash deposition gradient in eastern Germany. *Eur. J. For. Res.* 123 (1): 3–11.
- KLOSE, S.; WERNECKE, K. D.; MAKESCHIN, F. (2003): Microbial biomass and enzyme activities in coniferous forest soils as affected by lignite-derived deposition. *Biol. Fertil. Soils* 38 (1): 32–44.
- KOCH, J.; KLOSE, S.; MAKESCHIN, F. (2001): Bioelementverteilung und Humusmorphologie in flugaschebelasteten Oberböden der Dübener Heide. *Ber. Freibg. Forstl. Forsch.* 33: 183–192.
- KOCH, J.; KLOSE, S.; MAKESCHIN, F. (2002): Stratigraphic and Spatial Differentiation of Chemical Properties in Long-term Fly Ash Influenced Forest Soils in the Dübener Heide Region, NEGermany. *Forstwiss. Cent.bl.* 121 (4): 157–170.
- KÖHLER, S.; LIEBER, H. (1968): Zur Kartierung von Schadzonen im Rauchschadensgebiet der Dübener Heide mit Hilfe der Bodenvegetation. Unveröffentl. Ingenieurarbeit, VEB Forstprojektierung Potsdam.
- KONOPATZKY, A. (1995): Untersuchungen zum langjährigen Oberbodenzustandswandel in den Waldökosystemen der Dübener Heide. In: HÜTTL, R. F.; BELLMANN, K. & SEILER, W.: *Atmosphärensanierung und Waldökosysteme/SANA: Wissenschaftliches Begleitprogramm zur Sanierung der Atmosphäre über den neuen Bundesländern – Wirkung auf Kiefernbestände*. Umweltwissenschaften, Bd. 4, Eberhard Blottner Verlag, Taunusstein.
- KONOPATZKY, A.; KOPP, D.; HEYMANN, G.; KÖHLER, S.; KÜMMEL, G.; FREYER, C. (1995): Bodenzustandswandel forstlich genutzter Standorte des Immissionsgebietes Dübener Heide und seine Erfassung über die forstliche Boden- und Standortskartierung. *Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges.* 77: 95–124.
- LUX, H. (1964): Beiträge zur Kenntnis des Einflusses der Industrieexhalation auf die Bodenvegetation in Kiefernforsten (Dübener Heide). *Arch. Forstwes.* 13(11): 1215–1223.
- LUX, H. (1965a): Die großräumige Abgrenzung von Rauchschadenszonen im Einflußbereich des Industriegebietes um Bitterfeld. *Wiss. Z. Tech. Univ. Dresd.* 14 (2): 433–442.
- LUX, H. (1965b): „Rauchschaden-Großraumdiagnose“ – ein Verfahren zur großflächigen Erfassung und Abgrenzung von Rauchschäden in Kieferngebieten. Unveröffentl. Dissertation, Fakultät für Forstwirtschaft, Technische Universität Dresden:
- LUX, H. (1974): Zur Beeinflussung des Oberbodens von Kiefernbeständen durch basische Industriestäube. *Wiss. Z. Tech. Univ. Dresd.* 23 (3/4): 915–920.
- LUX, H.; STEIN, G. (1977): Die forstlichen Immissions-schadgebiete im Lee des Ballungsraumes Halle und Leipzig. *Hercynia* 14: 413–421.
- NEBE, W.; ZIMMERMANN, R. (1996): Führer zur standortlichen Exkursion des Institutes für Bodenkunde und Standortlehre in die Reviere Jagdhaus, Roitzsch und Spitze im Sächsischen Forstamt Falkenberg. Unveröffentl. Exkursionsführer.

- NEUMEISTER, H.; FRANKE, C.; NAGEL, C.; PEKLO, G.; ZIERRATH, G.; PEKLO, G. (1991): Immissionsbedingte Stoffeinträge aus der Luft als geomorphologischer Faktor – 100 Jahre atmosphärische Deposition im Raum Bitterfeld (Sachsen-Anhalt). *Geoökodynamik* 12: 1–40.
- NEUMEISTER, H.; PEKLO, P.; NIEHUS, B. (1997): Umweltbelastungen in der Region Leipzig-Halle-Bitterfeld und deren Bewertung: Immissionsbedingte Stoffeinträge. In: FELDMANN, R.; HENLE, K.; AUGÉ, H.; FLACHOWSKY, J.; KLOTZ, S. & KRÖNERT, R.: *Regeneration und nachhaltige Landnutzung – Konzepte für belastete Regionen*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- NEUMEISTER, H.; RUSKE, R. (1995): Immissionsgeprägte Böden der Industrieregion Bitterfeld. *Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges.* 77: 95–124.
- NIEHUS, B.; SCHULZ, H. (1997): Umweltbelastungen in der Region Leipzig-Halle-Bitterfeld und deren Bewertung: Eintrag von Fremd- und Nährstoffen in Vergangenheit und Gegenwart. In: FELDMANN, R.; HENLE, K.; AUGÉ, H.; FLACHOWSKY, J.; KLOTZ, S. & KRÖNERT, R.: *Regeneration und nachhaltige Landnutzung – Konzepte für belastete Regionen*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- POPP, P.; FEIST, B.; NIEHUS, B.; PEKLO, G.; THUSS, U. (1997): Vorkommen und Verteilung von toxisch relevanten organischen Komponenten und Schwermetallen in ausgewählten Untersuchungsgebieten. *UFZ-Bericht* 25
- PRÜESS, A. (1994): Einstufung mobiler Spurenelemente in Böden. In: ROSENKRANZ, D.; BACHMANN, G.; KÖNIG, W. & EINSELE, G.: *Bodenschutz, Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser*, 2. Band. Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- REHFUESS, K. E. (1990): *Waldböden: Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung*. Pareys Studentexte. 2. Aufl., Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin.
- SCHULZ, H.; HUHN, G. (1997): Umweltbelastungen in der Region Leipzig-Halle-Bitterfeld und deren Bewertung: Wirkung der Luftbelastung auf die Waldkiefer als dominante Baumart. In: FELDMANN, R.; HENLE, K.; AUGÉ, H.; FLACHOWSKY, J.; KLOTZ, S. & KRÖNERT, R.: *Regeneration und nachhaltige Landnutzung – Konzepte für belastete Regionen*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- VAN GRINSVEN, J. J. M.; VAN RIEMSDIJK, W. H. (1992): Evaluation of batch and column techniques to measure weathering rates in soils. *Geoderma* 52 (1–2): 41–57.
- WONG, J. W. C.; WONG, M. H. (1990): Effects of fly ash on yields and elemental composition of two vegetables, *Brassica parachinensis* and *B. chinensis*. *Agric. Ecosyst. Environ.* 30 (3–4): 251–264.

Autorenanschriften

Heiko Fritz
 Technische Universität Dresden
 Institut für Bodenkunde und Standortslehre
 Pienner Straße 19, D-01737 Tharandt
 Telefon +49 3520 338-31381
 Email heiko_fritz@gmx.de

Regionalisierung der bodenchemischen Drift in der Dübener Heide im Zeitraum 1995–2006

Upscaling of the soil-chemical drift in the Dübener Heide for period 1995 to 2006

Dietmar Zirlewagen

Abstract

Data about the soil-chemical status are an essential basis for the ecological assessment of forest management practices. The Dübener Heide is a region with a history of strong changes of environmental factors, including the soil-chemical status. Thus, there is a strong need for maps with landscape-related information about the recent ecological drift. The statistical methods used in this work for analyzing and upscaling the soil-chemical drift for period 1995 to 2006 included ordinary least square regression and validation techniques. Exemplarily for other parameters results for pH-H₂O and base saturation are shown. The regionalized soil-chemical data showed an extreme change of the soil-chemical status for the time horizon analyzed. Multiple linear regression models were able to explain 71–92% of the total variance of the measurements.

Keywords: Upscaling, regionalization, soil chemistry, base saturation

Zusammenfassung

Daten zum bodenchemischen Zustand bilden eine wesentlich Grundlage für eine ökologische Bewertung von Waldbewirtschaftungsmaßnahmen. Die Dübener Heide ist eine Region, in der in der jüngeren Vergangenheit besonders drastische Veränderungen von Umweltfaktoren stattfanden. Dies gilt in besonderem Maße für den bodenchemischen Zustand. Hier besteht ein großer Bedarf an Karten, die im Landschaftskontext Informationen zur ökologischen Drift wiedergeben. Um die bodenchemische Drift des Zeitraums 1995 bis 2006 zu analysieren und räumlich zu modellieren (regionalisieren), wurden Regressions- und Validierungstechniken eingesetzt. Beispielhaft für andere Parameter werden Ergebnisse für pH-H₂O und Basensättigung vorgestellt. Die regionalisierten bodenchemischen Daten zeigten auf der untersuchten Zeitskala eine extreme Änderung des bodenchemischen Zustandes. 71–92 % der Messwertvarianz ließen sich mithilfe multipler Regressionsmodelle erklären.

Schlüsselwörter: Upscaling, Regionalisierung, Bodenchemie, Basensättigung

1. Einleitung

Upscaling-Techniken auf der Basis statistischer Methoden, sogenannte Regionalisierungen oder Punkt-zu-Flächen-Übertragungen, erlauben die Einschätzung von Umwelteffekten forstlicher Bewirtschaftungsstrategien in Form landschaftsbezogener Szenarien (ZIRLEWAGEN & VON WILPERT 2004). Während sich seit Längerem zahlreiche Studien für landwirtschaftliche Nutzflächen finden, die sich mit der räumlichen Modellierung von Bodeneigenschaften beschäftigen (z. B. LASLETT et al. 1987, BELL & V.KEULEN 1995, BOURENANE et al. 1996, SZIBALSKI 2000, UTSET et al. 2000, TRIANTAFILIS et al. 2001, MUELLER & PIERCE 2003), fehlten noch bis zur Jahrtausendwende entsprechende Untersuchungen für Daten des forstlichen Umweltmonitorings fast völlig. Inzwischen liegen Ergebnisse zahlreicher Regionalisierungsprojekte forstlich genutzter Flächen vor (SABOROWSKI & JANSEN 2002, ZIRLEWAGEN 2003, ZIRLEWAGEN & VON WILPERT 2004, BARITZ et al. 2005, MELLERT et al. 2005, ZIRLEWAGEN et al. 2007). Sie erlauben, von einem insgesamt ausgereiften Methodenkonzept für die Regionalisierung von Parametern des forstlichen Umweltmonitorings auf unterschiedlichen Mess- und Modellskalen mithilfe statistischer Methoden sprechen zu können. In der Modellregion „Dübener Heide“ (Sachsen/Sachsen-Anhalt) konnte aufgrund der veränderten politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen verstärkt nach 1989 eine deutliche Abnahme der Immissionen und Reduktion basischer Einträge verzeichnet werden (NIEHUS 1996). Mit der Dynamik der Entwicklung Flugasche beeinflusster Böden entlang von Depositionsgradienten haben sich KOCH et al. (2002 a, b) und KLOSE & MAKESCHIN (2004) auseinandergesetzt. Eine modellhafte Erfassung und Bewertung der Veränderungen in der Industrieregion Bitterfeld auf der Fläche (Regionalisierung) fehlten aber bislang. Ein Problem bisheriger Modelle im forstlichen Umweltmonitoring ist, dass räumliche und zeitliche Aspekte meist getrennt modelliert werden. Sollen Veränderungen der Standortparameter mit Auswirkung auf die landschaftsbezogene Variation von Bodeneigenschaften modelliert werden, ist es unerlässlich, räumliche und zeitliche Eigenschaften zu verbinden. Ausschließlich räumliche Modelle versagen dann, wenn die Messwerte an den Raumpunkten Zeittrends unterworfen sind, die deren Relation zueinander auf der Zeitachse dynamisch verändern (ABRAHAM & RODDICK 1999). Vor dem Hintergrund der sich

rasch ändernden Umweltfaktoren in der Modellregion Dübener Heide sollten daher die vorhandenen statischen Konzepte zur Regionalisierung bodenchemischer Parameter um eine zeitlich-dynamische Dimension erweitert werden, um die bodenchemische Drift in dieser Region auf der Fläche erfassen und bewerten zu können. Dabei musste in Kauf genommen werden, dass nur für zwei Zeitpunkte (1995, 2006) genügend räumliche Daten zur Ableitung der bodenchemischen Zustandsänderung auf der Raum- und Zeitskala vorhanden waren. Zu den längerfristigen Einflüssen der Flugasche auf bodenchemische Eigenschaften sei auf Prozessstudien von KOCH et al. (2002 a, b), KLOSE & MAKESCHIN (2004) und FRITZ & MAKESCHIN. (2007) verwiesen.

2. Daten und Methoden

Bodenchemische Daten

Regionalisierungen wurden in dieser Arbeit auf der Basis der Daten der BZE I und der auf den Versuchsflächen des Projektverbundes ENFORCHANGE (2007) erhobenen Daten durchgeführt.

In den Jahren 1992–1997 wurde in Sachsen und Sachsen-Anhalt eine Bodenzustandserhebung im Wald (BZE I) durchgeführt (RABEN et al. 2000). Als Referenzjahr der BZE I im Gebiet der Dübener Heide wird in dieser Arbeit das Jahr 1995 angenommen. Die bei der BZE I angewandten Methoden der Geländeaufnahme und chemischen Analyse erfolgten streng nach der in den 80er Jahren von den Mitgliedern der Bund-/Länder-Arbeitsgruppe „BZE“ ausgearbeiteten Arbeitsanleitung (BML 1990), wodurch eine überregional vergleichbare und hochwertige Datenbasis erreicht werden sollte (RABEN et al. 2000). Im Rahmen des Projektverbundes ENFORCHANGE (2007) sind im Jahr 2006 in der Dübener Heide Bodenprofile an zwölf repräsentativ ausgewählten Versuchsflächen (Kriterien: Substrat, Bestockung, Immissionsgradient; FRITZ & MAKESCHIN 2007) bodenchemisch untersucht worden. Die Probenahme erfolgte tiefenstufenweise nach Arbeitsanleitung der BZE II (BMELV 2006), die bodenchemi-

sche Analyse nach den Vorgaben des Handbuchs Forstliche Analytik (BMELV 2005)

Auswahl des Datenkollektivs

Im Zuge der explorativen Datenanalyse wurden zunächst Korrelationsanalysen für den Gesamt-Datenbestand der BZE I der Dübener Heide erstellt (Kern- und Außenbereich = grüne und blaue Inventurpunkte in Abb. 1). So konnte eine relativ umfangreiche Datenbasis für statistische Analysen einbezogen werden. Ziel dieser Arbeit war aber, speziell Veränderungstendenzen im Kerngebiet der Dübener aufzuzeigen, und wenn möglich auch zu regionalisieren. Hierzu war es nötig, mit einer eingegengten Stichprobenauswahl (blaue Inventurpunkte in Abb.1) aus dem engeren Umfeld der Enforchange-Kernflächen der Dübener Heide (rote Rechtecke in Abb.1) zu arbeiten. Ein univariater Vergleich von bodenchemischen Zustandsgrößen der BZE I, geplottet gegen den (logarithmierten) Abstand der BZE-Inventurpunkte von den nordwestlich gelegenen Hauptemittenten in Zschornowitz und Bitterfeld, zeigte wesentlich straffere lineare Zusammenhänge für das Kerngebiet als für das erweiterte Gebiet der Dübener Heide (Abb. 2). Dies spiegelt die Bodenbelastung durch Luftschadstoffe in der Vergangenheit im Industrievier Halle-Leipzig-Bitterfeld wider, die bis in einer Entfernung von mindestens 25 km leewärts von Bitterfeld im Kerngebiet der Dübener Heide besonders hoch ausfällt (vgl. BARONIUS 1992, KOCH et al. 2002 b). Aus sachwissenschaftlichen Erwägungen macht es also Sinn, das BZE I Datenkollektiv auf den engeren Bereich der Dübener Heide zu begrenzen. Problematisch ist dabei der geringe Stichprobenumfang von 17 Beobachtungen, der zu gering zur Erstellung aussagekräftiger multipler Regressionsmodelle sein kann. Im Untersuchungsgebiet der Dübener Heide erwies er sich aber als noch vertretbar, d. h. ausreichend hoch, da in diesem Gebiet im Vergleich zu anderen Regionalisierungsstudien außergewöhnlich starke (hinsichtlich partiellem R² und Signifikanz) und klar interpretierbare Kovariablen (hinsichtlich möglicher Kausalität) gefunden werden konnten (siehe Kap. Ergebnisse).

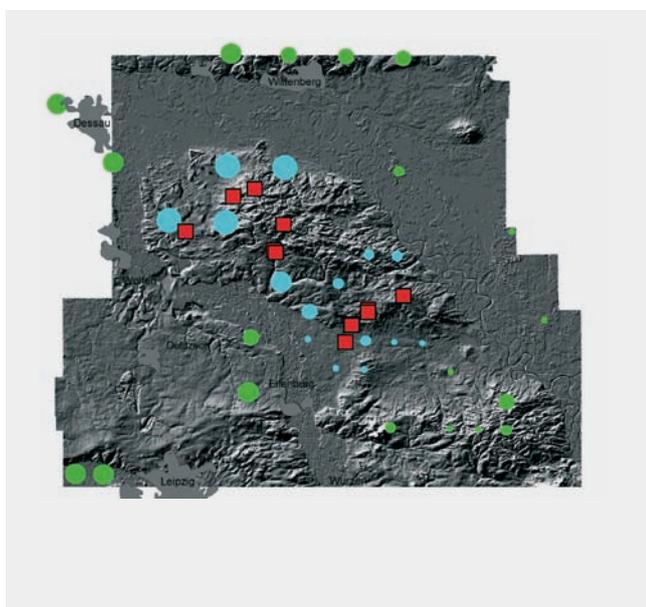
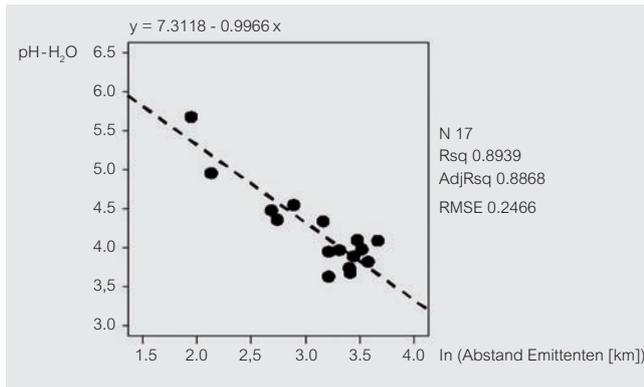


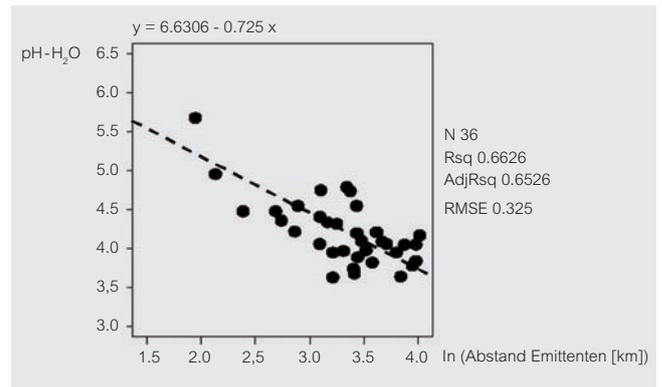
Abb. 1: Lage der Stichprobenpunkte in der Dübener Heide; rot: Beprobung in den ENFORCHANGE-Kernversuchsflächen im Jahr 2006; cyanblau: BZE I-Flächen (1995) im engeren Kern der Dübener Heide; grün: BZE I-Flächen (1995) im Außenbereich der Dübener Heide.

Fig. 1: Location of the test plots in the region Dübener Heide; red: soil samplings from the experimental plots of the ENFORCHANGE study in 2006; cyan blue: ICP Forest Level I-plots (BZE 1995) within the central area of the Dübener Heide; green: ICP Forest Level I-plots (BZE 1995) on the periphery of the Dübener Heide.





Kerngebiet, 5–10 cm Tiefe



Alle Daten, 5–10 cm Tiefe

Abb. 2: pH-H₂O-Werte der BZE I in 5–10 cm Tiefe im Verhältnis zum logarithmierten Abstand der BZE-Inventurpunkte von den Hauptemittenten in Zschornowitz und Bitterfeld für das engere Kerngebiet (links) und den erweiterten Einzugsbereich der Dübener Heide (rechts); zur Flächenabgrenzung („Kerngebiet“ vs. „alle Daten“) s. Abb. 1.

Fig. 2: pH-H₂O (BZE I-values) at 5–10 cm depth plotted against the distance from main sources of industrial emissions in Zschornowitz and Bitterfeld; left: only data from the central area; right: all data, including data from the periphery of the region Dübener Heide (cf. Fig. 1).

Regionalisierungsverfahren

Zentraler Kern einer Regionalisierung ist die Entwicklung sachlogisch begründeter Übertragungsregeln (um vom Punkt zur Fläche gelangen zu können). Die Übertragung von Messdaten auf die Landschaft ist dann möglich, wenn es in der explorativen Datenanalyse gelingt, signifikante standörtliche Einflussfaktoren auf der Plotebene zu identifizieren und diese Einflussfaktoren auf der Landschaftsebene flächendeckend digital vorhanden sind. Zur Beurteilung der Validität dieser Übertragungsregeln ist der Einsatz geeigneter statistischer Verfahren unabdingbar. Diese statistischen Verfahren stellen im Regionalisierungsprozess aber auch die wesentliche Hilfsgröße dar, um reale empirische Daten in wissenschaftliche Aussagen (wie Theorien oder Hypothesen) zu überführen (vgl. ZIRLEWAGEN & VON WILPERT 2004).

Regionalisierung der bodenchemischen Drift (1995–2006)

Die Modellierung räumlicher und zeitlicher Einflüsse auf bodenchemische Eigenschaften erfolgte in dieser Arbeit getrennt. In einem ersten Arbeitsschritt wurde die räumliche Variabilität von pH und Basensättigung der BZE I-Daten analysiert und modelliert (statistische Analyse und Modellbildung auf der Raumskala, Referenzzeitraum ~1995) und Prognosekarten im GIS berechnet. Diese Karten wurden dann mit den 12 Enforchange-Versuchsflächen verschnitten und Korrelationen zwischen den modellierten BZE I-Daten des Jahres 1995 und den bodenchemischen Messwerten des Jahres 2006 berechnet. In der explorativen Datenanalyse wurden die Abweichungen zwischen beiden Datensätzen kausalanalytisch und quantitativ analysiert. Im letzten Auswertungsschritt wurden die bei dieser Residuenanalyse abgeleiteten Algorithmen zur Regionalisierung bodenchemischer Daten in der Dübener Heide für das Jahr 2006 verwendet. Durch Gegenüberstellung der Upscaling-Ergebnisse der Jahre 1995 und 2006 ließ sich die bodenchemische Drift im Modellgebiet regionalisieren und visualisieren.

Regionalisierung bodenchemischer Daten der BZE I

Zur Regionalisierung bodenchemischer Zustandsgrößen der BZE I in der Dübener Heide wurden multiple lineare Regressionsmodelle erstellt, die möglichst weitgehend die räumliche Variation der Zielgröße (Basensättigung, pH) aufklären sollten. Konventionelle Methoden der Geostatistik (Variogrammanalyse) dienen i.d.R. nur noch der Prüfung der Unabhängigkeit und Zufallsverteilung der Residuen (ZIRLEWAGEN 2003, ZIRLEWAGEN et al. 2006). Ziel war hierbei, nur Prädiktoren zuzulassen, die in einem bodenkundlich sinnvollen Zusammenhang zu der Zielgröße stehen. (ZIRLEWAGEN & VON WILPERT 2004). Zahl und Art der bei der Modellerstellung verwendeten Prädiktoren wurden an die in der zitierten Literatur verwendeten angelehnt, wurden jedoch im Modellgebiet individuell bestimmt. Die Optimierung der Geländemodelle und die Modellgüte wurden für jedes Regionalisierungsmodell anhand der statistischen Kenngrößen Kollinearitätsindex, Toleranzindex, RMSE, R², partielles R² der ins Modell einbezogenen Prädiktoren sowie anhand der Entwicklung der statistischen Kenngrößen während der schrittweisen Anpassung des Modells dokumentiert. Ebenso wurden anhand einschlägiger statistischer Tests für die verwendeten Prädiktoren und die Zielgröße (Basensättigung, pH) die Voraussetzungen für die Bildung multipler linearer Regressionsmodelle geprüft und ggf. eine entsprechende Transformation der Daten durchgeführt. Die Güte der Regionalisierungsmodelle wurde durch eingehende Fehleranalyse überprüft. Dabei wurde auch die Autokorrelation berücksichtigt. Die Einhaltung der Voraussetzungen für die Anwendung von Regressionsanalysen wurde über grafische Auswertungen zu den Verteilungscharakteristika und Residuen sowohl für die Prädiktoren als auch das Gesamtmodell geprüft und dokumentiert.

Bodenchemische Parameter weisen häufig nichtsymmetrische, schiefe Verteilungen auf. In den verschiedenen in dieser Studie angepassten Modellen konnten durch Log-Transformierungen schiefe Verteilungen reduziert und eine an die Normalverteilung besser angepasste Verteilung erzielt werden. Zur Überprüfung wurden deskriptive Statistiken, PP-, QQ- und Boxplots verwendet. Multikollinearität wurde mit der Korrelationsmatrix, den Toleranzwerten der Regressoren sowie dem Konditionsindex überprüft. Zur Vermeidung der Überparametrisierung wurde die Anzahl Regressoren in allen Modellen begrenzt. Hierzu diente auch der schrittweise Aufbau der multiplen Regressionsmodelle im sogenannten STEPWISE-Verfahren (= schrittweiser Aufbau der Regression mit Kovariablen, Prozedur REG; SAS INSTITUTE 1999). Die Gültigkeit von Linearität und Varianzgleichheit wurde durch Residuenanalyse überprüft. Diese half zudem, Ausreißer auszumachen, die zu verzerrten Regressionsmodellen führen können. Verfahren der konventionellen Statistik und Variogrammanalysen wurden mit dem Programmpaket SAS/STAT durchgeführt (SAS INSTITUTE 1990, Release 9.1.3).

Die mit SAS berechneten Regressionskoeffizienten wurden halb automatisch in ArcView-GIS 3.3 eingelesen und zur Berechnung der Prognosekarten mit Avenue-Skripten verwendet. Alle Prognosekarten wurden in Form von ArcView-Grids erzeugt. Dadurch, dass alle wesentlichen Schritte der Modellerstellung skriptgesteuert erfolgten, konnten alternative Modelle zur Plausibilitätskontrolle zeitnah im GIS getestet bzw. auch im Nachhinein leicht überprüft werden. Die Berechnung der Prognosekarten erfolgte im 20 m-Raster, der räumlichen Auflösung des zur Verfügung stehenden digitalen Geländemodells.

3. Ergebnisse und Diskussion

Regionalisierung auf Grundlage der BZE I (~1995)

Zur Beschreibung und Modellierung der räumlichen Heterogenität von Basensättigung und pH-Wert in der Dübener Heide (BZE I-Daten) wurden multiple lineare Regressionsanalysen im Stepwise-Auswahlverfahren berechnet. Als potenzielle Regressorvariablen wurden modellierte Depositionsdaten der 90er Jahre nach GAUGER et al. (2002), Ab-

standswerte zu den Hauptemittenten, Eigenschaften des Bodens (Substrat, Vernässung etc.) und des Waldbestandes (Bestandesalter, Baumart), Niederschlagsverteilungsmuster und zahlreiche digitale Reliefeigenschaften getestet. Im Kernbereich der Dübener Heide wies der logarithmierte Abstand zu den Hauptemittenten den mit Abstand höchsten Erklärungswert für die räumliche Verteilung von Basensättigung und pH auf. Mithilfe dieser Daten ließen sich 69% – 88% der räumlichen Variabilität der Basensättigung bis 60 cm Tiefe und 67% – 81% für pH-H₂O bis 90 cm Tiefe erklären (univariates, lognormales lineares Modell). Im multiplen linearen Regressionsmodell ließen sich mit meist nur 2–3 Hilfsvariablen deutlich über 70%, meist über 80% bis 94% der Messwertvarianz von pH-H₂O (mittleres R² = 0.84) und Basensättigung (mittleres R² = 0.89) erklären (Tab. 1 u. 2). Im Vergleich zu Modellen, die an den erweiterten Datensatz der Dübener Heide (Kernbereich + Randbereich, s. Abb. 1) angepasst worden waren, lag das Bestimmtheitsmaß der multiplen Regressionsmodelle um 12 bis 15% höher (vgl. ZIRLEWAGEN 2007). Abgesehen vom (logarithmierten) Abstand zu den Hauptemittenten wurden als Regressorvariablen Niederschlagsverteilungsmuster, Hangpositionsindizes und topografische Indizes verwendet (Stream-Power-Index und Slope-Length-Factor). Letztere codieren Vernässungscharakteristika und Nährstoffakkumulationslagen in den Regionalisierungsmodellen. Sie sind aus dem digitalen Geländemodell abgeleitet worden.

Die Karten der regionalisierten Boden-pH-Werte und Basensättigungen in der Dübener Heide zeigen ein konsistentes räumliches Muster, das die besondere Bodenbelastung durch Luftschadstoffe in der Vergangenheit im Industrieviertel Halle-Leipzig-Bitterfeld widerspiegelt (Abb. 3). Flächen stark erhöhter Basensättigungen und pH-Werte, in dieser Arbeit durch Regionalisierung von BZE I-Daten Mitte der 1990er Jahre berechnet, entsprechen den Schätzungen zur Flugweite der emittierten Stäube, die von einer Entfernung von mindestens 25 km leewärts von Bitterfeld ausgehen (BARONIUS 1992). Repräsentative Untersuchungen zur Dynamik des Boden-pH, an einem Immissionsgradienten bis in 25 km Entfernung östlich von Bitterfeld erhoben, zeigten eine vergleichbare, deutliche Differenzierung bodenchemischer Eigenschaften in Abhängigkeit von der Entfernung vom Hauptemittenten (KOCH et al. 2002).

Tab. 1: Statistische Kennziffern für die Regionalisierung des pH-H₂O im Kerngebiet der Dübener Heide. P Anzahl Parameter (inkl. Interzept), FG Fehler-Freiheitsgrade, adj.R² korrigiertes Bestimmtheitsmaß, RMSE Standardschätzfehler.

Table 1: Goodness-of-fit using upscaling models for estimation of pH-H₂O in the central area of the region Dübener Heide. P number of parameters (regressors + intercept); FG error degrees of freedom; adj.R² adjusted coefficient of determination, RMSE root mean square error.

Tiefenstufe	P	FG	R ²	adj.R ²	RMSE	STD
Humusauflage	4	12	0,92	0,90	0,28	0,90
0-5 cm	4	13	0,94	0,92	0,25	0,91
5-10 cm	4	13	0,87	0,85	0,29	0,73
10-30 cm	4	13	0,84	0,81	0,30	0,67
30-60 cm	3	13	0,75	0,71	0,18	0,33
60-90 cm	2	13	0,74	0,72	0,20	0,38

Tab. 2: Statistische Kennziffern für die Regionalisierung der Basensättigung im Kerngebiet der Dübener Heide. P Anzahl Parameter (inkl. Interzept), FG Fehler-Freiheitsgrade, adj.R² korrigiertes Bestimmtheitsmaß, RMSE Standardschätzfehler.

Table 2: Goodness-of-fit using upscaling models for estimation of base saturation in the central area of the region Dübener Heide. P number of parameters (regressors+intercept); FG error degrees of freedom; adj.R² adjusted coefficient of determination, RMSE root mean square error.

Tiefenstufe	P	FG	R ²	adj.R ²	RMSE	STD
0–5 cm	4	13	0,90	0,87	0,25	0,70
5–10 cm	4	13	0,93	0,92	0,21	0,72
10–30 cm	3	14	0,92	0,91	0,22	0,73
30–60 cm	4	13	0,88	0,85	0,25	0,64
60–90 cm	5	11	0,90	0,87	0,22	0,60

Tab. 3: Standardisierte Schätzwerte für die Regionalisierung der Basensättigung in den 5 BZE-Tiefenstufen im Kerngebiet der Dübener Heide. TPI = Positionsindex, der Nachbarschaftsbeziehungen im 500 m Umkreis auswertet.

Table 3: Standardized estimates using upscaling models for estimation of base saturation in the central area of the region Dübener Heide.

Regressorvariable	Tiefenstufe				
	0–5	5–10	10–30	30–60	60–90
ln (Abstand Emittent [km])	-0,93	-0,96	-0,96	-0,59	-0,34
Hangpositionsindex	-0,25	-0,20	-0,21	-0,27	-0,17
DGM, Niederschlagsverteilung	-0,21	-0,15			
Slope Length Factor SLF					0,21
Topographic Position Index TPI				-0,47	-0,63

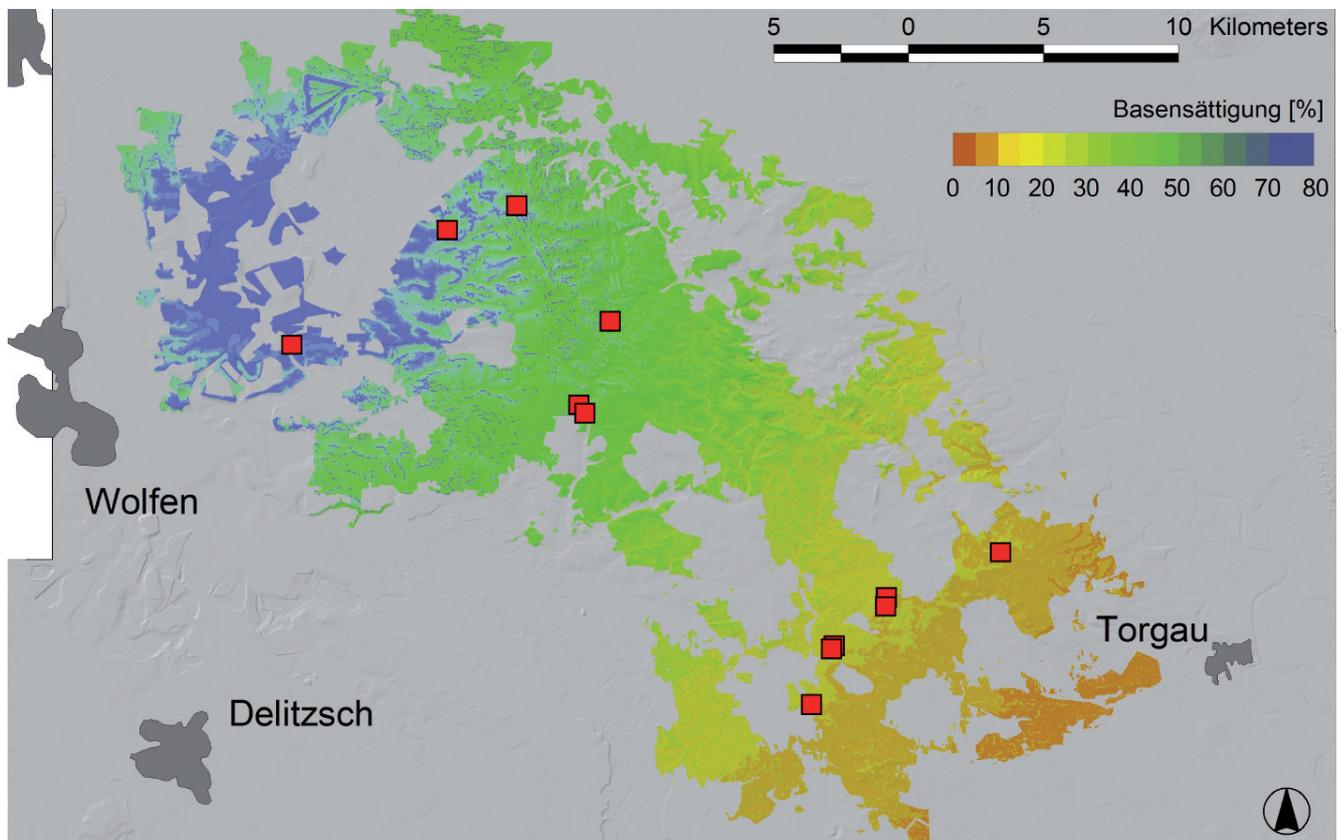


Abb. 3: Gesamtgebietsübersicht über die regionalisierte Basensättigung (Zeitbezug ~1995) im Gebiet der Dübener Heide in 10–30 cm Tiefe; rote Quadrate = Versuchsflächen.

Fig. 3: Base saturation in the Dübener Heide region spatially modelled (regionalized) at 10–30 cm depth and for the year 1995; red squares = experimental plots.

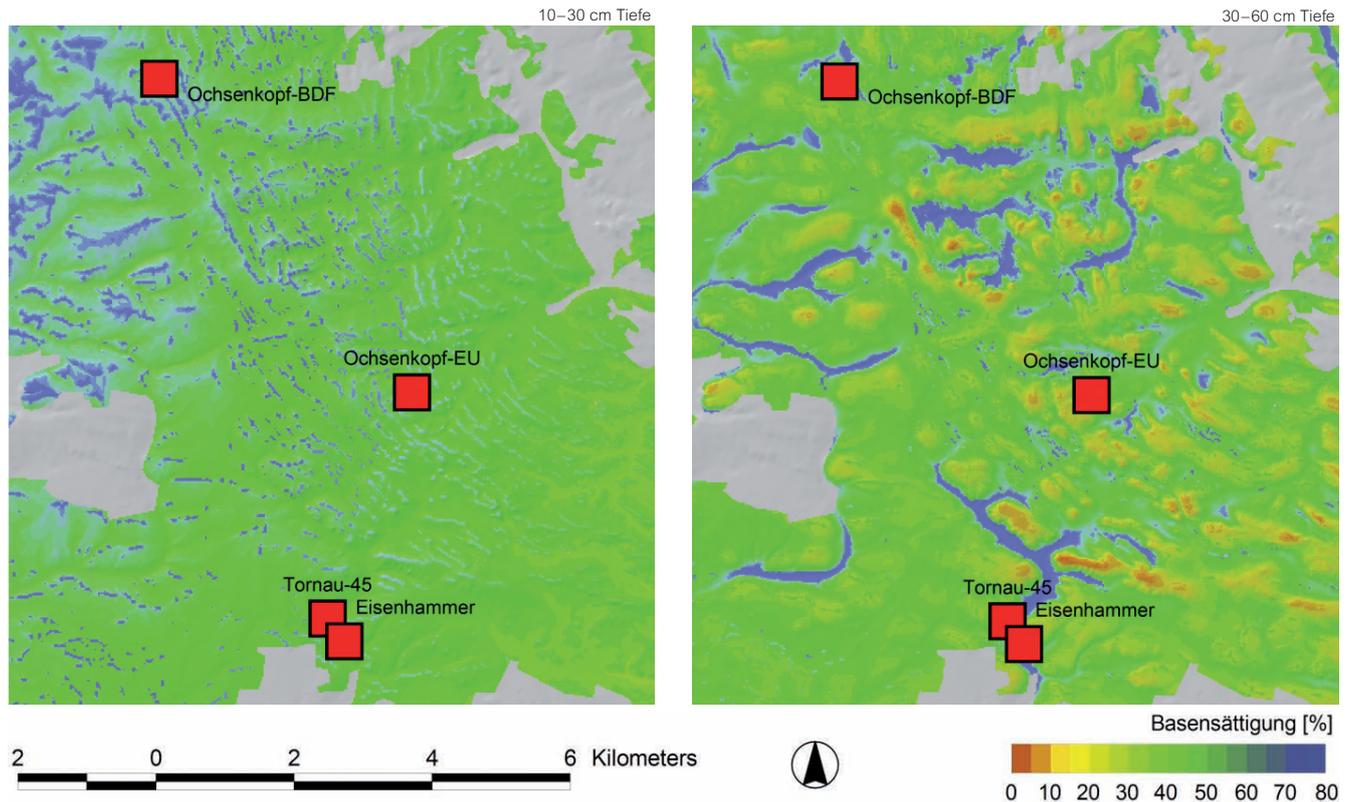


Abb. 4: Wie Abb. 3, aber andere Tiefenstufen und Gebietsausschnitt mit höherer räumlicher Auflösung zur Visualisierung topografischer Effekte der Regionalisierungsmodelle.

Fig. 4: Similar to Fig. 3, but with differing soil depths and higher spatial resolution for visualizing topographic effects of the regionalization models.

Die mathematische Grundlage der GIS-Karten in Abb. 3 und 4 wird in Tab. 3 wiedergegeben. Die standardisierten Regressionskoeffizienten in Tab. 3 geben die relativen Effektstärken der in den Regressionsgleichungen ausgewählten Regressorvariablen an. Die relative Effektstärke des Abstands zu den Hauptemittenten ist etwa um den Faktor 3 bis 6 größer als die der anderen Parameter, zumindest bis 30 cm Tiefe (standardisierte Koeffizienten $<-0,93$, Tab. 3). Für den unteren Mineralboden ab 30 cm Tiefe gewinnen dagegen andere Regressorvariablen verstärkt an Bedeutung. Einen signifikant negativen Einfluss hat bis 10 cm Tiefe auch die Meereshöhe bzw. die Niederschlagsintensität (standardisierte Koeffizienten $-0,21$, $-0,15$).

Die großmaßstäblicheren Darstellungen der regionalisierten Karten zeigen, dass das Kleinrelief der Dübener Heide einen zusätzlichen, signifikanten Einfluss auf die räumliche Variabilität von Basensättigung und pH aufweist (Abb. 4). Diese kleinräumige Differenzierung wurde in den Regressionsmodellen durch Verwendung von Reliefeigenschaften erreicht, die auch das Abflussregime der Gewässer beinhalten. Es sind dies v. a. zwei topografische Lageindizes: ein relativer Hangpositionsindex und ein Topografischer Positionsindex TPI nach JENNESS (2006). Letzterer wertete in dieser Studie Nachbarschaftsbeziehungen im 500 m-Umkreis aus. Der Hangpositionsindex wurde bei allen Modelltiefen im schrittweisen Auswahlprozess der Regressionsanalysen ausgewählt (Tab. 3). Exponierte Standorte haben einen niedrigen, Muldenlagen einen hohen Index. Ein negativer standardisierter Regressionskoeffizient ($-0,17$ bis $-0,27$; Tab. 3) führt daher, bei gleichem Abstand zu den Hauptemittenten und sonst gleichem Depositionsregime (Niederschlagsverteilung), in

exponierten Lagen zu höheren Schätzwerten der Basensättigung als in Muldenlagen. Diese statistischen Zusammenhänge lassen sich auf unterschiedliche Immissionsverhältnisse in Abhängigkeit von der topografischen Exponiertheit zurückführen. Sie gelten aber nur für den Oberboden bis 30 cm Tiefe (Abb. 4, links). Unterhalb von 30 cm Tiefe kehrt sich das Bild um (Abb. 4, rechts). Im Unterboden weisen nun Akkumulationslagen bzw. zur Vernässung neigende Standorte eine höhere Aufbasung als exponiert gelegene Standorte auf. Dieses Verteilungsmuster ergibt sich durch die Verwendung des Topografischen Positionsindex TPI, der nun zusätzlich in den Modellen auftritt. Er weist eine hohe Effektstärke auf, in 60–90 cm Tiefe sogar die höchste – und ist um Faktor 2 größer als der Abstandswert zu den Emittenten (Tab. 3). Bei dieser Hilfsvariablen haben Muldenlagen, anders als beim Hangpositionsindex, einen niedrigen Index. Negative Regressionskoeffizienten ($-0,47$ und $-0,63$, Tab. 3) führen bei dieser Regressorvariable also tendenziell zu einer Erhöhung der Schätzwerte in Akkumulationslagen im Vergleich zu exponierten Lagen. Da die relative Effektstärke des TPI ab 30 cm Tiefe größer ist als die des Hangpositionsindex (Tab. 3), ergibt sich folgendes Bild der kleinräumigen Verteilung der Basensättigung (Abb. 4): Während bis 30 cm Tiefe generell Gebiete mit erhöhter Immissionseinwirkung (Abstandswirkung zu Emittenten/Einflüsse der topografischen Exponiertheit) signifikant höhere Basensättigungen aufweisen, lässt sich im unteren Mineralboden, insbesondere ab 60 cm Tiefe, die räumliche Variabilität des Versauerungszustandes vorrangig auf Parameter zurückführen, die mit Wirkungen des Reliefs und damit verbundenen Effekten von Stoffumlagerungen in der Landschaft zusammenhängen dürften.

Regionalisierung der bodenchemischen Drift

Im nächsten Auswertungsschritt wurden die digitalen Karten der hier vorgestellten Regionalisierungsmodelle (Zeitbezug ~1995) mit den Kernflächen des Projektverbundes in der Dübener Heide verschnitten (rote Quadrate in Abb. 1 u. 3–4) und mit den aktuellen bodenchemischen Zustandsdaten dieser Flächen (Aufnahmejahr 2006) verglichen. Abb. 5 zeigt als Ergebnis, dass innerhalb einer Dekade eine extreme Abnahme der Basensättigung im Untersuchungsgebiet zu verzeichnen ist. An allen 12 Stichprobenpunkten liegt die (gemessene) Basensättigung im Jahr 2006 meist deutlich unter den geschätzten (räumlich modellierten) BZE-Daten des Jahres 1995 (1:1-Linie in Abb. 5).

Möchte man eine Erklärung für die auffallenden Unterschiede zwischen Modelldaten 1995 und Messdaten 2006 finden, ist es hilfreich, die Residuen der beiden Datensätze (also die Abweichungen von der 1:1-Linie in Abb. 5) in einer Regressionsanalyse näher zu untersuchen. Trägt man die Veränderung der Basensättigung über dem Abstand zu den Hauptemittenten im Gebiet auf, zeigt sich ein hochsignifikanter linearer Trend (Abb. 6a). Besonders starke Abnahmen der Basensättigung von über 20% im Hauptwurzelraum sind v. a. in Gebieten bis 20 km Entfernung zu den Emittenten erfolgt. Dort war in der Vergangenheit auch die intensivste Immissionseinwirkung zu verzeichnen. Dass infolge des Wegfalls früherer Flugascheeinträge und anhaltender anthropogener Säureeinträge die Prozesse der Wiederversauerung in den Gebieten, die ehemals besonders intensiv durch Immissionen geprägt worden waren, nun auch besonders stark ablaufen, war zu erwarten. Überraschend sind die Intensität der Änderungsraten im letzten Jahrzehnt und die Straffheit der Zusammenhänge, die sich in der in Abb. 5 dargestellten Art quantifizieren lassen.

Die in Abb. 5 und 6 dargestellten Modellalgorithmen lassen sich in einem letzten Schritt zu einer Validierung der Regionalisierungsergebnisse zusammenfassen. „Bereinigt“ man die Abweichungen beider Datensätze (Abb. 5) um den linearen, (und wahrscheinlich) immissions- und zeitabhängigen Versauerungstrend (Abb. 6a), stimmen die beiden Datenquellen zu 95% überein (Abb. 6b: $R^2 = 0.95$) und liegen exakt auf der 1:1-Linie. Im Vergleich zum starken Effekt der Entfernung zu den Emittenten konnten andere Hilfsvariablen (z. B. Reliefattribute) als erklärende Variablen für die beobachtete bodenchemische Drift zwischen 1995 und 2006 vernachlässigt werden. Damit ließen sich die bodenchemischen Standortveränderungen im Oberboden der Dübener Heide zum überwiegenden Teil auf Prozesse zurückführen, die in Abhängigkeit zur Emittentenentfernung der ehemaligen Schwerindustrie in der Modellregion räumlich variieren. Die hier beispielhaft für 10–30 cm Tiefe dargestellten Zusammenhänge bestehen für alle BZE-Tiefenstufen bis 30 cm Tiefe. Sie schwächen sich erst ab 30 cm Tiefe zunehmend ab. Die starken immissionsgeprägten Umweltveränderungen in der Modellregion Dübener Heide spielen sich in „Reinform“ offensichtlich vorwiegend im Oberboden ab. Im Unterboden dürften andere Standortfaktoren (wie z. B. Vernässungseigenschaften der Böden) zunehmend an Einfluss für die räumliche und zeitliche Variabilität bodenchemischer Eigen-

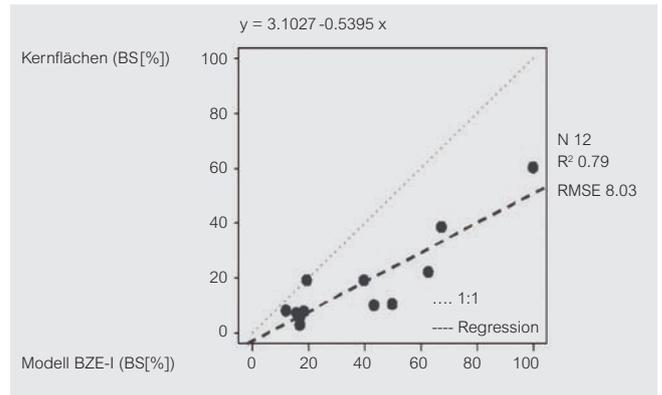


Abb. 5: Basensättigung in 10–30 cm Tiefe auf den Versuchsflächen des Projektverbundes Enforchange im Jahr 2006 im Vergleich zu BZE I-Daten von 1995 (Regressionsmodell); Abweichung von der 1:1-Linie = „Drift“ zwischen 1995 und 2006.

Fig. 5: Base saturation from samples of the ENFORCHANGE plots at 10–30 cm depth in 2006 in comparison with the BZE I-data in 1995 (regression model); deviations from the 1:1-line = “drift” between 1995 and 2006.

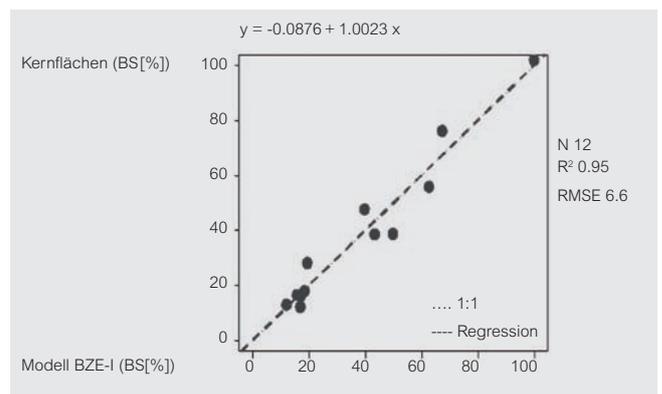
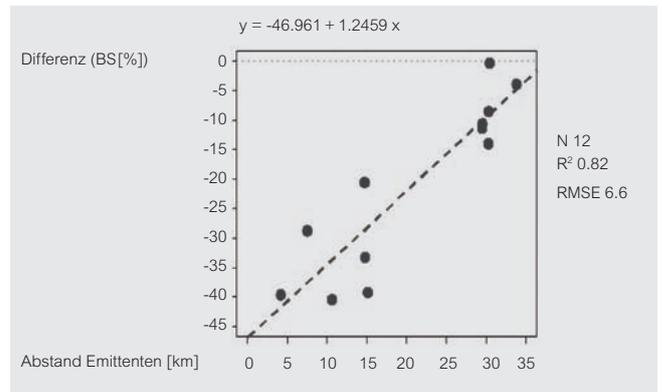


Abb. 6: Oben (Abb. 6a): Abweichungen der Basensättigung im Jahr 2006 von Werten des Jahres 1995 (= Abweichungen von der 1:1-Linie der Abb. 5), aufgetragen gegen den Abstand zu den Hauptemittenten. Unten (Abb. 6b): Validierung der Regionalisierungsergebnisse: Korrektur der Regressionsbeziehung von Abb. 5 mit der in Abb. 6a dargestellten Regression; Erläuterung s. Text.

Fig. 6: Above (Fig. 6a): Deviation of base saturation values in 2006 from those of 1995 (=deviations from the 1:1-line in Fig. 5), plotted against the distance from main sources of industrial emissions. Below (Fig. 6a): Validation of the regionalization results: correction of the regression of Fig. 5 using the regression of Figure 6a.

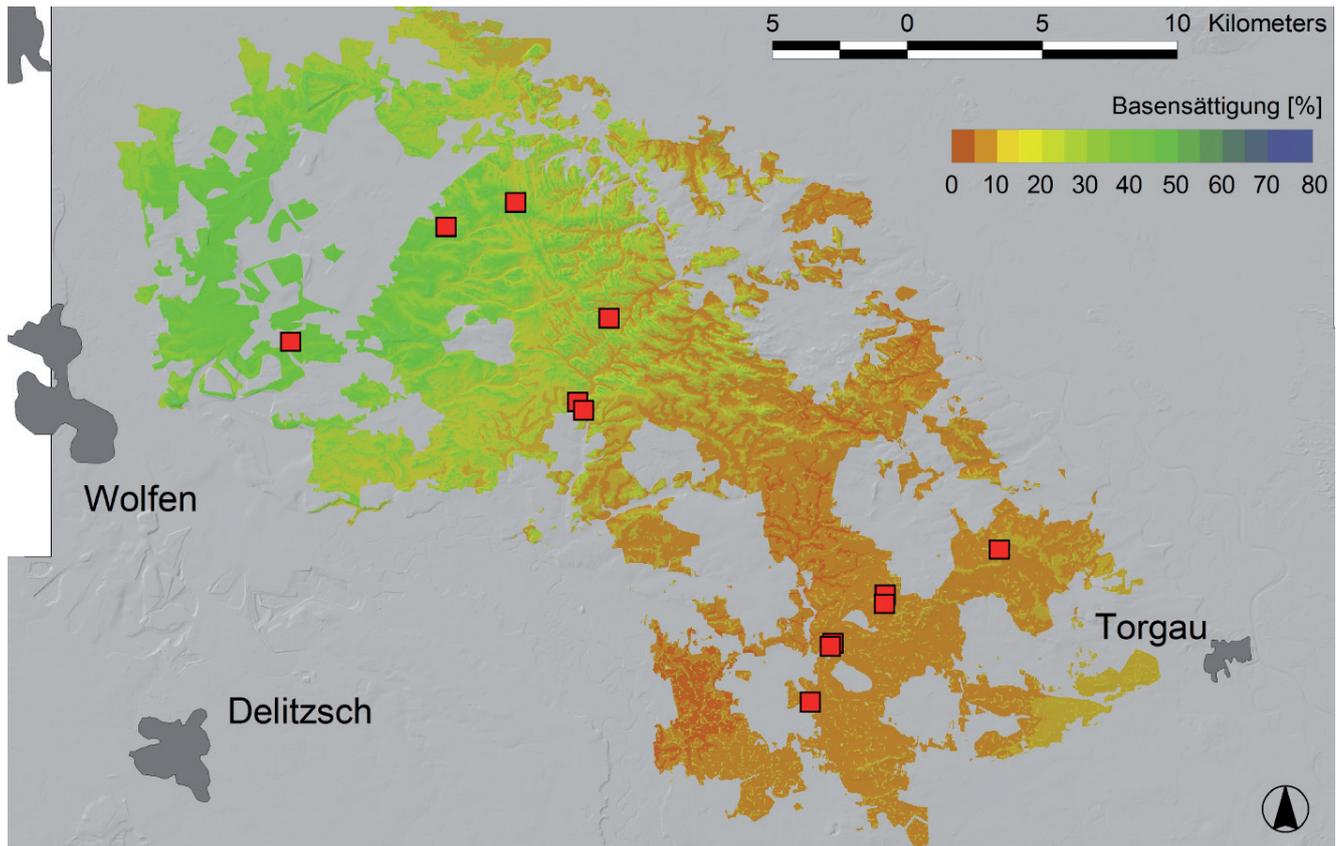


Abb. 7: Gesamtgebietsübersicht über die regionalisierte Basensättigung (Zeitbezug 2006) im Gebiet der Dübener Heide in 10–30 cm Tiefe; rote Quadrate = Versuchsflächen

Fig. 7: Base saturation in the Dübener Heide region spatially modelled (regionalized) at 10–30 cm depth and for the year 2006; red squares = experimental plots.

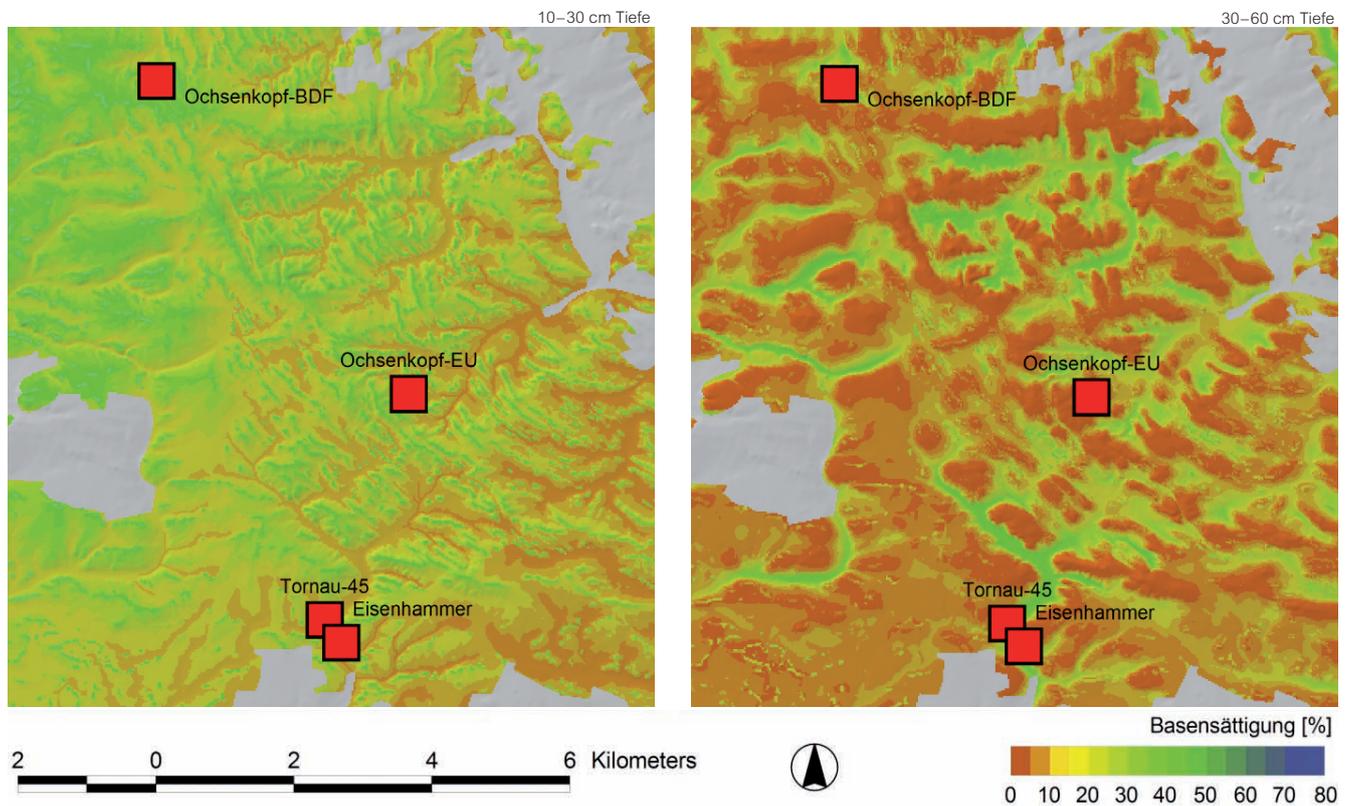


Abb. 8: Wie Abb. 6, aber andere Tiefenstufen und Gebietsausschnitt mit höherer räumlicher Auflösung zur Visualisierung topografischer Effekte der Regionalisierungsmodelle.

Fig. 8: Similar to Figure 7, but with differing soil depths and higher spatial resolution for visualizing topographic effects of the regionalization models.

schaften gewinnen. Die hier am Beispiel der Basensättigung aufgezeigten gerichteten bodenchemischen Veränderungen gelten für den Boden-pH analog.

Wie gezeigt worden ist, lassen sich Veränderungen in der bodenchemischen Ausstattung (pH, Basensättigung) zwischen 1995 und 2006 fast vollständig auf (nur) einen räumlichen Effekt zurückführen, nämlich auf die Abhängigkeit der Wiederversauerungsintensität vom Emittentenabstand. Dies gilt zumindest für die gewählten Modellskalen. Aufgrund der Straffheit der dargestellten Zusammenhänge (Abb. 5 und 6) und der anzunehmenden Kausalität ist es möglich, diese Beziehungen (bzw. die Regressionsgleichungen) zur räumlichen Schätzung des Bodenzustandes im Jahr 2006 zu verwenden: Auf Grundlage (1) der räumlichen Modelle von 1995 (Kap. 3.1) und (2) der Regressionsanalysen zur bodenchemischen Drift zwischen 1995 und 2006 in Abhängigkeit zum Emittentenabstand lassen sich durch einfache mathematische Umformungen räumliche Schätzungen von pH und Basensättigung im Jahr 2006 erstellen. Unter der Annahme der regionalen Gültigkeit der an den 12 Inventurpunkten gewonnenen Informationen zur bodenchemischen Drift (Abb. 6) zeigt Abb. 7–8 ein Beispiel für die regionalisierten bodenchemischen Zustandsmodelle im Jahr 2006. Der Vergleich von Abb. 7–8 mit Abb. 3–4 zeigt, wie stark die Wiederversauerung im Modellgebiet auf der Fläche vorangeschritten ist. Es stellt die regionalisierte Drift, d. h. die Abnahme der Neutralisation an den Kationenaustauschern in Abhängigkeit zur Emittententfernung der ehemaligen Schwerindustrie dar.

4. Schlussfolgerungen und methodischer Ausblick

Die vorliegende Arbeit zeigt einen Forschungsansatz, mit dem bislang ausschließlich punktbezogen verfügbare bodenchemische Ausgangsbedingungen und Veränderungen großräumig auf der Fläche verfügbar gemacht werden können. Aufgrund der stark eingeschränkten Messdichte auf der Raum- und Zeitskala war es nicht möglich, im Modellgebiet die räumliche und zeitliche Entwicklung bodenchemischer Daten simultan auf der Grundlage statistischer Modelle zu betrachten. MUSIO et al. (2006) und AUGUSTIN et al. (2007) zeigen anhand von Daten der terrestrischen Waldzustandserfassung statistische Ansätze, bei denen bei genügender zeitlicher und räumlicher Wiederholung der Messdaten räumliche und zeitliche Eigenschaften verbunden und gemeinsam modelliert werden können. Diese anspruchsvollen Methoden dürften aber kaum auf andere Parameter des forstlichen Umweltmonitorings übertragen werden können, insbesondere (noch) nicht auf bodenchemische Daten der BZE. Die BZE wird zwar räumlich repräsentativ mit ausreichendem Stichprobenumfang, aber (noch) zu geringer zeitlicher Wiederholung erhoben, um derzeit raum-zeitlich gemischte statistische Modelle sinnvoll anwenden zu können. Trotz dieser methodischen Einschränkungen ist es mit kreativen Individuallösungen gelungen, die bodenchemische Drift in der Dübener Heide der letzten 10–15 Jahre mit statistischen Modellen zu regionalisieren. Dabei wurden anhand sachwissenschaftlich begründeter Hypothesen zum Kausalhintergrund räumlicher Messwertvarianz Inventurdaten mit vorausgewählten Informationen (unabhängigen Hilfsvariablen) korreliert. Neben den in dieser Arbeit dargestellten Vali-

dierungsansätzen ergeben sich weitere Validierungsmöglichkeiten, sobald die bodenchemischen Analysen der BZE II vorliegen. Dann ist eine Validierung der regionalisierten Drift mit einem unabhängigen Datenkollektiv möglich.

Diese Arbeit gibt ein Beispiel dafür, dass sich auch mit einfachen Modellen räumlich und zeitlich komplexe Systeme adäquat darstellen lassen (STRAYER et al. 2003). Auf den alternativen möglichen Einsatz prozessorientierter Bodenmodelle wurde zugunsten statistischer Methoden bewusst verzichtet, da bei den prozessorientierten Bodenmodellen vor dem Hintergrund der dort erreichten Modellkomplexität das Risiko falsch parametrisierter Prozesse als nicht unerheblich zu bewerten ist (WENKEL & SCHULZ 1999).

Literatur

- ABRAHAM, T.; RODDICK, J.F. (1999): Survey of Spatio-Temporal Databases. *Geoinformatica* 3: 61–69.
- AUGUSTIN, N.; LANG, S.; MUISO, M.; VON WILPERT, K. (2007): A spatial model for the needle losses of pine trees in the forests of Baden-Württemberg: An application of Bayesian structured additive regression. *Applied Statistics (Journal of the Royal Statistical Society, Series C)* 56: 29–50.
- BARITZ, R., ROVIRA, P., ROMANYA, J., ERLANDSSON, M., VAN RANST, E., ZIRLEWAGEN, D. (2005): Validated, representative soil carbon profiles under forest vegetation. Part I Final Report for Deliverable 3.1, Multi-source inventory methods for quantifying carbon stocks and stock changes in European forests (CarboInvent), 44 S.
- BARONIUS, G. (1992): Zur Ausbildung und Dynamik von Ernährungs- und Chlorosezuständen der Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) im Immissionsgebiet Dübener Heide. TU Dresden.
- BELL, M.A.; VAN KEULEN, H. (1995): Soil Pedotransfer Functions for Four Mexican Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 865–871.
- BMELVBUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (2005): Handbuch Forstliche Analytik (HFA) – eine Loseblatt-Sammlung der Analysemethoden im Forstbereich.
- BMELVBUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (2006): Arbeitsanleitung für die zweite bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II).
- BML BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (1990): Bund-/Länderarbeitsgruppe BZE: Bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE, Arbeitsanleitung).
- BOURENNANE, H.; KING, D.; CHÉRY, P.; BRUAND, A. (1996): Improving the kriging of a soil variable using slope gradient as external drift. *Eur. J. Soil Sci.* 47: 473–483.
- ENFORCHANGE (Hrsg., 2007): Enforchange – Wälder von heute für eine Umwelt von morgen. Statusbericht 2007.
- FRITZ, H.; MAKESCHIN, F. (2007): Bodenprozesse. In: Enforchange (ed.): Enforchange – Wälder von heute für eine Umwelt von morgen. Statusbericht 2007, 25–36.
- GAUGER, TH.; ANSHELM, F.; SCHUSTER, H.; DRAAIJERS, G.P.J.; BLEEKER, A.; ERISMAN, J.W.; VERMEULEN, A.T.; NAGEL, H.-D.

- (2002): Kartierung ökosystembezogener Langzeittrends atmosphärischer Stoffeinträge und Luftschadstoffkonzentrationen in Deutschland und deren Vergleich mit Critical Loads und Critical Levels. Forschungsvorhaben im Auftrag des BMU/UBA, FE-Nr. 29942210. Institut für Navigation, Universität Stuttgart.
- JENNESS, J. (2006): Topographic Position Index (tpi_jen.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.3a. Jenness Enterprises (<http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>.)
- KOCH, J.; KLOSE, S.; MAKESCHIN, F. (2002a): Long-term effect of fly ash accumulation on soil chemical properties, 3rd International Conference on Water Resources and Environment Research, TU Dresden.
- KOCH, J.; KLOSE, S.; MAKESCHIN, F. (2002b): Stratigraphic and Spatial Differentiation of Chemical Properties in Long-term Fly Ash Influenced Forest Soils in the Dübener Heide Region, NE-Germany. *Forstw. Cbl.* 121: 157–170.
- KLOSE, S., MAKESCHIN, F. (2004): Chemical properties of forest soils along a fly-ash deposition gradient in eastern Germany. *Eur. J. Forest Res.* 123: 3–11.
- LASLETT, G.M.; McBRATNEY, A.B.; PAHL, P.J.; HUTCHINSON, M.F. (1987): Comparison of several spatial prediction methods for soil pH. *Journal of Soil Science* 38: 325–341.
- MELLERT K.H., GENSIO, A., GÖTTLEIN, A., KÖLLING, C. (2005): Risiko erhöhter Nitratkonzentrationen unter Wald in Bayern – Regionalisierung von Inventurergebnissen aus dem Raster der BZE I. *Waldoekologie online* 2: 4–24.
- MUELLER, T.G.; PIERCE, F.J. (2003): Soil Carbon Maps: Enhancing Spatial Estimates with Simple Terrain Attributes at Multiple Scales. *Soil Sci. soc. Am. J.* 67: 258–267.
- MUSIO, M.; VON WILPERT, K.; AUGUSTIN, N. (2006): Crown condition as a function of soil, site and tree characteristics. *Eur. J. Forest Res.* 126: 91–100.
- NIEHUS, B. (1996): Untersuchungen zur Deposition luftgetragener Stoffe in der Dübener Heide, Regeneration hochbelasteter Ökosysteme (Landschaften) für eine nachhaltige Landnutzung – der Ballungsraum Leipzig-Halle-Bitterfeld als Modellregion. Abschlussbericht REGNAL, Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle.
- RABEN, G.; ANDREA, H.; KARST, H.; SYMOSSEK, F.; LEUBE, F. (2000): Bodenzustandserhebung (BZE) in den sächsischen Wäldern (1992-1997). Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten 20.
- SABOROWSKI, J.; JANSEN, M. (2002) Statistical methods for regionalization of ecological state variables. In: JANSEN, M.; JUDAS, M.; SABOROWSKI, J. (eds.) *Spatial modelling in Forest Ecology and Management*. Springer, 19–26.
- SAS INSTITUTE INC. (1990): SAS/STAT User's Guide. Volume 2, Version 6, fourth edition. Cary, North Carolina.
- SAS INSTITUTE INC. (1999): SAS/OnlineDoc: Version eight. Cary, North Carolina.
- STRAYER, D.L.; EWING, H.A., BIGELOW, S. (2003): What kind of spatial and temporal details are required in models of heterogeneous systems? *Oikos* 102: 654–662.
- SZIBALSKI, M. (2000): Großmaßstäbliche Regionalisierung labiler Bodenkennwerte in standörtlich hochdiversen Kulturlandschaften. Diss. Univ. Gießen.
- UTSET, A.; LÓPEZ, T.; DÍAZ, M. (2000): A comparison of soil maps, kriging and a combined method for spatially predicting bulk density and field capacity of ferralsols in the Havana-Matanzas Plain. *Geoderma* 96: 199–213.
- TRIANAFILIS, J.; ODEH, I.O.A.; McBRATNEY, A.B. (2001): Five Geostatistical Models to Predict Soil Salinity from Electromagnetic Induction Data Across Irrigated Cotton. *Soil Sci. soc. Am. J.* 65: 869–878.
- WENKEL, K.-O.; SCHULZ, A. (1999): Vom Punkt zur Fläche - das Skalierungs- bzw. Regionalisierungsproblem aus der Sicht der Landschaftsmodellierung. In: STEINHARDT, U.; VOLK, M. (eds.) *Regionalisierung in der Landschaftsökologie. Forschung - Planung - Praxis*. Teubner, 19–40.
- ZIRLEWAGEN, D. (2003): Regionalisierung bodenchemischer Eigenschaften in topographisch stark gegliederten Waldlandschaften. Schriftenreihe Freiburger Forstliche Forschung 19, Diss. Univ. Freiburg i. Br.
- ZIRLEWAGEN, D. (2007): Regionalisierung. In: Enforchange (ed.): *Enforchange – Wälder von heute für eine Umwelt von morgen. Statusbericht 2007*, 63–74.
- ZIRLEWAGEN, D.; VON WILPERT, K. (2004): Using model scenarios to predict and evaluate forest management impacts on soil base saturation at landscape level. *Eur. J. Forest Res.* 123: 269–282.
- ZIRLEWAGEN, D.; RABEN, G.; WEISE, M. (2007): Zoning of forest health conditions based on a set of soil, topographic and vegetation parameters. *For. Ecol. Manage.* 248: 43–55.

Autorenanschriften

Dietmar Zirlewagen

Interra, Büro für Umweltmonitoring

St.-Peter-Straße 30, D-79341 Kenzingen

Telefon +49 7644-930539

Email d.zirlewagen@interra.bizwww.interra.biz

Raum-Zeitmuster von Stoffflüssen im Boden: Verbindung von Sickerwasserchemie und Bodenfestphase

Spatio-temporal patterns of matter fluxes in soils: linkage between soil solution and soil solid phase

Dietmar Zirlewagen, Klaus von Wilpert

Abstract

Time and space dependent maps of cation concentrations of the soil solution have been derived from seasonally adjusted time series data of the soil solution chemistry and regionalized exchangeable cation percentages. For this analysis we used both, statistical methods (ordinary least square regression and validation techniques) and process-oriented methods (Gapon equations). The methods tested at watershed scale showed steady functions of selectivity coefficients and should also be suitable for ICP Forest evaluations (Level I/II). But they are restricted more or less to acidic soils and should not be used in soil layers rich in humus, since adsorption to C-compounds differs from adsorption to clay minerals. The time increments of the models should be not shorter than yearly in order to suppress annual periodicity.

Keywords: Upscaling, regionalization, soil chemistry, Gapon coefficient

Zusammenfassung

Raum-Zeitmuster von Kationenkonzentrationen in der Bodenlösung wurden durch Verknüpfung von Zeitreihendaten der Bodenlösungsschemie und regionalisierten Kationensättigungen der Bodenfestphase berechnet. Hierfür wurden statistische Verfahren (Regression, Zeitreihenanalyse) und prozessorientierte Methoden (Gapon-Funktionen) eingesetzt. Die auf der Skala eines Kleineinzugsgebietes getesteten Methoden ergaben stabile Funktionen der Selektivitätskoeffizienten und sollten sich auch für Auswertungen im Rahmen des ICP Forest (Level I/II) sinnvoll einsetzen lassen. Die verwendeten QI-Beziehungen beschränken deren Anwendung allerdings auf den Mineralboden, und dort auch nur auf Bereiche mehr oder weniger stark saurer Bodenreaktion. Dabei sollte die zeitliche Auflösung der Modelle bei maximal einem Jahr liegen.

Schlüsselwörter: Upscaling, Regionalisierung, Bodenchemie, Gapon-Koeffizient

1. Einleitung

Daten im forstlichen Umweltmonitoring werden in unterschiedlichen Raum- und Zeitdimensionen erhoben. Von grundsätz-

licher Bedeutung für die Entwicklung von Problemlösungen bei der Interpretation und Modellierung dieser Daten ist es, die vielfältigen Verknüpfungen zur Raum- und Zeitskala in Betracht zu ziehen und ein Verständnis für stochastische Prozesse in Raum und Zeit zu entwickeln. Da gerade Wald-ökosysteme sowohl zeitlich als auch räumlich sehr heterogen sind, ist der Zugang zu einem vertiefenden System- und Modellverständnis erschwert. Bisherige Konzepte für die Regionalisierung von Bodeneigenschaften in Wäldern waren im Wesentlichen auf die Punkt-/Flächenübertragung des Ist-Zustandes zum Zeitpunkt der Bodeninventur ausgerichtet. Dies trifft auch auf die mithilfe von multiplen Regressionsmodellen mögliche Berechnung von Landschaftsszenarien zu, wie sie bei der Regionalisierung bodenchemischer Daten z. B. für den Schwarzwald und Sachsen vorgestellt wurden (ZIRLEWAGEN 2003, ZIRLEWAGEN & VON WILPERT 2004, ZIRLEWAGEN et al. 2007). Die Gültigkeit solcher Szenarien ist durch den Zeithorizont der Bodeninventur bestimmt und die Umweltfaktoren, die zum Zeitpunkt der Bodeninventur die Bodeneigenschaften beeinflussten. Es handelt sich also um statische, auf den Zustand zum Zeitpunkt der Inventur abzielende Konzepte.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, für bodenchemische Kenngrößen Methoden zur Erweiterung der bestehenden statischen Regionalisierungskonzepte um eine zeitlich-dynamische Dimension zu entwickeln. Dieses Vorhaben kann nicht mit Standardlösungen der Statistik bearbeitet werden. Ein Problem grundsätzlicher Art, das schon bei Modellen mit raum-zeitlich getrenntem Skalenbezug auftritt, zeigt sich um so mehr bei raum-zeitlich kombinierten Modellen: Welche räumlichen und zeitlichen Details werden in Modellen zur Beschreibung raum-zeitlich heterogener Systeme überhaupt benötigt? Trotz der Existenz räumlicher und zeitlicher Heterogenität in Waldökosystemen ist es nicht immer notwendig, diese Heterogenität auch in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung in systembeschreibende Modelle aufzunehmen. Häufig lassen sich auch mit einfachen Modellen räumlich und zeitlich komplexe Systeme adäquat darstellen, z. B., wenn Heterogenität im Vergleich zur Messskala v. a. auf Skalen höherer Auflösung auftritt, eine geringe Modellpräzision ausreichend ist oder empirische Ansätze zur Anpassung von Funktionen angewandt werden (STRAYER et al. 2003). Die im folgenden beschriebenen Methoden basieren auf einer Kombination von statistischen und prozessorien-

tierten Ansätzen, wobei bekanntes Wissen aus dem Bereich der Quantitäts-Intensitätsbeziehungen (QI) austauschbarer Kationen (Gapon 1933) eingesetzt wird. Da hierfür eine möglichst breite Datenbasis zur Bodenfest- und Bodenlösungsphase Voraussetzung ist und die Fragestellung Pilotcharakter hat, wurden die Methoden anhand von Daten der Ökosystemfallstudie Conventwald entwickelt und getestet. Hier sind sowohl auf der Zeit- als auch Raumskala umfangreiche bodenchemische Datensätze vorhanden.

Die hier vorgestellte Studie zielt darauf ab, den Nutzen von Kationen-Austauschkoeffizienten für die Übertragung von Zeittrends der im Feldversuch gemessenen Bodenlösungschemie auf flächenrepräsentative Daten der Bodenfestphase zu untersuchen. Im Gegensatz zur traditionellen Vorgehensweise wurden nur Koeffizienten verwendet, die an Felddaten angepasst wurden, also auf Ungleichgewichts-Beziehungen basierten. Bisherige Studien verwendeten Austauschlösungen im Quasi-Gleichgewicht des Sorptionsprozesses zwischen Kationen in gelöster und sorbierter Phase, was nur unter Laborbedingungen erreichbar ist. Eine wichtige Fragestellung dieser Arbeit war daher, ob die berechneten Austauschoeffizienten dennoch stabil genug sein würden, um verwertbare Modellergebnisse über Raum-Zeitmuster von Stoffflüssen im Boden zu liefern.

2. Modellentwicklungen

Untersuchungsgebiet

Das Gebiet der Ökosystemfallstudie Conventwald liegt in Baden-Württemberg (48°1' N, 7°58' W, 700–860 m N. N., Jahresniederschlag 1400 mm, Jahresmitteltemperatur 6,6°C, Ausgangsgestein dunkler Paragneis, Böden mit tiefgründig verwitterten und mäßig versauerten Braunerden). Die Studie wurde in dem 9,3 ha großen Wassereinzugsgebiet durchgeführt, in dem ein 160 Jahre alter Buchen-Tannen-Fichten-Mischbestand aufstockt (Abb. 1a). Andere Untersuchungsvarianten (v. a. Fichten- und Buchen-Reinbestände) weisen vergleichbare Standortsbedingungen auf. Zur Instrumentierung, Messeinrichtung und Berechnung von Wasserhaushaltsmodellen siehe von WILPERT et al. (2000) und ZIRLEWAGEN & VON WILPERT (2001).

Regionalisierung Bodenfestphase

Im Jahr 2006 wurde im Wassereinzugsgebiet die Bodenfestphase in vier Tiefenstufen (0–10 cm, 10–30 cm, 30–60 und 60–90 cm) auf der Basis eines systematischen 40 x 40-m-Rasters mit 56 Stichprobenpunkten (Abb. 2a) und eines vereinfachten Aufnahmeverfahrens nach Standardmethodik des ICP Forest untersucht (BML 1990). Karten der Kationensättigungen (Al, Fe, H, Mn, Mg, Ca, K, Na) und Basensättigungen wurden mit Standard-Regionalisierungsverfahren erstellt (ZIRLEWAGEN & VON WILPERT 2004; ZIRLEWAGEN et al. 2007). Dabei wird in einem ersten Schritt eine Regression zwischen der (in dieser Studie logarithmierten) Zielvariablen und einer oder mehrerer Kovariablen für eine Vorhersage durchgeführt (schrittweise multiple lineare Regressionsana-

lyse). Die räumliche Verteilung der Zielvariablen wird auf die räumliche Verteilung von Prädiktorvariablen zurückgeführt, ohne dass zunächst vorhandene Nachbarschaftsbeziehungen bei der Lage der Messpunkte Berücksichtigung finden würden. Das Ergebnis geht schließlich in das Ordinary Kriging ein, um eine räumliche Abschätzung für die Residuen zu erhalten. Dies ist aber nur dann notwendig, wenn räumliche Beziehungen zwischen den Residuen bestehen, was in dieser Studie aber nicht der Fall war. Dann ist das Ergebnis der Regressionsanalyse bereits das Endergebnis des Regionalisierungsverfahrens (SABOROWSKI & JANSEN 2002). Neben digitalen Reliefattributen, die in hoher räumlicher Auflösung (1 m-Raster) geomorphologische, klimatische und hydrologische Prozesse widerspiegeln, wurden auch Bestandeseinflüsse in den Regressionsmodellen als Hilfsvariablen getestet. Die Analysen wurden mithilfe eines zweistufigen Verfahrens durchgeführt. Zunächst wurden Regressionsmodelle auf der Basis von allen Beobachtungen durchgeführt (einschließlich hydromorpher Stellen entlang des Vorfluters im Einzugsgebiet), dann wurden stratifizierte Modelle für die im Gebiet dominanten terrestrischen Flächen angepasst (vgl. ZIRLEWAGEN et al. 2007).

Zeitreihendaten

Zur Erfassung der Bodenlösungschemie wurde Unterdruck-Lysimetertechnologie eingesetzt (ICP Forests 1998). Daten aus 14-tägigen Messintervallen, erhoben in 4 Tiefenstufen im Zeitraum 1991–2006, wurden zeitreihenanalytisch aufbereitet. Datenlücken wurden mit autoregressiven Techniken geschlossen (PROC AUTOREG, SAS 2004). Die SAS X-11-Prozedur wurde als autoregressives moving-average (ARIMA)-Verfahren dazu benutzt, Zeitreihen der Bodenlösungschemie um saisonale Effekte zu bereinigen und Zeittrends abzuleiten (Abb. 3). Außerdem wurden die Zeitreihen auf ein Skalenniveau mit niedrigeren Beobachtungsintervallen transformiert. Wasserflüsse wurden mithilfe des eindimensionalen Richard's Model WHNSIM (HUWE & TOTSCHKE 1995) für den Zeitraum 1991–2006 berechnet (Abb. 1b; ZIRLEWAGEN & VON WILPERT 2001).

Berechnung von Selektivitätskoeffizienten

Kationenaustausch wurde durch die Gapon-Gleichung dargestellt:

$$k_G = \frac{X M_a^{a+} \cdot b \cdot \sqrt{(M b^{b+})}}{X M_b^{b+} \cdot a \cdot \sqrt{(M a^{a+})}} \quad (1)$$

In der Gleichung entspricht X dem äquivalenten Ionenanteil in der Austauschphase, () der Bodenlösungskonzentration, $M a^{a+}$ Kation a mit der Valenz a, $M b^{b+}$ Kation b mit der Valenz b, und k_G entspricht dem Selektivitätskoeffizienten. Zu beachten ist, dass die Ionenkonzentrationen in der Lösung zur reziproken Potenz ihrer Wertigkeit erhoben werden (reduziertes Aktivitätenverhältnis). Gapon-Austauschkoeffizienten wurden hier dazu verwendet, Austausch-Selektivitätskoeffizienten für Ca^{2+} , Mg^{2+} und Al^{3+} aus der Bodensickerwasserchemie (Felddaten) und aus den Mengen austauschbaren

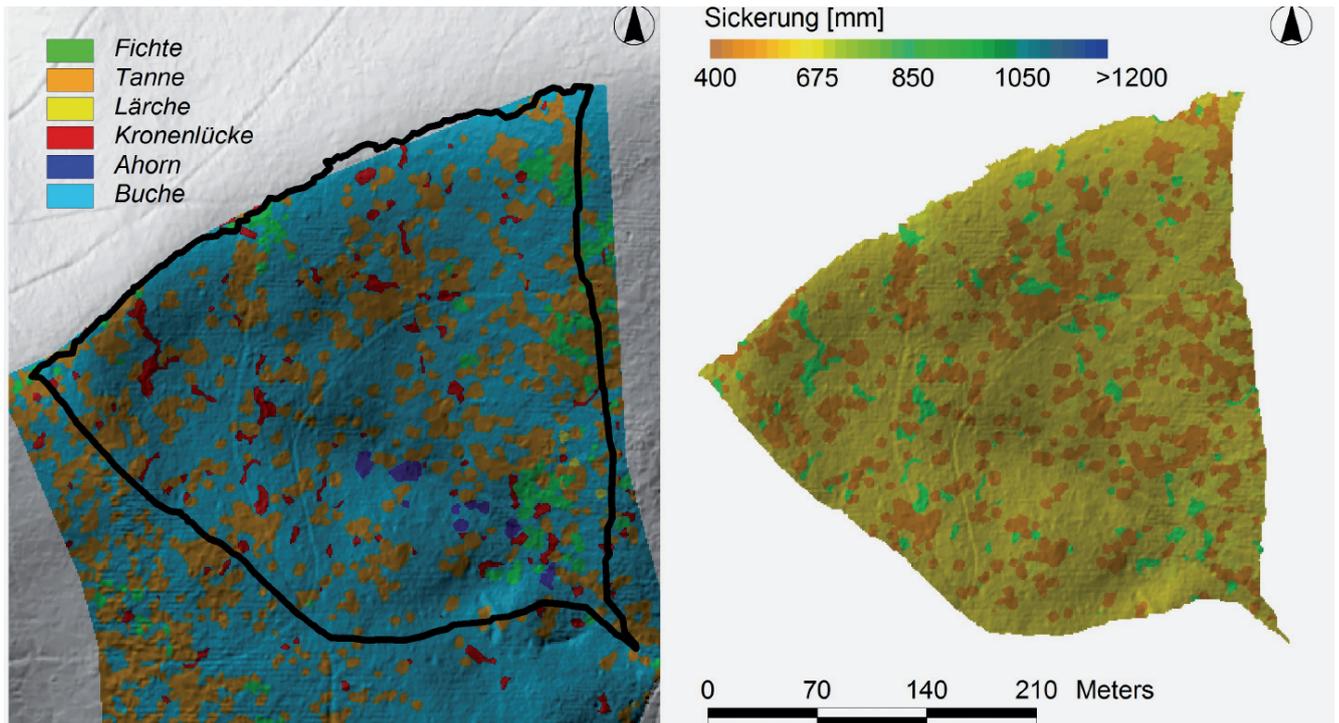


Abb. 1: Bestandeszusammensetzung und Wasserhaushaltsmodellierung im Conventwald-Einzugsgebiet in Abhängigkeit von waldbaulichen Struktureinflüssen. Links (Abb.1a): Baumartenverteilung nach Luftbildauswertung. Rechts (Abb.1b): Jährliche Wasser-Sickerraten, stratifiziert nach der Baumartenzusammensetzung.

Fig. 1: Forest stand composition according to aerial photos (left: Fig. 1a), and water budget modeling (yearly soil water fluxes) in dependence on stand structure effects (right: Fig. 1b), "Conventwald" watershed.

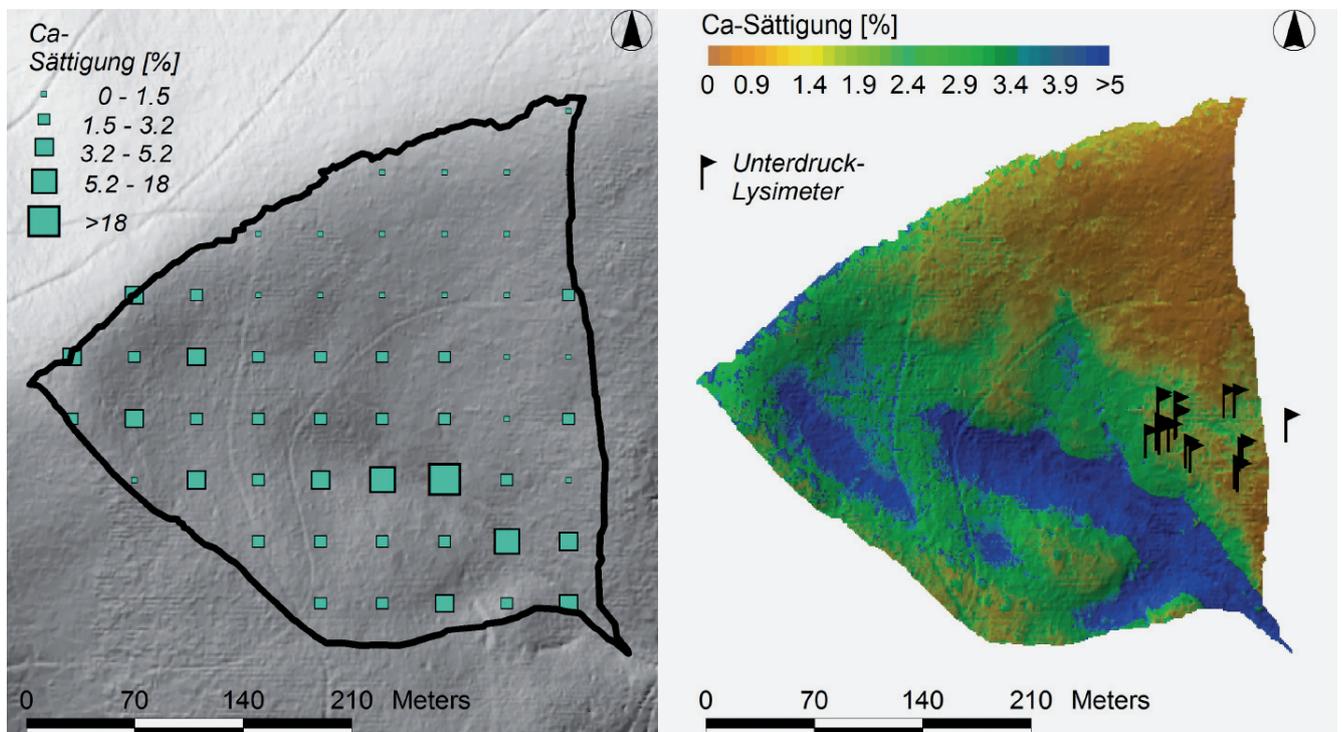


Abb. 2: Upscaling der Bodenfestphase. Links (Abb. 2a): Ca-Sättigung in 10–30 cm Tiefe der Bodeninventur des Jahres 2006 für 56 Stichprobenpunkte im Einzugsgebiet der Conventwaldstudie. Rechts (Abb. 2b): Karte des räumlichen Upscalingmodells in der Tiefenstufe 10–30 cm sowie Lage der Unterdrucklysimeterplots.

Fig. 2: Upscaling of data of the soil solid phase. Ca-saturation at 10–30 cm depth of the soil inventory data 2006 (left: Fig. 2a) and map of the spatial upscaling model at this soil depth as well as position of the suction cup plots in the "Conventwald" watershed (right: Fig. 2b).

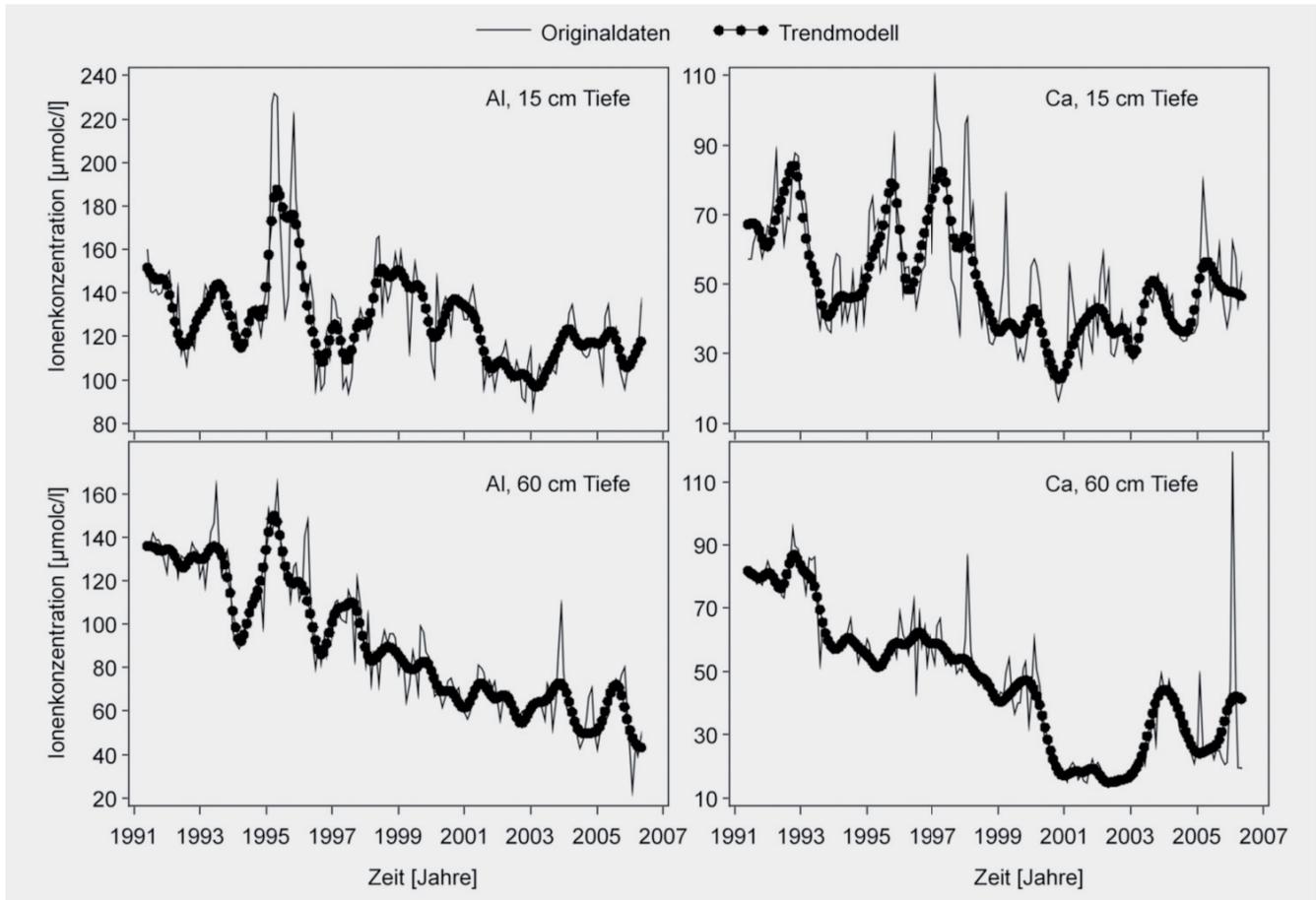


Abb. 3: Beispiel für den Einsatz der X-11-ARIMA Prozedur von SAS (2004) zur Berechnung jahreszeitlich bereinigter Zeitreihen für Bodensickerwasserdaten in 15 und 60 cm Tiefe; Originaldaten = Konzentration, gewichtet für waldbauliche Struktureinheiten; Trendmodell = Zeittrend nach Filterung irregulärer und saisonaler Komponenten, aber Einbezug lang- bis mittelfristig wirksamer zyklischer Faktoren.

Fig. 3: Example of using the X-11-ARIMA procedure of SAS (2004) to calculate seasonally adjusted time series for soil solution data measured in the field; original data = concentration at 15 and 60 cm depth, weighted based on structural forest stand units; adjusted data = time trend after removing irregular and seasonal components but including long-term cyclical factors.

Kationen zu berechnen, die im Rahmen einer stratifizierten Bodeninventur 1996/97 erhoben wurden (ZIRLEWAGEN et al. 1997, VON WILPERT 2008). Die Inventur erfolgte stratifiziert nach der Kronendichte (Kronenkern- vs. Kronenlückengebiete) mit 10–30 Wiederholungen in vier verschiedenen waldbaulichen Varianten (Altbuchen im Mischbestand des Einzugsgebietes, Buchen- und Fichten-Stangenhölzer, ein 90-jähriges Fichten-Baumholz). Die Beprobungsstrategie war angepasst an ein kleinskaliges Inventurdesign mit Beprobungsflächen von etwa 25 x 25 bis 60 x 60 m je Variante, um Kronendichteeffekte auf den Bodenzustand auswerten zu können. Die Probepunkte lagen in unmittelbarer Nachbarschaft zu den Unterdrucklysimetern, eine Voraussetzung, um Messwerte zur Bodenlösung und Bodenfestphase in Austauschgleichungen auswerten zu können. Auch wenn im Wassereinzugsgebiet die Standorte der Unterdrucklysimeter nur im Bereich mittlerer Neutralkationen-Sättigungen lagen (Abb. 2), konnte durch Verwendung von Daten auch der anderen waldbaulichen Varianten der standorttypische Wertebereich der Selektivitätskoeffizienten abgedeckt werden (Kap. 3).

Um verwertbare und stabile Selektivitätskoeffizienten zu erhalten, wurden zwei Vorarbeiten durchgeführt: (a) Für jede Struktureinheit und Tiefenstufe der Inventur 1996/97 wurden

die Anteile austauschbarer Kationen gemittelt und (b) es wurden nur Mittelwerte längerer Abschnitte der saisonal bereinigten Zeitreihen von Bodensickerwasserkonzentrationen verwendet. Die Definition von Zeiträumen, innerhalb derer Bodenlösungsdaten zur Berechnung der Selektivitätskoeffizienten verwendet werden sollten, erfolgte mithilfe der Zeitreihenanalyse (s. o.). Im letzten Schritt wurden aus den nach Struktureinheit und Tiefenstufe gemittelten Daten der Bodenlösungs- und Austauschphase die Selektivitätskoeffizienten berechnet. An die berechneten Selektivitätskoeffizienten wurden nichtlineare Regressionsgleichungen angepasst (PROC NLIN, SAS 2004), wobei die Sättigung des Austauschers mit Al- und Felonen als variierender Faktor den Versauerungszustand des Bodens abbildet.

Neben denen aus Inventurdaten von 1996/97 berechneten Selektivitätskoeffizienten wurden Selektivitätskoeffizienten auch aus Inventurdaten des Jahres 2006 berechnet. Hierzu wurden an den Koordinaten der Unterdrucklysimeter-Messplots im Einzugsgebiet die regionalisierten Kationensättigungen des Jahres 2006 mit den zwischen 2005 und 2006 gemessenen Bodensickerwasserkonzentrationen verschritten. Die mit diesem Datensatz berechneten Selektivitätskoeffizienten dienten ausschließlich zur Validierung der Selektivitätskoeffizienten des Jahres 1996/97.

Bodenstoffflüsse mit Raum- und Zeitbezug

Setzt man in die allgemeine Gapon-Gleichung (1) z. B. Parameter für das Ionenpaar Ca-Al ein und löst nach der (Ca-) Bodenlösungskonzentration auf, ergibt sich die folgende Gleichung (2):

$$(\text{Ca}) = \frac{X\text{Ca}^2 \cdot (\text{Al}^{2/3})}{X\text{Al}^2 \cdot k_G^2} \quad (2)$$

$$(\text{Mg}) = \frac{X\text{Mg}^2 \cdot (\text{Al}^{2/3})}{X\text{Al}^2 \cdot k_G^2} \quad (3)$$

In der Gleichung (2) entspricht X dem äquivalenten Ionenanteil in der Austauschphase, () der Bodenlösungskonzentration und k_G dem Gapon-Selektivitätskoeffizienten. Für das Ionenpaar Mg-Al lautet die Gleichung entsprechend (3). Für Kationen in der Austauschphase lassen sich nach Kap. 2 statistische Upscaling-Modelle aus Inventurdaten berechnen und kartografisch im GIS darstellen. Der Gapon-Koeffizient k_G kann über nichtlineare Regressionsbeziehungen in Abhängigkeit von der Al-Sättigung geschätzt und ebenfalls flächig im GIS dargestellt werden (s. o.). Da die Gapon-Gleichung dann aber immer noch eine Gleichung mit zwei Unbekannten ist (zwei unbekannte Ionenkonzentrationen in der Bodenlösung), benutzten wir die vergleichsweise stabile Al-Basensättigungs-Beziehung, um die Al-Konzentrationen in der Bodenlösung mithilfe der Basensättigung aus einer nichtlinearen Regressionsfunktion zu schätzen. Diese wurden in die Gapon-Gleichungen für die Ionenpaare Ca-Al und Mg-Al eingesetzt und so die Ca- bzw. Mg-Konzentrationen in der Bodenlösung für das Untersuchungsgebiet auf der gesamten Fläche abgeleitet. Der Zeitbezug der resultierenden Karten der Bodenlösungsschemie entspricht dann dem Aufnahmezeitpunkt der Inventur der Bodenfestphase – in dieser Studie das Jahr 2006. Bessere, d. h. präzisere Schätzungen der Al-Bodenlösungskonzentrationen ließen sich mithilfe der strafferen Beziehung zum pH der Bodenfestphase berechnen (vgl. SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992). Doch waren pH-Werte der Festphase nur für die Inventur 1996/97, nicht aber für die Inventur 2006 im Einzugsgebiet verfügbar, so dass diese Beziehung nicht zur Regionalisierung bodenchemischer Parameter im Wassereinzugsgebiet eingesetzt werden konnte.

Um eine zeitlich-dynamische Dimension in die Auswertungen integrieren zu können, wurden wiederum zeitreihenanalytische Auswertungen der Bodenlösungskonzentrationen eingesetzt (Abb. 3). Die saisonal bereinigten Zeitreihen wurden zunächst in Änderungsfaktoren transformiert, welche die relative Änderung der Zeittrends der Bodensickerwasserdaten gegenüber dem Bezugszeitpunkt der Bodeninventur, dem Jahr 2006, wiedergaben. Diese Änderungsfaktoren wurden dann dazu verwendet, die absolute Größe der regionalisierten Ionenkonzentrationen des Jahres 2006 auch für den Zeitraum 1991–2005 im ganzen Untersuchungsgebiet hochzurechnen: Im GIS wurden die digitalen Karten der Ionenkonzentrationen des Jahres 2006 mit den Änderungsfaktoren verrechnet. Modell-Output waren dann Karten von Ionenkonzentrationen in der Bodenlösung im Zeitraum 1991 bis 2006. Bei diesem Auswertungsschritt wurde die Zeitreihenfrequenz auf jährliche Intervalle beschränkt, um stabile Beziehungen zwischen Bodenlösungs- und Bodenfestphase unterstellen zu können. Raumzeitabhängige Stoffflüsse im Boden wurden durch Multiplikation der Karten der Sickerwasserkonzentrationen mit den Ergebnissen des Wasserhaushaltsmodells WHNSIM (s. o., Abb. 1b) berechnet.

nenkonzentrationen des Jahres 2006 mit den Änderungsfaktoren verrechnet. Modell-Output waren dann Karten von Ionenkonzentrationen in der Bodenlösung im Zeitraum 1991 bis 2006. Bei diesem Auswertungsschritt wurde die Zeitreihenfrequenz auf jährliche Intervalle beschränkt, um stabile Beziehungen zwischen Bodenlösungs- und Bodenfestphase unterstellen zu können. Raumzeitabhängige Stoffflüsse im Boden wurden durch Multiplikation der Karten der Sickerwasserkonzentrationen mit den Ergebnissen des Wasserhaushaltsmodells WHNSIM (s. o., Abb. 1b) berechnet.

3. Modellanwendung und Diskussion

Räumliche Modelle zur Bodenfestphase (Daten 2006)

Auf terrestrischen Standorten, d. h. außerhalb der Bachaue, konnten die Zielvariablen mit einem Bestimmtheitsmaß von 49–75% (Basensättigung), 72–81% (Ca-Sättigung), 33–50% (Mg-Sättigung), 50–66% (Na-Sättigung), 28–59% (K-Sättigung), 64–81% (Mn-Sättigung), 48–56% (H-Sättigung), 40–74% (Fe-Sättigung) und 25–66% (Al-Sättigung) regionalisiert werden. Die Verwendung von Datensätzen entlang der Bachaue resultierte immer in einem viel höheren R^2 , da die Messwertvarianz in dieser Sondersituation deutlich niedriger als auf der übrigen Fläche ist. Die Einbeziehung dieser Sonderstandorte ergab allerdings eine schlechtere Parameteranpassung für den Hauptteil des Testgebietes, den terrestrischen Flächen. Deshalb wurde der stratifizierte Vorgehensweise beim Upscaling der Bodenfestphase der Vorzug gegeben, trotz nominell geringerer Anpassungsgüten. In der regionalisierten Karte der Basensättigung (Abb. 2) sind deutlich die Bereiche zu erkennen, wo mit erhöhter Akkumulation von Wasser und Nährstoffen zu rechnen ist (entlang des Vorfluters und den Hangfüßen) bzw. die oberen Hangsituationen, welche niedrigere Gehalte austauschbarer Neutralkationen aufweisen. Topografische Effekte auf die Höhe der Basensättigung wurden mithilfe von sekundären Reliefattributen wie dem topografischen Vernässungsindex TWI, dem topografischen Positionsindex TOPEX und anderen modelliert. Überprüfungen der Regressionsresiduen auf räumliche Autokorrelation ergaben keinen Hinweis auf Verletzung dieser Modellprämisse.

Da nicht nur die Basensättigung, sondern auch die einzelnen Kationensättigungen regionalisiert wurden, lassen sich die Einzelmodelle indirekt validieren. Es wurden die Summen der mit den Einzelmodellen für Na, K, Mg und Ca berechneten Sättigungen mit der als Zielgröße ebenfalls regionalisierten Basensättigung auf Grundlage von 100 zufällig im GIS ausgewählten Stichproben überprüft (Abb. 4, linke Teilabbildungen). Die verschiedenen Modellansätze zeigen hier eine hohe Übereinstimmung (R^2 zwischen 0,63 und 0,90 bei Modellen bis 60 cm Tiefe). Nur im unteren Mineralboden (60–90 cm Tiefe) weichen die Modelle stärker voneinander ab (R^2 0,52). Im Vergleich zu den Messwerten der Basensättigung zeigt die summative Betrachtung der vier Einzelmodelle Na, K, Mg und Ca ebenfalls eine gute Modell-Performance (Abb. 4, rechte Teilabbildungen).

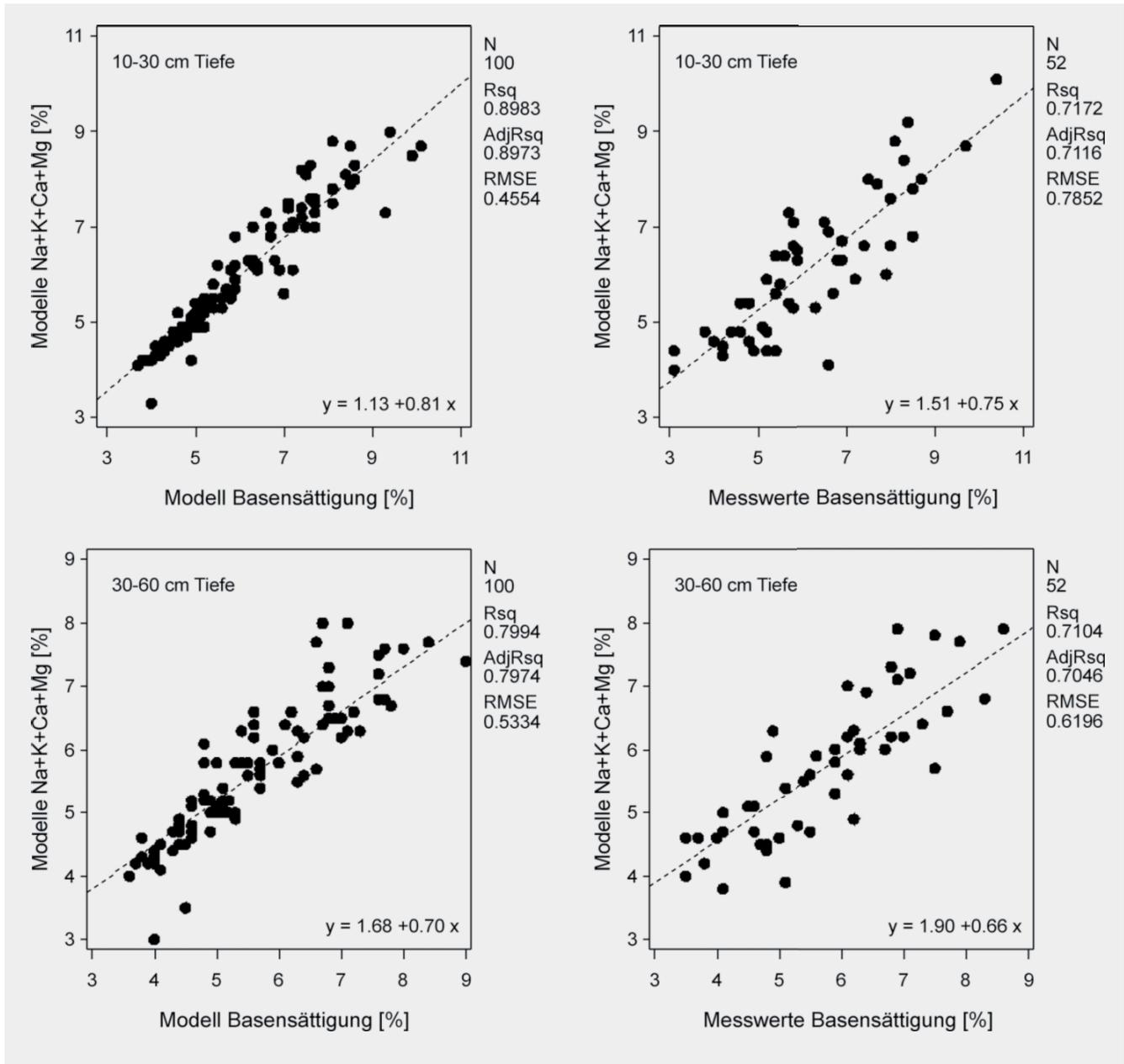


Abb. 4: Modellvalidierungen der Upscaling-Ergebnisse für Kationensättigungen der Bodeninventur 2006; links: Summen der Basensättigung der vier Einzelmodelle Na+K+Ca+Mg aufgetragen gegen die Ergebnisse des „direkten“ Upscaling der Basensättigung; rechts: Summen der vier Einzelmodelle aufgetragen gegen die Messwerte der Basensättigung.

Fig. 4: Model validations for upscaling results of exchangeable cation percentages, soil inventory 2006; left: sum of the separate upscaling models Na/K/Ca/Mg plotted against a "direct" upscaling model using base saturation as response; right: sum of the separate upscaling models Na/K/Ca/Mg plotted against the measured base saturation.

Austauschkoeffizienten

Auf der Basis der Gapon-Gleichung zeigt Abb. 5 relative Austauschselektivitäten für Mg (links) und Ca (rechts), berechnet jeweils in Bezug zum Gegenion Al und geplottet gegen austauschbares Al. Die relativen Selektivitäten von Ca-Al sind höher als diejenigen von Mg-Al mit der Folge höherer Anteile von Mg in der Lösungsphase. Dieser Effekt lässt sich mit der relativen Eintauschstärke von Kationen am Austauscher in Abhängigkeit von der Ionengröße und Ionenladung erklären. Die Selektivitäten in Abb.5 nehmen mit der Zunahme des dreiwertigen Al in der Austauscherphase ab.

Dies spiegelt die Abhängigkeit der relativen Mg-Al und Ca-Al-Selektivität vom Bodensäurestatus wider. Generell hängen Selektivitätskoeffizienten vom Typ der Oberflächenladung und dem Anteil sorbierter Kationen ab. Trotz der Tatsache, dass in unserer Studie die Selektivitätskoeffizienten an Felddaten angepasst worden sind und damit auf Ungleichgewichts-Beziehungen basieren, liegen sie im Bereich der von Hildebrand (1994) gezeigten Beziehungen. Bei Mg trifft dies exakt zu. Bei Ca sind unsere Koeffizienten etwas niedriger, was auf die unterschiedlichen experimentellen

Randbedingungen zurückgeführt werden kann. HILDEBRAND (1986, 1994) führte, wie die meisten anderen Autoren auch (z. B. SAUVE & HENDERSHOT 1995, LUDWIG & KÖBL 2002, CARLYLE et al. 2004), Laborexperimente mit Austauschlösungen im Quasi-Gleichgewicht durch. Wenn Bodenlösungsdaten aus Freilandversuchen an Unterdrucklysometern gewonnen werden, sind solche Gleichgewichte naturgemäß nicht zu erreichen und die resultierenden Koeffizienten sind nicht mit Laborexperimenten vergleichbar. Trotz der Verwendung von Felddaten zur Ableitung der Selektivitätskoeffizienten konnten aber sehr straffe Beziehungen zwischen den Koeffizienten und der Austauscherbelegung (Al-Sättigung) gefunden werden. 84 bzw. 95% der Varianz konnten mithilfe nichtlinearer Regressionsmodelle erklärt werden. Die Qualität der Modellanpassung kann für die beabsichtigten Upscaling-

Verfahren als adäquat bewertet werden. Ein niedrigeres Bestimmtheitsmaß für die Ca-Al-Selektivitäten kann als Effekt abweichender Austauschgleichgewichte an organischen Sorptionsplätzen interpretiert werden, der im einfachen, auf mineralische Sorbenten bezogenen Gapon-Gleichungsmodell nicht berücksichtigt ist. Eine Ursache für die hier gefundenen, relativ engen Beziehungen dürfte auch am Verfahren liegen, das zur Auswertung der Sickerwasserdaten eingesetzt worden ist. Wie oben beschrieben, wurden nur Mittelwerte aus längeren Perioden der saisonal bereinigten Sickerwasserdaten verwendet. Da die längerfristigen Trendzyklen in dieser Studie etwa zwei Jahresabstände aufwiesen (Abb. 3), wurden 2jährige Mittelwerte der Trendreihe zur Ableitung der Austauschkoeffizienten herangezogen.

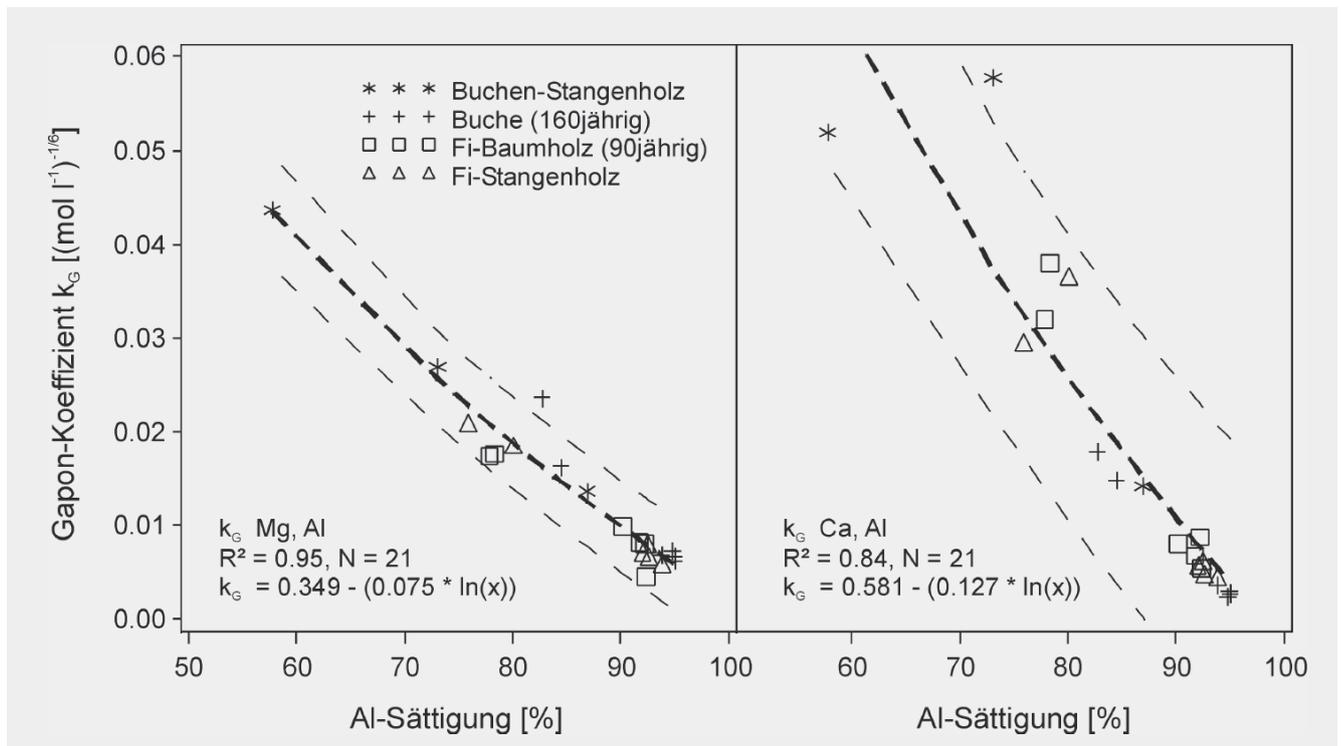


Abb. 5: Relative Selektivitäten von Mg und Ca im Vergleich zu Al, aufgetragen gegen die Sättigung mit austauschbarem Al; Datenbasis 1996/97

Fig. 5: Relative selectivities of Mg and Ca binding compared to Al plotted against the saturation of exchangeable Al, data base 1996/97.

Raum-Zeitmuster und Validierungsansätze

Die Zeitreihenmodelle zeigen für das Untersuchungsgebiet ausgeprägte Trendeffekte für die Elementfracht im Bodensickerwasser, vor allem im unteren Hauptwurzelraum (60 cm Tiefe, Abb. 3). Längerfristige Trends werden immer wieder von mittelfristig wirksamen Zyklen unterbrochen, wahrscheinlich als Folge von Witterungseffekten, die über jährlich-saisonale Muster hinauswirken und nach Ergebnis der Zeitreihenanalyse häufig zwei Jahre andauern (z. B. Zyklus 2003–2005). Die starke Abnahme der Aluminiumkonzentrationen in der Bodenlösung in 60 cm Tiefe (und die entsprechende deutliche Zunahme des pH, ohne Abb.) über einen Zeitraum von 15 Jahren lässt sich auf einen allgemeinen Rückgang der anthropogenen Depositionen im Unters-

suchungsgebiet zurückführen. Der Trend bei den Neutralkationenkonzentrationen ist in diesem Zeitraum weniger einheitlich. Nach anfänglich deutlicher Abnahme ist seit 2001 eine Trendumkehr zu beobachten. Der Befund starker zeitlicher Effekte in der chemischen Zusammensetzung der Bodenlösung verdeutlicht die Notwendigkeit, solche Effekte auch in die Regionalisierung bodenchemischer Daten zu integrieren. Da (a) für die Kationen in der Austauscherphase valide Upscaling-Modelle berechnet werden konnten, (b) k_G über die nichtlineare Regressionsbeziehung in Abhängigkeit von der Al-Sättigung auf der Fläche bestimmt werden konnte und (c) für Al in der Bodenlösung initiale Schätzbeziehungen zur Basensättigung (bzw. zum pH) bestanden, ließen sich mit

Gleichung (2) für Neutralkationenkonzentrationen in der Bodenlösung Regionalisierungen durch Verrechnung der modellierten digitalen Karten im GIS durchführen. Zeitbezug der regionalisierten Bodenlösungskonzentrationen war zunächst das Jahr 2006, das Jahr der Bodeninventur. Zeitlich-dynamische bodenchemische Effekte wurden wie oben beschrieben durch Anwendung zeitreihenanalytischer Methoden auf Sickerwasserdaten integriert. Als Zwischenergebnis wurden raumzeitabhängige Bodenlösungskonzentrationen für Al und die Neutralkationen berechnet. Da valide Ergebnisse einer Wasserhaushaltsmodellierung vorlagen (Abb.1), ließen sich daraus raum-zeitlich abhängige Bodenstoffflüsse herleiten. In Abb.6 ist ein Beispiel für die Modellierung von Raum-Zeitmustern von Bodenstoffflüssen im Untersuchungsgebiet aufgeführt. Besonders niedrige jährliche Flussraten traten im

Jahr 2003 auf, bedingt durch den Einfluss des Extremsommers 2003. Dagegen waren die Stoffflüsse im Jahr 1999 besonders hoch, einem Jahr mit hohen Niederschlägen bei gleichzeitig noch relativ hohem Niveau an Konzentrationen basischer Kationen in der Bodenlösung.

Gute Modellperformance garantiert noch keine korrekte Vorhersage einer Zielvariablen. Anhand verschiedener Verfahren wurde das hier dargestellte Methodenkonzept validiert. Auf die Validierungstechniken zur Überprüfung der Upscaling-Modelle bei den Kationensättigungen, die in dieser Arbeit verwendet worden sind, wurde schon oben hingewiesen. Regionalisierte Kationensättigungen zum Stichjahr 2006 wurden auch dazu verwendet, die zum Zeitpunkt 1996/97 berechneten Selektivitätskoeffizienten zu validieren. An den Koordinaten der Unterdrucklysimeter-Messplots

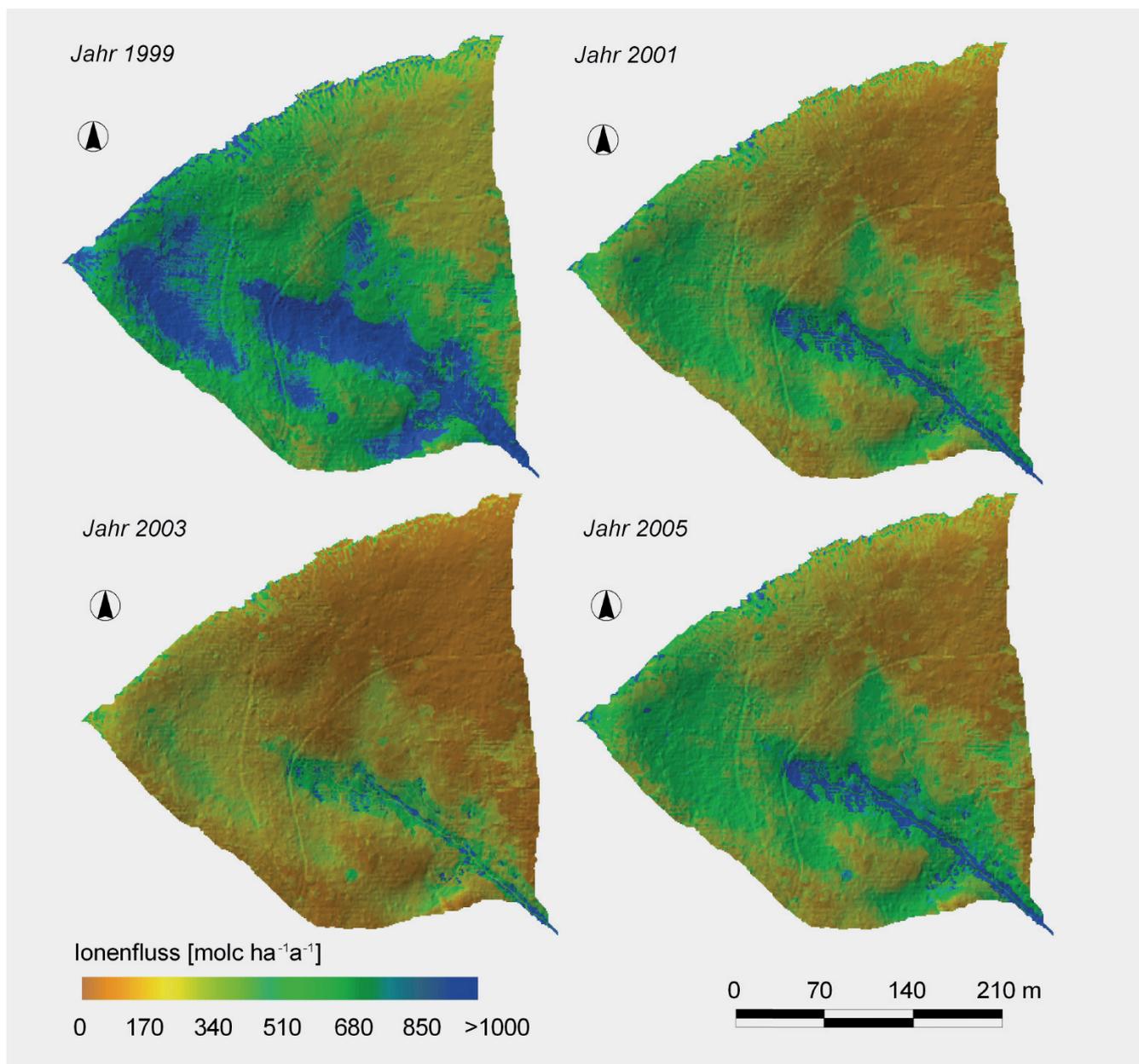


Abb. 6: Beispiel zur Modellierung von Raumzeitmustern von Bodenstoffflüssen. Jährliche Ca-Stoffflüsse in 45 cm Bodentiefe, Conventwald-Einzugsgebiet.

Fig. 6: Example of modeling spatio-temporal patterns of cation fluxes. Yearly Ca soil fluxes, "Conventwald" watershed at 45 cm soil depth.

wurden aus regionalisierten Kationensättigungen und den zwischen 2005 und 2006 gemessenen Bodensickerwasser-konzentrationen Selektivitätskoeffizienten berechnet und mit denen des Jahres 1996/97 verglichen (Abb. 7). Besonders enge Beziehungen zeigen sich bei den Mg-Al-Koeffizienten. Beim Ca-Al-Ionenpaar ist die Streuung wiederum deutlich breiter. Insgesamt bestätigt sich die Annahme, dass trotz der Modellvereinfachungen und der während des Beobachtungszeitraums realisierten bodenchemischen Trends von stabilen Beziehungen zwischen der Chemie der Bodenlösung und der Austauschphase ausgegangen werden kann.

4. Schlussfolgerungen

Die vorliegende Arbeit zeigt einen methodischen Ansatz, mit dem Raum-Zeitmuster von Kationen-Bodenstoffflüssen regionalisiert werden können. Die verwendeten QI-Beziehungen beschränken dessen Anwendung allerdings auf den Mineralboden, und dort auch nur auf Bereiche mehr oder weniger stark saurer Bodenreaktion (keine Carbonatstandorte). Um stabile QI-Beziehungen bei Verwendung von Felddaten aus Unterdruck-Lysimetertechnik unterstellen zu können, sollte die zeitliche Auflösung bei maximal einem Jahr liegen. Saisonale Effekte sind also nicht darstellbar, mittelfristige zyklische Effekte aber schon. Die Methodik ist hinsichtlich GIS, Statistik und Programmumgebung komplex. Im Vergleich zu ausschließlich prozessorientierten Modellen wie SAFE ist sie aber noch durchschaubar und bietet die Chance, an gemessenem Datenmaterial zu neuem Erkenntnisgewinn zu gelangen. Dies trifft insbesondere für das forstliche Umweltmonitoring zu.

Die Methoden, die hier auf der Skala eines Wassereinzugsgebietes erprobt worden sind, sollten sich flexibel auch auf anderen Skalen anwenden lassen. Dabei bestehen eine Reihe von Validierungsmöglichkeiten, um die Qualität der abgeleiteten Algorithmen zu garantieren.

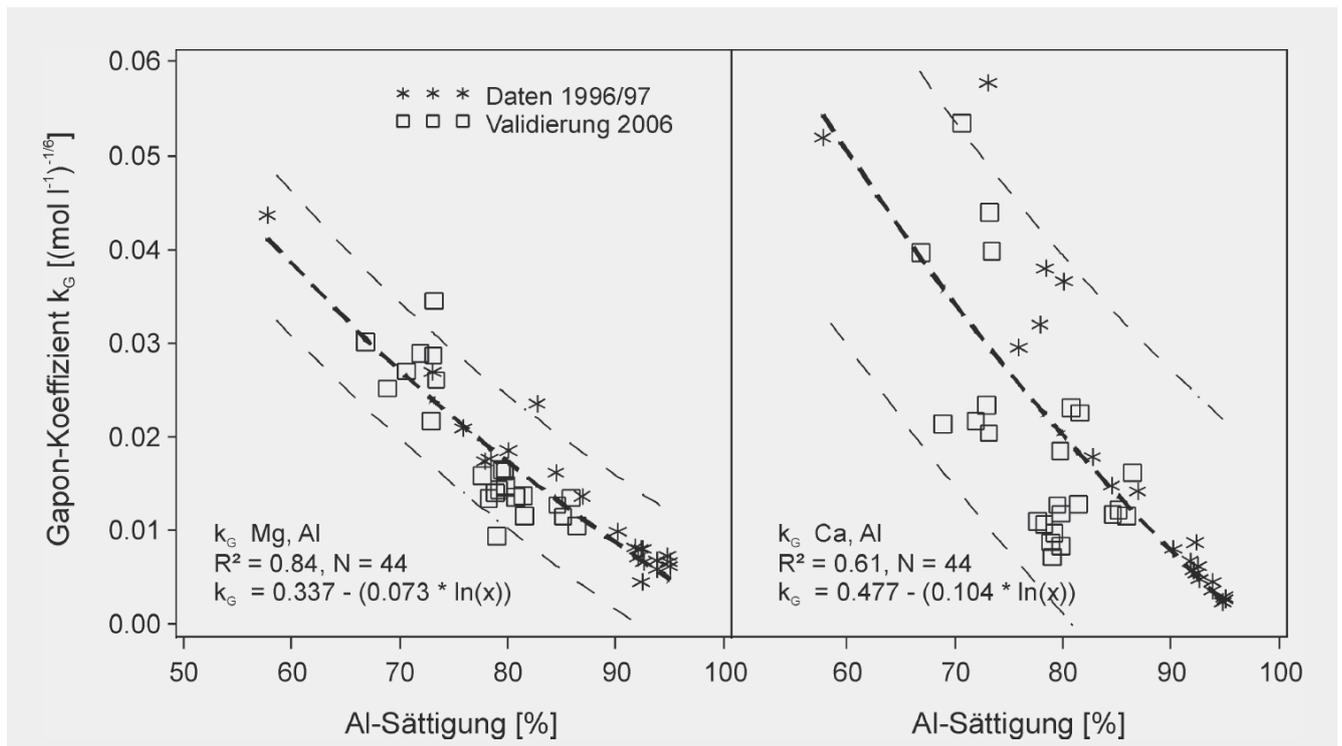


Abb. 7: Relative Selektivitäten von Mg und Ca am Kationenaustauscher im Vergleich zu Al, aufgetragen gegen die Sättigung mit austauschbarem Al; Vergleich der Koeffizienten, berechnet mit Daten 1996/97, und denen des Validierungsdatensatzes des Jahres 2006.

Fig. 7: Relative selectivities of Mg and Ca sorption compared to Al plotted against the saturation of exchangeable Al; comparison of coefficients of the data base 1996/97 with those of the validation data set of the year 2006.

Literatur

- BML BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN(1990):Bund-/LänderarbeitsgruppeBZE: Bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE, Arbeitsanleitung).
- CARLYLE, H.F.; TELLAM, J.H.; PARKER, K.E. (2004): The use of laboratory-determined ion exchange parameters in the predictive modeling of field-scale major cation migration in groundwater over a 40-year period. *Journal of Contaminant Hydrology* 68: 55–81.
- GAPON, E.N. (1933): Theory of exchange adsorption in soils. *J. Gen. Chem.* 3: 144–152.
- HILDEBRAND, E.E. (1986): Zustand und Entwicklung der Austauschereigenschaften von Mineralböden aus Standorten mit erkrankten Waldbeständen. *Forstw. Cbl.* 105: 60–76.
- HILDEBRAND, E.E. (1994): The heterogeneous distribution of mobile ions in the rhizosphere of acid forest soils: facts, causes and consequences. *J. Environ. Sci. Health A29(9)*: 1973–1992.
- HUWE, B.; TOTSCHKE, K.U. (1995): Deterministic and stochastic modelling of water, heat and nitrogen dynamics on different scales with WHNSIM. *Journal of Contaminant Hydrology* 20: 265–284.
- ICP FORESTS (1998): manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. <http://www.icp-forests.org>
- LUDWIG, B.; KÖLBL, A. (2002): Modeling cation exchange in columns of disturbed and undisturbed sub-soil. *European Journal of Soil Science* 53: 645–653.
- SAS INSTITUTE INC. (2004): SAS OnlineDoc® 9.1.3. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- SAUVE, S.; HENDERSHOT, W.H. (1995): Cation selectivity coefficient variations in acidic forest soils from Sutton, Quebec. *Geoderma*. 68: 301–308.
- SCHEFFER, F.; SCHACHTSCHABEL, P. (1992): Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 491 S.
- Strayer, D.L.; Ewing, H.A., Bigelow, S. (2003): What kind of spatial and temporal details are required in models of heterogeneous systems? *Oikos* 102: 654–662.
- VON WILPERT (2008): Waldbauliche Steuerungsmöglichkeiten des Stoffhaushalts von Waldökosystemen – am Beispiel von Buchen- und Fichtenvarianten der Conventwald-Fallstudie. Schriftenreihe Freiburger Forstliche Forschung 40, Habil. Univ. Freiburg i. Br.
- VON WILPERT, K.; ZIRLEWAGEN, D.; KOHLER, M. (2000): To what extent can silviculture enhance sustainability of forest sites under the immission regime in Central Europe? *Water Air Soil Pollut* 122: 105–120.
- ZIRLEWAGEN, D. (2003): Regionalisierung bodenchemischer Eigenschaften in topographisch stark gegliederten Waldlandschaften. Schriftenreihe Freiburger Forstliche Forschung 19, Diss. Univ. Freiburg i. Br.
- ZIRLEWAGEN, D.; VON WILPERT, K. (2001): Modeling water and ion fluxes in a highly structured, mixed-species stand. *For. Ecol. Manage.* 143: 27–37.
- ZIRLEWAGEN, D.; VON WILPERT, K. (2004): Using model scenarios to predict and evaluate forest management impacts on soil base saturation at landscape level. *Eur. J. Forest Res.* 123: 269–282.
- ZIRLEWAGEN, D.; KOHLER, M.; VON WILPERT, K. (1997): Die Auswirkungen waldbaulicher Strategien auf die chemischen Eigenschaften der Bodenfestphase. *Mitt. Dt. bodenkundl. Ges.* 85: 1429–1432.
- ZIRLEWAGEN, D.; RABEN, G.; WEISE, M. (2007): Zoning of forest health conditions based on a set of soil, topographic and vegetation parameters. *For. Ecol. Manage.* 248: 43–55.

Autorenanschriften

Dietmar Zirlewagen
 Interra, Büro für Umweltmonitoring
 St.-Peter-Str. 30, D-79341 Kenzingen
 Telefon +49 7644-930539
 Email d.zirlewagen@interra.biz

Klaus von Wilpert
 FVA Baden-Württemberg
 Abteilung Boden und Umwelt
 Wonnhaldestraße 4, D-79100 Freiburg
 Telefon +49 761 4018-173
 Email Klaus.Wilpert@forst.bwl.de

Veränderung bodenphysikalischer Eigenschaften von Humusauflagen auf ehemals flugaschebeeinflussten Waldstandorten der Oberlausitz

Modifications of soil physical properties of forest floor horizons at previously fly ash affected forest sites in the region Upper Lusatia

Peter Hartmann, Heiner Fleige, Rainer Horn

Abstract

This study describes the influence of predominantly historical atmospheric depositions of lignite fly ashes upon physical properties of forest soils and especially of forest floor horizons. We compared 6 soil profiles with and without fly ash enrichment in the region Upper Lusatia, Eastern Germany. Fly ash enriched sites have a 1.0 to 1.5 dm thick and densely rooted top horizon consisting of a mixture of humus and fly ash. Uncontaminated forest floor horizons are less thick (<0,6 dm) and less rooted. Fly ash enriched forest floor horizons show higher air capacities, saturated conductivities and particle densities, whereas plant available water is reduced emission source close. Deposition rates were estimated at 150 to 280 t/ha, whereby at sites located close to the emission source the highest values were calculated. The vertical root development of the trees is constrained at locations characterized by temporary water logging and shallow soils with surface-near bedrock. Hence, properties of forest floor horizons and the mineral top soil condition plant available water in the effective root zone. Fly ash enriched forest floor horizons amount to 20 to 42% of plant available water in the effective root zone, whereas uncontaminated forest floor horizons only amount to 8 to 16%.

Keywords: forest soil, lignite fly ash, soil physical properties, Upper Lusatia

Zusammenfassung

In dieser Studie wird der Einfluss überwiegend historischer atmosphärischer Flugaschedepositionen auf physikalische Eigenschaften von Waldböden und insbesondere deren Humusauflagen untersucht. Es werden sechs Leitprofile der Region Oberlausitz mit und ohne Flugascheanreicherungen vorgestellt. Die flugascheangereicherten Standorte sind geprägt durch 1,0 bis 1,5 dm mächtige Durchmischungshorizonte (Humusauflage mit Flugasche), die extrem stark durchwurzelt sind. Die reinen Humusauflagen sind geringmächtiger (<0,6 dm) und auch weniger stark durchwurzelt. Im Vergleich mit reinen Humusauflagen zeigen die flugascheangereicherten zum Teil signifikant höhere Luftkapazitäten, gesättigte Wasserleitfähigkeiten und Festsubstanzdichten,

wohingegen emittentennah die nutzbaren Feldkapazitäten geringer sind. Für die flugascheangereicherten Standorte wurden mineralische Flugascheanreicherungen von 150 bis 280 t/ha berechnet, wobei emittentennähere Standorte höhere Werte aufweisen. Zeitweise Vernässung und anstehendes Ausgangsgestein schränken die Durchwurzelbarkeit stark ein. Die nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums nFKWe ist daher deutlich von den Eigenschaften der Auflagen und des Oberbodens geprägt. Die flugascheangereicherten Humusauflagen stellen 20 bis 42% der nFKWe, die reinen Humusauflagen nur 8 bis 16%.

Stichwörter: Flugasche, bodenphysikalische Eigenschaften, Waldboden, Oberlausitz

1. Einleitung

Der Abbau und die Verbrennung von Braunkohle ist ein traditioneller Sektor der Energiegewinnung in der Region Oberlausitz entlang der deutsch-polnischen Grenze. Insbesondere die Kraftwerke Hirschfelde (D) und Turów (PL) emittierten großen Mengen an Flugaschen, Braunkohlestäuben, SO₂, NO_x und CO₂, bis verstärkte Emissionskontrollen und die Schließung des Kraftwerkes Hirschfelde zu einer deutlichen Reduzierung der Emissionen führte. Flugaschen in der Region Oberlausitz setzen sich vornehmlich aus silikatischen Gläsern (44%), Al₂O₃ (40%), Fe₂O₃ (8%) und weiteren Oxiden sowie Braunkohle und Schwermetallen zusammen (DUNGER et al. (1972); KLOSE et al. (2003)). Aufgrund dieser Zusammensetzung beeinflussen atmosphärische Flugaschen bodenchemische Parameter wie den pH-Wert, die Basensättigung, Anteil und Zusammensetzung der organischen Substanz und die Kationenaustauschkapazität (NEUMEISTER et al. 1991; RUMPEL et al. 1998; WEISDORFER 1999; SCHAAF et al. 2001; KOCH et al. 2002; ZIKELI et al. 2002; KLOSE & MAKESCHIN 2004; FRITZ & MAKESCHIN 2007). Bezüglich bodenphysikalischer Eigenschaften zeichnen sich Flugaschen durch einen hohen Sortierungsgrad mit vorherrschenden Feinsand- bis Schlufffraktionen, durch hohe Porositäten und hohe Wasserleitfähigkeiten aus (BLUME & SCHLEUSS 1997; KLOSE et al. 2003; KASTLER 2005). Unter anderem wird zum Teil schwermetallbelastete Flugasche aus der Kohleverbrennung als landwirtschaftliche Meliorationszugabe verwendet,

womit der Anteil an pflanzenverfügbarem Wasser und die Wasserleitfähigkeiten verbessert werden können (GANGLOFF et al. 2000; PATHAN et al. 2003; YUNUSA et al. 2006). In der Region Dübener Heide (Sachsen-Anhalt / Sachsen) wurden ebenfalls Böden unter Flugascheeinfluss untersucht, wobei die flugascheangereicherten Humusauflagen sich durch höhere gesättigte Wasserleitfähigkeiten, höhere Luftkapazitäten und leicht erhöhte Festsubstanzdichten auszeichnen, wohingegen die nutzbaren Feldkapazitäten sowie die Benetzungshemmungen reduziert sind (HARTMANN et al. 2007). In den mineralischen Oberbodenhorizonten wurde bereits kein Einfluss der Flugasche mehr festgestellt, da unterschiedliche Ausgangssubstrate und Gehalte an organischer Substanz die physikalischen Eigenschaften der Horizonte prägen. In dieser Untersuchung werden flugaschebeeinflusste Waldböden im Vergleich mit unbelasteten Standorten der Region Oberlausitz vorgestellt. Ziel ist, die persistenten Flugaschemengen zu quantifizieren und deren Einfluss auf bodenphysikalische Eigenschaften der angereicherten Humusauflagen zu charakterisieren (Textur, Porengrößenverteilung, gesättigte Wasserleitfähigkeit, Festsubstanzdichte, Trockenroh-dichte, nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum).

2. Material und Methoden

Untersuchungsgebiet

Die untersuchten Waldstandorte liegen in der Region Oberlausitz / Sachsen nahe der Deutsch-Polnischen Grenze (Abbildung 1). Die Region stand langfristig unter dem Einfluss atmosphärischer Depositionen durch die Kraftwerke entlang der deutsch-polnischen Grenze. Von 1911 bis 1992 produzierte das Kraftwerk in Hirschfelde Elektrizität mit einer Gesamtleistung von 71.300.000 MWh; Turów in Polen wurde 1962 in Betrieb genommen und produziert momentan etwa 2000 MW. Mit dieser intensiven Braunkohleverbrennung ging ein hoher Ausstoß an Flugaschen, Braunkohlestäuben, SO₂, NO_x und CO₂ einher. Vor allem Südost- und Südwinde führten zu hohen Immissionsraten in den Forstrevieren nördlich der Kraftwerke, so dass in den 1960er Jahren mehr als 0,15 mg/m² SO₂ pro Tag in 22 % aller Fälle und mehr als 15 g/m² Flugasche pro Tag in 75–100 % aller Fälle gemessen wurden (Lux 1970). Erst strenge Emissionskontrollen sowie die Schließung von Hirschfelde 1992 führten zu einer deutlichen Reduzierung dieser Immissionen. Entlang der deutsch-

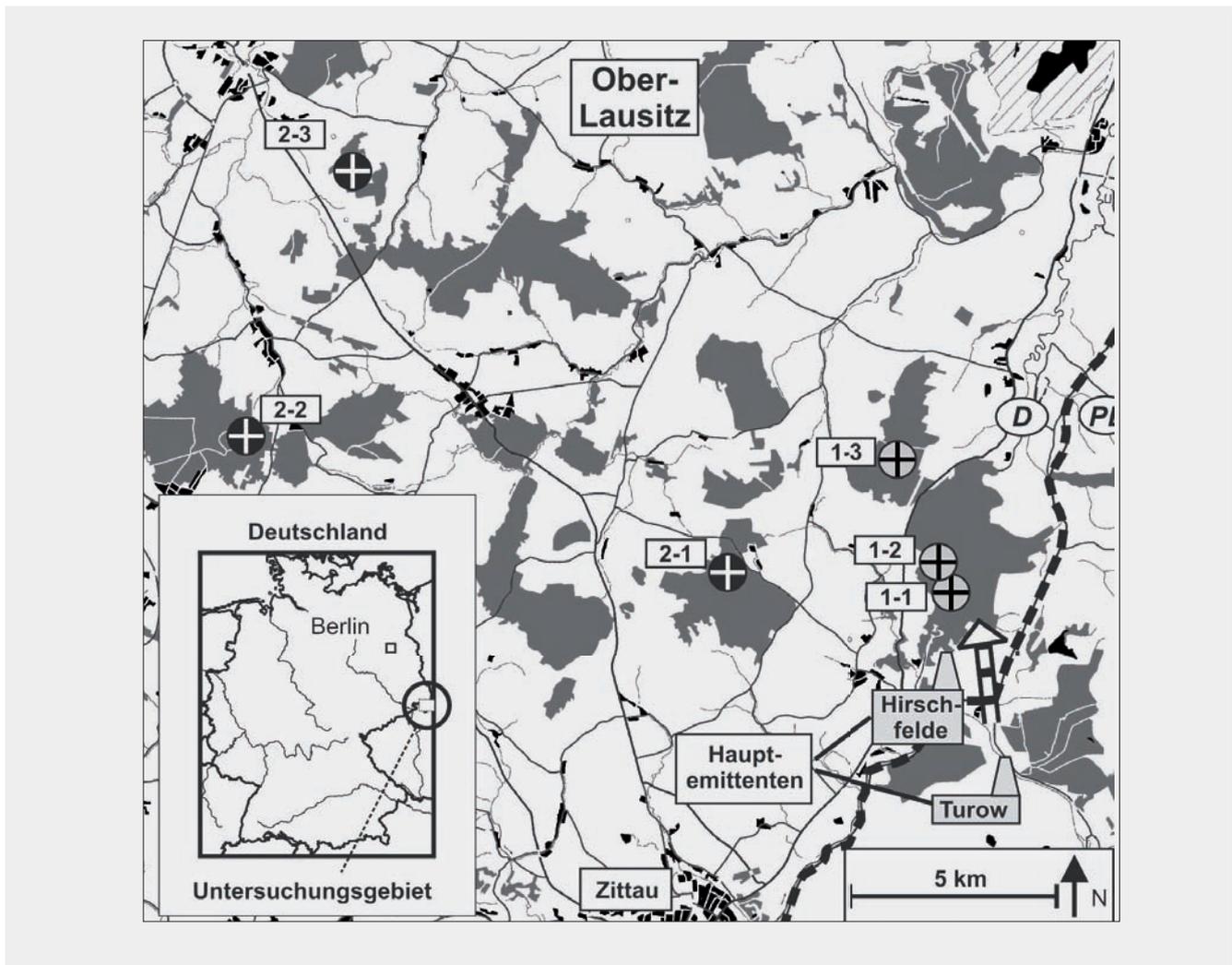


Abb. 1: Lage der untersuchten Standorte in der Oberlausitz (grau: mit Flugascheanreicherung, Standorte 1-1, 1-2 und 1-3; schwarz: ohne Flugascheanreicherung, Standorte 2-1, 2-2 und 2-3).

Fig. 1: Location of the investigated sites in the region Upper Lusatia (grey: with fly ash enrichment, sites 1-1, 1-2, 1-3; black: without fly ash enrichment, sites 2-1, 2-2, 2-3).

polnischen Grenze verringerte sich die Staubemission der deutschen Kraftwerke und Turów von 455 Gg (1989/1990) auf 18 Gg (2001), SO_2 wurde entsprechend von 1780 auf 85 Gg reduziert (DEUTSCH-POLNISCHE KOMMISSION FÜR NACHBARSCHAFTLICHE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES UMWELTSCHUTZES 1995). Drei Forststandorte mit hohem Flugascheeintrag (Standorte 1-1, 1-2 und 1-3) und drei ohne nennenswerte Flugascheanreicherung (Standorte 2-1, 2-2 und 2-3) wurden untersucht. Diese Standorte repräsentieren typische Bodentypen und Forstbestände der Oberlausitz. Die Geologie der Region ist geprägt durch das vorvariskische Lausitzer Granit-Granodioritmassiv, dessen Hohlformen durch elsterzeitliche Grundmoränen und Schmelzwassersande aufgefüllt wurden. Jüngste kaltzeitliche Substrate sind Löss und deren Umlagerungsprodukte sowie Verwitterungs- und Umlagerungsdecken aus Festgestein. Vorherrschende Bodenbildungsprozesse sind leichte Podsolierung und Verbraunung bei überwiegend granitischem Ausgangsgestein, mit steigendem Löß- und Geschiebemergel einfluss nehmen Tonverlagerung und Vernässung (Pseudovergleyung) an Bedeutung zu (SCHMIDT 1995). Die ökologische Wirkung der Staunässe auf Waldbestände muss nach ARBEITSKREIS STANDORTKARTIERUNG (2003) ab einer Tiefe von 6 dm uGOF und weniger als begrenzend für den Wurzelraum bis hin zu Leistungsminderungen aufgrund eines verzögerten Laubaustriebes und Luftmangel insbesondere bei Buchen berücksichtigt werden. Die Waldbestände sind geprägt durch Fichten (*Picea abies*) und Rotbuchen (*Fagus sylvatica*). Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei 8.2°C , der durchschnittliche Jahresniederschlag bei 646 mm (Görlitz 238 m üNN; $51^\circ 10' \text{N}$; $14^\circ 57' \text{E}$).

Profilansprache und Probenahme

In den ausgewählten Flächen wurden 2 m tiefe Leitprofile (bzw. bis zum nicht mehr grabbaren Ausgangsgestein) angelegt und diese nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA 5 (AG BODEN 2005) auf Subtypenniveau (inkl. der Varietät Podsoligkeit) klassifiziert. Die Beprobung erfolgte im Mai 2007. Für die Bestimmung der Wasserretentionsfunktion (nur Humusaufgabe), der Wasserleitfähigkeiten und der Trockenrohdichten (alle grabbaren Horizonte) wurden ungestörte Stechzylinderproben (100 cm^3) genommen. Für weitere laboranalytische Untersuchungen wurden gestörte Proben eines jeden Horizontes genommen. Den Schwerpunkt bei der Laboranalytik bilden die organischen Auflagen, da hier die größte Beeinflussung durch die Flugaschen zu erwarten ist. Für die mineralischen Horizonte wurden anhand der Bodenart, der Trockenrohdichte ρ_r , des Humusgehaltes und der Mächtigkeit die nutzbare Feldkapazität (= nutzbare Wasserspeicherkapazität) eines jeden Horizontes nach AG BODEN (2005) abgeleitet und für unterschiedliche effektive Durchwurzelungstiefen W_e aufsummiert. W_e ist für Laubgehölze als das 1,5-fache des Wertes für Ackerstandorte anzunehmen und beläuft sich so für Schluffe und Lehme auf ca. 15 dm bei einer mittleren Trockenrohdichte, für Nadelgehölze auf 10 dm (AG BODEN 2005). Bei Stauwasserböden wird die Obergrenze des Sd-Horizontes zzgl. 1 dm als unterste Grenze der max. Durchwurzelungstiefe angenommen (RAISSI

et al. 2001). Der Arbeitskreis Standortkartierung (2003) nennt zur Abschätzung des effektiven Wurzelraumes denjenigen Horizont als Untergrenze, der eine Durchwurzelungsintensität von weniger als $W/2$ (= 3–5 Feinwurzeln/dm²) aufweist, um somit eine Überschätzung der effektiven Durchwurzelungstiefe zu vermeiden. Aus dieser Untergrenze ergibt sich die Gründigkeit eines Standortes. Die Durchwurzelungsintensität wurde an den Schürfgruben abgeschätzt, indem in einem 1 dm² Raster die Feinwurzeln ausgezählt und in Klassen eingeteilt wurden (Tabelle 1).

Tab. 1: Klassifizierung der Bodeneigenschaften nach AG Boden (2005).

Table 1: Classification of root density according to AG BODEN (2005).

Wurzeln/dm ²	Klasse	Durchwurzelungsintensität
0	0	wurzelfrei
1–2	1	sehr schwach durchwurzelt
3–5	2	schwach durchwurzelt
6–10	3	mittel durchwurzelt
11–20	4	stark durchwurzelt
21–50	5	sehr stark durchwurzelt
> 50	6	extrem stark durchwurzelt bis Wurzelfilz

Labormethoden

Die folgenden Methoden beschreiben explizit HARTGE & HORN (2009). Die Korngrößenzusammensetzung wurde durch Nasssiebung und Pipettierung bestimmt, nachdem die gesamte organische Substanz und verkittende Substanzen entfernt wurden und eine vollständige Dispergierung gewährleistet war. Der Grobbodenanteil <2 mm wurde an den Profilgruben abgeschätzt. Die gesättigte Wasserleitfähigkeit k_f wurde mit einem Haubenpermeameter bestimmt ($n=5$). Ungestörte Bodenproben wurden herangezogen, um mittels definierter Entwässerungsstufen (-5, -10, und -30 hPa (auf einem Laborsandbad mit hängender Wassersäule); -60, -150, -300 und 500 hPa (auf keramischen Platten) und in einem Drucktopf (Überdruck +5000 und +15000 hPa)) die Porengrößenverteilung zu quantifizieren ($n=6$). Um die bei der sukzessiven Austrocknung auftretende Veränderung des Gesamtporenvolumens zu quantifizieren, wurde nach jeder Entwässerungsstufe die Schrumpfung der Proben gemessen. Als repräsentative Kennwerte werden die Luftkapazität LK (Wassergehalt bei -60 hPa), die nutzbare Feldkapazität nFK (zwischen -60 hPa und 15000 hPa = nutzbare Wasserspeicherkapazität) und der Totwasseranteil TW (15000 hPa) dargestellt. Des Weiteren wurden die ungestörten Proben bei 105°C getrocknet, um die Trockenrohdichten ρ_t zu bestimmen. Das Gesamtporenvolumen wurde anhand der Trockenrohdichten ρ_t und der Festsubstanzdichten ρ_s bestimmt. Die Festsubstanzdichten ρ_s wurden nach BLAKE & HARTGE (1986) bestimmt, mit der Modifikation, dass die Humusaufgaben bei 70°C für 48 h getrocknet (REDDING et al. 2005 ($n=3$)). Zusätzlich zu den bodenphysikalischen Untersuchungen wurden der Gehalt an organischer Substanz sowie der pH-Wert bestimmt. Der gesamte Kohlenstoffgehalt wurde mittels

Tab. 2: Klassifizierung der Bodeneigenschaften nach AG Boden (2005). Table 2: Classification of soil properties according to AG BODEN (2005).

	Einheit	sehr gering [1]	gering [2]	mittel [3]	hoch [4]	sehr hoch [5]	extrem hoch [6]
GPV ^a	[Vol.-%]	< 30	- < 38	- < 46	- < 54	≥ 54	-
LK ^b	[Vol.-%]	< 2	- < 5	- < 13	- < 26	≥ 26	-
nFK ^c	[Vol.-%]	< 6	- < 14	- < 22	- < 30	≥ 30	-
TW ^d	[Vol.-%]	< 4	- < 10	- < 22	- < 34	≥ 34	-
k _f ^e	[cm/d]	< 1	- < 10	- < 40	- < 100	< 300	≥ 300
ρ _t ^f	[Mg/m ³]	< 1.2	- < 1.4	- < 1.6	- < 1.8	≥ 1.8	-
> 2 mm ^g	[Vol.-%]	< 2	- < 10	- < 25	- < 50	- < 75	> 75

^a Gesamtporenvolumen^b Luftkapazität^c nutzbare Feldkapazität^d Totwasser* gesättigte

Wasserleitfähigkeit

^f Trockenrohdichte^g Grobbodengehalt >2 mm

coulometrischer Titration und Verbrennung mit einem Ströhlein-Coulomat 702 bestimmt (n=3). Daraus errechnet sich der Gehalt an organischer Substanz C_{org} (Faktor 2 für Humusauflagen und Faktor 1,724 für mineralische Horizonte (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002)). Der pH-Wert wurde potentiometrisch in 0.01 M CaCl₂ Lösung gemessen.

Die Untersuchungsergebnisse der physikalischen Untersuchungen wurden anhand der Klassifizierung der AG BODEN (2005) bewertet (Tabelle 2).

Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit der frei verfügbaren Software R Version 2.5.1 durchgeführt. Alle Messungen wurden auf Normalverteilung geprüft. Außer k_f (log-normal verteilt) sind alle untersuchten Parameter normalverteilt. Bei den dargestellten Werten handelt es sich um arithmetische Mittelwerte (k_f = geometrischer Mittelwert). Ob sich Mittelwerte signifikant unterscheiden, wurde anhand einer einseitigen Varianzanalyse (ANOVA) überprüft.

3. Ergebnisse und Diskussion

Standortbeschreibung

Alle untersuchten Profile sind durch Substratwechsel gekennzeichnet (Tabelle 3 und Tabelle 4). Die mineralischen Oberböden werden von schluffigem Lößlehm dominiert, der unterschiedliche Mächtigkeiten aufweist (40 bis 120 cm). Unterhalb des (umgelagerten) Lößlehms stehen zunehmend durch Grobbodenpartikel (> 2 mm) geprägte Zersatzprodukte des Ausgangsgesteins (Biotitgranit, Biotitgranodiorit) oder Geschiebelehme an, deren Feinsubstanzen schluffigen bis lehmigen Sandcharakter aufweisen. Da die flugascheangereicherten Humusauflagen teilweise C_{org}-Gehalte von weniger als 30% aufweisen, können diese nicht mehr als rein organische Horizonte klassifiziert werden. Aufgrund der Durchmischung von Humusauflagen (Of-Oh) und der akkumulierten Flugasche (γCv = lockeres, anthropogen umgelagertes verwittertes Ausgangsmaterial) werden Mischhorizonte mit entsprechendem Ausgangssubstrat Flugasche (Braunkohlenkraftwerksasche) vergeben. Daher wird in den Profilen mit Flugascheanreicherung bereits der natürliche mineralische Oberboden einem zweiten Ausgangssubstrat („II“) zugeordnet. Als Humusform dominieren (rohhumusartige) Moder.

Vorherrschende bodenbildende Prozesse im Oberboden sind Humusanreicherung („Ah“), eine leichte Podsolierung („Ae“) und eine Auswaschung von Tonpartikeln („Al“). Die mineralischen Unterböden sind durch unterschiedliche Prozesse geprägt. So ist der Prozess der Verbraunung („Bv“) als vorherrschend an den Standorten 1-1, 2-2 und 2-3 zu beobachten, Tonverlagerung als Folge der Lessivierung (Parabraunerde) konnte anhand von Körnungsunterschieden festgestellt werden. So weisen die Standorte 1-2, 1-3, und 2-1 einen Tonanreicherungshorizont („Bt“) auf. Dies führt im Zusammenspiel mit der tiefenabhängigen Zunahme der Trockenrohdichten ρ_t zu einer deutlichen Verringerung der gesättigten Wasserleitfähigkeiten k_f, so dass es zu zeitweiligem Wasserstau nach Niederschlag oberhalb dieser dichten Stauschichten („Sd“) kommt. Dementsprechend sind auch die darüber gelagerten wasserführenden Horizonte („Sw“) durch Marmorierung (Rost- und Bleichfleckung) gekennzeichnet. Diese Staunässe hat unterschiedliche Vernäsungsgrade zur Folge (nicht vernässt: Standort 2-2 bis sehr stark vernässt: Standorte 1-2, 1-3 und 2-1). Durch die Tonverlagerung (sekundärer Pseudogley) wird der durch die Substratschichtung (Lößlehm über Biotitgranit, primärer Pseudogley) bereits induzierte Stau von Niederschlagswasser noch verstärkt. Des Weiteren sind alle Standorte durch eine starke Azidität mit pH-Werten zwischen 2,9 und 4,3 geprägt; durch die Akkumulation der alkalischen Flugaschen kam es zu einer Aufbasung der Humusauflagen, die dann pH-Werte zwischen 4,2 und 5,7 aufweisen. Bei der Bewertung der Durchwurzelungsintensitäten ergeben sich deutliche Unterschiede zwischen den Standorten mit und ohne Flugascheanreicherung (Abbildung 2). So fällt eine sehr starke bis extrem starke Durchwurzelung vor allem der flugascheangereicherten Humusauflagen auf, die reinen Humusauflagen weisen eine zwar geringere, jedoch immer noch starke bis sehr starke Durchwurzelung auf. Die Durchwurzelungsintensität im mineralischen Boden nimmt mit der Tiefe rasch ab. Aufgrund der Durchwurzelungsintensitäten können Aussagen über die aktuelle Durchwurzelbarkeit (Durchwurzelungsintensität ≥ 2) getroffen werden. So sind die untersuchten Standorte als flach- bis mittelgründig einzustufen. Der Feinwurzelanteil der Klasse 1 (1-2 Feinwurzeln/dm²) ist bei den Standorten ohne Flugasche noch in Tiefen von -70 cm bis -90 cm erkennbar, hat jedoch keinen Einfluss mehr auf die Abschätzung der Durchwurzelbarkeit.

Tab. 3: Profilbeschreibungen der flugascheangereicherten Standorte 1-1, 1-2 und 1-3 (BArt = Bodenart; S, U, T = Sand, Schluff, Ton; >2 mm = Grobbo-denanteil, geschätzt; Corg = Humusgehalt; pt = Trockenrohdichte; kf = gesättigte Wasserleitfähigkeit).

Table 3: Description of the fly ash enriched sites 1-1, 1-2 and 1-3 (BArt = soil textural class, S, U, T = sand, silt, clay, Corg = humus content; further abb. see table 2).

Horizont	Tiefe cm	BArt	S %	U %	T %	>2mm %	pH CaCl ₂	C _{org} %	pt g/cm ³	kf cm/d
1-1: podsolige Pseudogley-Braunerde aus Flugasche über umgelagertem Lößlehm über Biotitgranit; flachgründig; sehr schwach vernässt; Bestand: Rotbuche (<i>Fagus sylvatica</i>)										
L	+17	-	-	-	-	-	5,7	61,6	-	-
Of-Oh +yICv	+15	Su4	51	46	2	< 2	5	21,0	0,26	1372
II A(e)h	-2	Ut2	14	77	9	< 2	3,9	5,2	1,09	106
B(s)v	-5	Ut2	15	75	10	< 2	3,8	2,9	1,29	99
Bv	-17	Ut2	9	81	10	< 2	3,8	0,9	1,44	37
Sw-Bv	-65	Ut2	9	81	10	2-< 10	3,6	0,3	1,51	33
III Sd-Cv	-105	SI4	53	34	13	≥ 75	3,7	0,0	1,62	-
1-2: podsoliger Parabraunerde-Pseudogley aus Flugasche über Lößlehm über Biotitgranit; mittelgründig; sehr stark vernässt; Bestand: Rotbuche (<i>Fagus sylvatica</i>)										
L	+12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Of-Oh +yICv	+10	Us	29	65	5	< 2	4,8	16,0	0,45	745
II A(e)h	-1	Us	13	75	12	< 2	4,0	2,6	1,09	194
Al-Sw	-9	Ut3	13	75	12	< 2	3,8	1,4	1,21	157
Bt-Swd	-22	Ut4	10	71	19	< 2	3,8	1,0	1,48	9
Btv-Swd1	-50	Ut3	10	76	14	< 2	3,7	0,5	1,53	13
Btv-Swd2	-80	Ut3	11	74	15	2-< 10	3,7	0,3	1,53	10
III Sd	-100	Slu	44	41	15	50-< 75	3,7	0,2	1,63	-
1-3: vergleyter, podsoliger Parabraunerde-Pseudogley aus Flugasche über Lößlehm über Biotitgranit; flachgründig; sehr stark vernässt; Bestand: Fichte (<i>Picea abies</i>)										
L	+15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Of-Oh +yICv	+14	Us	21	73	3	< 2	4,2	31,0	0,25	1104
II A(e)h	-3	Ut2	6	85	9	< 2	3,5	7,1	0,92	93
Al-Sw	-27	Ut3	6	82	13	< 2	3,7	1,9	1,43	30
Bt-Sd	-52	Ut4	5	77	18	< 2	3,6	0,5	1,54	3
Btv-Sd	-110	Ut3	12	73	15	< 2	3,8	2,8	1,59	1
III Go	-150	SI3	55	33	12	25-< 50	3,9	0,2	1,39	132

Tab. 4: rechts, Profilbeschreibungen der Standorte 2-1, 2-2 und 2-3 ohne Flugascheanreicherung (BArt = Bodenart; S, U, T = Sand, Schluff, Ton; >2mm = Klasse Grobbodenanteil, geschätzt; C_{org} = Humusgehalt; ρ_t = Trockenrohdichte; k_f = gesättigte Wasserleitfähigkeit).

Table 4: Description of the sites without fly ash enrichment 2-1, 2-2 and 2-3 (BArt = soil textural class, S, U, T = sand, silt, clay, C_{org} = humus content; further abbrev. see table 2).

Horizont	Tiefe cm	BArt	S %	U %	T %	>2mm %	pH CaCl ₂	Corg %	ρ _t g/cm ³	k _f cm/d
2-1: podsoliger Parabraunerde-Pseudogley aus umgelagertem Lößlehm über Geschiebelehm; mittelgründig; sehr stark vernässt; Bestand: Fichte (<i>Picea abies</i>)										
L	+6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Of	+5	-	-	-	-	-	3,2	60,4	0,54	209
Sw-A(e)h	-6	Ut3	8	79	13	<2	3,1	5,7	1,04	96
Al-Sw	-35	Ut2	7	83	11	<2	3,3	3,8	1,04	70
Bt-Sd1	-90	Ut3	6	79	15	<2	3,8	0,7	1,34	2
Bt-Sd2	-120	Ut3	5	78	17	<2	4,0	0,3	1,58	1
II Sd	-150	Lu	14	60	25	<2	4,3	0,0	1,68	1
2-2: podsolige Normbraunerde aus Lößlehm über Biotitgranodiorit; mittelgründig; nicht vernässt; Bestand: Rotbuche (<i>Fagus sylvatica</i>) und Fichte (<i>Picea abies</i>)										
L	+6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Of(Oh)	+5(2)	-	-	-	-	-	2,9	57,2	0,27	695
A(e)h	-3	Ut3	19	66	16	10 - < 25	3,1	5,3	0,47	639
B(s)v	-8	Uls	23	62	15	10 - < 25	3,7	1,9	0,87	434
Bv	-40	Uls	27	59	14	25 - < 50	3,9	0,3	1,23	714
II Bv	-80	Sl3	67	25	8	25 - < 50	3,7	0,2	1,44	1106
Cv	-150	Su3	66	27	8	50 - < 75	3,7	0,2	1,48	-
2-3: podsolige Pseudogley-Braunerde aus Lößlehm über Biotitgranodiorit; mittelgründig; mittel vernässt; Bestand: Rotbuche (<i>Fagus sylvatica</i>)										
L	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Of(Oh)	+3(1)	-	-	-	-	-	3,4	76,2	0,47	216
A(e)h	-2	Uls	38	53	9	10 - < 25	3,1	4,5	1,06	184
B(s)v	-20	Uls	36	54	10	10 - < 25	3,5	1,6	1,26	153
Sw-Bv	-35	Uls	32	58	10	10 - < 25	3,9	0,5	1,45	133
Sdw-Bv	-70	Uls	29	61	10	10 - < 25	3,9	0,3	1,57	12
II Sd-Cv	-100	Su3	64	31	5	50 - < 75	3,8	0,2	1,69	2

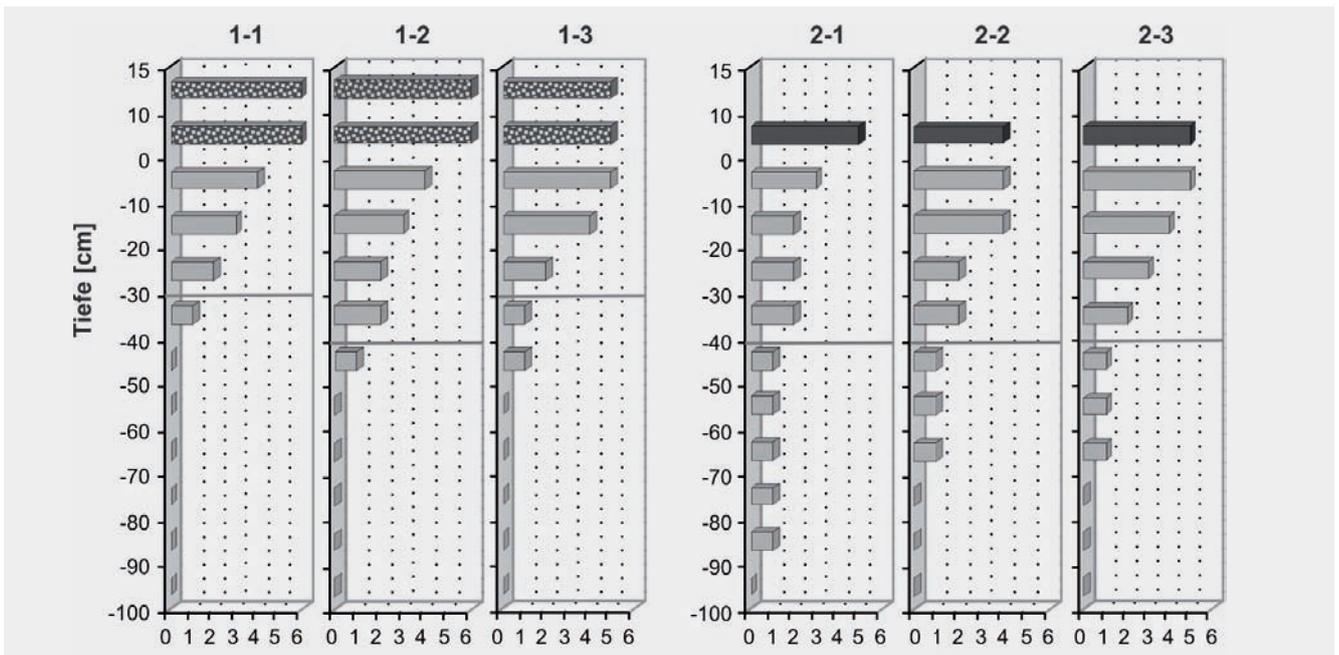


Abb. 2: Durchwurzelungsintensitäten (in Klassen nach AG BODEN (2005)) der flugascheangereicherten Standorte sowie der Standorte ohne Flugascheanreicherung.

Fig. 2: Root densities according to AG BODEN (2005) of the sites with and without fly ash enrichment.

Flugascheeinfluss auf physikalische Eigenschaften der Humusauflagen

Deutlich erhöhte Festsubstanzdichten ρ_s der flugascheangereicherten Standorte deuten auf einen hohen Anteil an mineralischen Flugaschepartikeln hin (Abbildung 3). Dadurch wird auch die Porengrößenverteilung beeinflusst. So ist bei flugascheangereicherten Standorten eine zum Teil signifikante Erhöhung der Gesamtporenvolumina GPV und der Luftkapazitäten LK zu verzeichnen, wohingegen eine signifikante Abnahme der nutzbaren Feldkapazitäten nFK trotz hoher Schluffanteile erkennbar ist. Ein eindeutiger Effekt auf den

Totwasseranteil TW ist nicht erkennbar. Eine Zunahme der Grobporen führt zu erhöhten gesättigten Wasserleitfähigkeiten k_f (Korrelation LK- k_f : $r=0,83^*$).

Bei einer bewertenden Betrachtung der Humusauflagen zeichnen sich alle Standorte durch sehr hohe GPV aus. Die flugascheangereicherten Standorte weisen eine sehr hohe LK und mittlere bis sehr hohe nFK auf, die Humusauflagen ohne Flugasche hohe bis sehr hohe LK und nFK-Werte. Der Totwasseranteil TW ist als mittel bis hoch einzustufen. Die gesättigten Wasserleitfähigkeiten k_f sind als extrem hoch einzuordnen, außer für die Standorte 2-1 und 2-3, die sehr hohe Werte aufweisen.

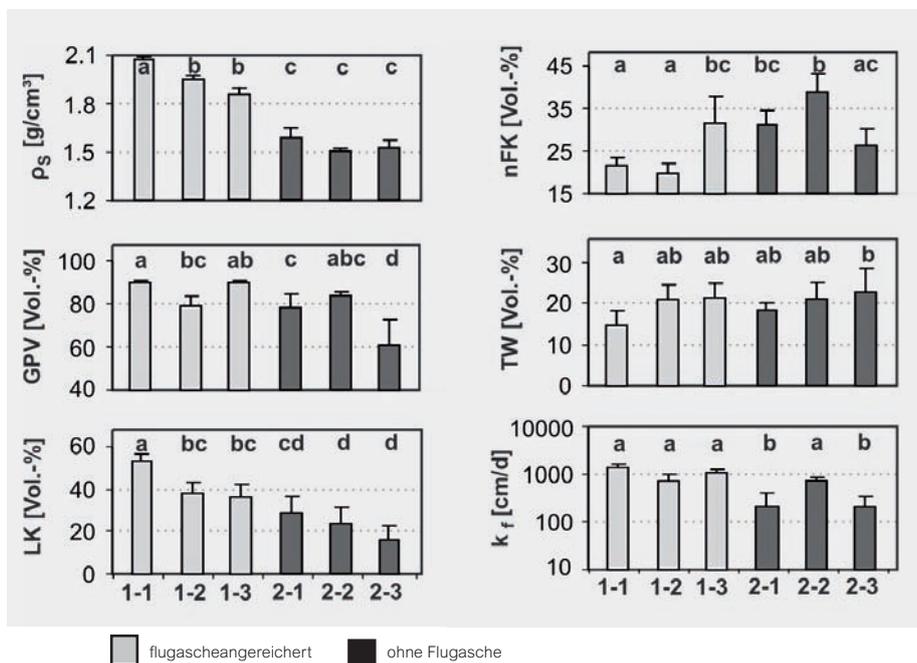


Abb. 3: Bodenphysikalische Eigenschaften flugascheangereicherter Humusauflagen (grau: 1-1, 1-2 und 1-3) sowie unbelasteter Humusauflagen (schwarz: 2-1, 2-2, 2-3) (ρ_s =Festsubstanzdichte, GPV= Gesamtporenvolumen, LK= Luftkapazität, nFK=nutzbare Feldkapazität, TW= Totwasseranteil, k_f =gesättigte Wasserleitfähigkeit; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikant unterschiedliche Mittelwerte $p<0.05$).

Fig. 3: Soil physical properties of forest floor horizons with fly ash enrichment (grey: 1-1, 1-2, 1-3) as well as without fly ash enrichment (black: 2-1, 2-2, 2-3) (ρ_s =particle density, GPV=total pore volume, LK=air capacity, nFK=plant available water, TW=water content at the wilting point, k_f =saturated hydraulic conductivity; different letters indicate statistically significant differences of means with <0.05).

Bilanzierung der mineralischen Flugaschedeposition

Für die flugascheangereicherten Humusauflagen wurden basierend auf den flugaschebürtigen mineralischen Anteilen (60 bis 79 Gew.-%), der Trockenrohichte und der Mächtigkeit die persistente mineralische Flugaschedeposition abgeschätzt. Emittentennah wurden höhere Werte berechnet als emittententfern und beziffern sich auf 280 t/ha beim Standort 1-1, auf 210 t/ha beim Standort 1-2 und auf 150 t/ha beim Standort 1-3 (Abbildung 4). Des Weiteren wurde ein hoher Sortierungsgrad der Korngrößenzusammensetzung festgestellt, der mit zunehmender Entfernung zu den Hauptemittenten eine Verschiebung der dominierenden Fraktion von Feinsand zu Grob- und Mittelschluff aufweist.

Bewertung des Flugascheeinflusses auf die nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum

Die Akkumulation von Flugasche bewirkt eine Zunahme der Mächtigkeiten der Humusauflagen (vgl. Kapitel 3.1), wodurch die nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum nFKWe erhöht wird (Abbildung 5), obwohl die flugascheangereicherten Humusauflagen im Vergleich zu nicht belasteten Auflagen geringere relative nutzbare Feldkapazitäten nFK aufweisen (vgl. Kapitel 3.2).

Die Werte für Nadelgehölz (We = 10 dm, bzw. max. bis Oberkante Sd-Horizont +1 dm) und für Laubgehölz (We = 15 dm, bzw. max. bis Oberkante Sd-Horizont +1 dm oder Ausgangsgestein) sind aufgrund der Schluffdominanz aller Standorte als mittel bis hoch für staunässegeprägte Standorte (1-2, 1-3,

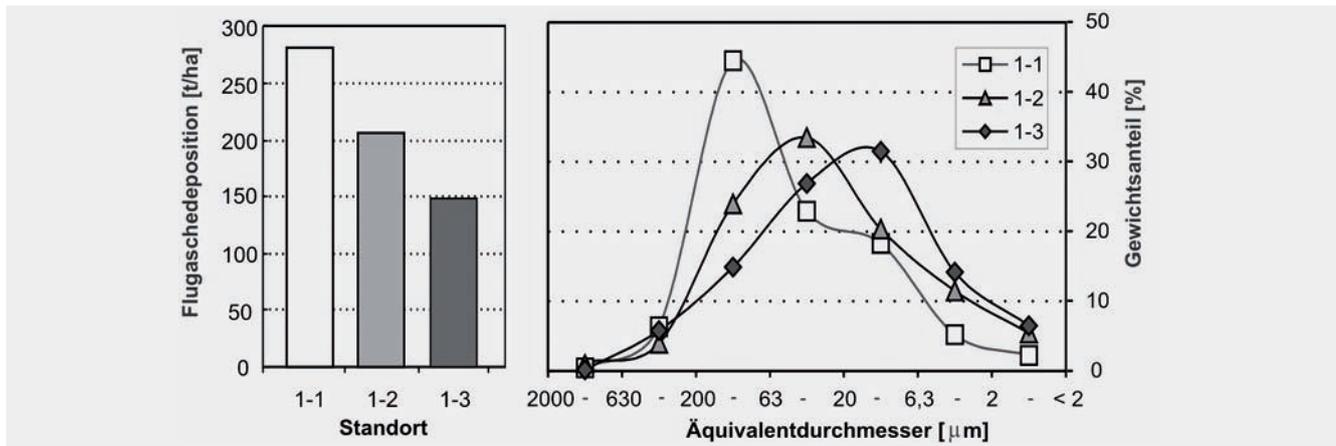


Abb. 4: Flugaschedeposition und Korngrößenzusammensetzung der mineralischen Komponente der flugascheangereicherten Standorte.

Fig. 4: Fly ash deposition and grain size distribution of the mineral component of the fly ash enriched sites.

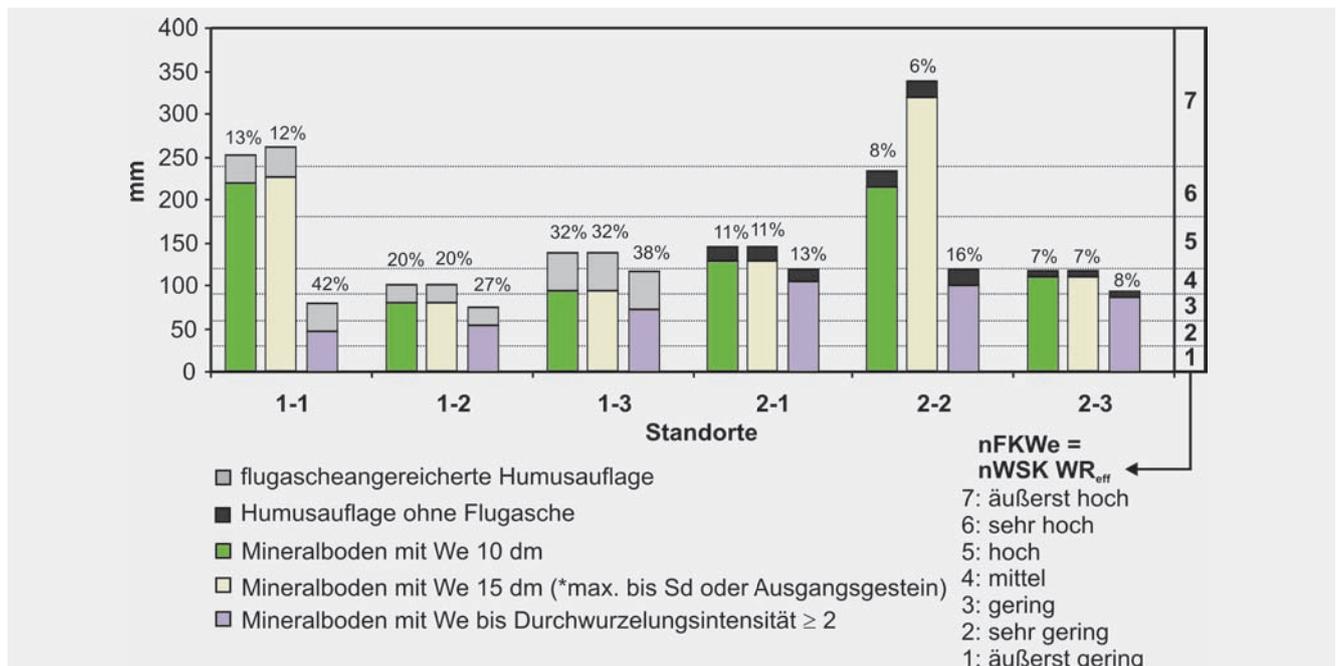


Abb. 5: Nutzbare Feldkapazitäten des effektiven Wurzelraumes nFKWe für unterschiedlich bestimmte effektive Wurzelräume We sowie relativer Anteil der Humusauflagen an der nFKWe (grün: 10 dm = Nadelbestand; gelb: 15 dm = Laubbestand und violett: aktuell bestimmt über Durchwurzelungsintensitäten ≥ 2 , vgl. Abbildung 2; Klassifizierung der nFKWe = nWSK WR_{eff} nach ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG 2003).

Fig. 5: Plant available water in the effective root zone (nFKWe) as well as the percentage of plant available water contributed by the forest floor horizons (green: 10 dm = conifer; yellow: 15 dm = deciduous trees; purple: actual rooting zone estimated due to root densities ≥ 2 , compare figure 2; classification of nFKWe = nWSK WR_{eff} according to ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG 2003).

2-1 und 2-3) und als sehr hoch bis äußerst hoch für die Standorte mit Staunässe im Untergrund (1-1), bzw. ohne Staunässe (2-2) einzustufen. Dabei stellen die flugascheangereicherten Humusauflagen 12 bis 32% der nFKWe. Die Humusauflagen ohne Flugascheanreicherung nehmen nur 6 bis 11% der nFKWe ein. Wird der effektive Wurzelraum allerdings über die an den Profilgruben bestimmten Durchwurzelungsintensitäten abgeschätzt, so fallen die gesamten nFKWe teilweise deutlich geringer aus und sind nur noch als gering bis mittel einzustufen. Auch die Standorte ohne bedeutenden Stauwassereinfluss weisen demnach nur mittlere Gründigkeiten auf. Der Anteil, den die Auflagehorizonte an der nFKWe einnehmen, vergrößert sich dementsprechend. So nehmen die flugascheangereicherten Humusauflagen 27 bis 42% ein, wohingegen der Anteil der reinen Humusauflagen nur bei 8 bis 16% liegt.

4. Diskussion

Die Untersuchung flugaschebeeinflusster Waldstandorte und insbesondere der Vergleich flugascheangereicherter Humusauflagen mit nicht belasteten Humusauflagen lassen deutliche Unterschiede erkennen, die im Zusammenspiel mit den geologischen und pedologischen Voraussetzungen den Luft- und Wasserhaushalt von Waldstandorten beeinflussen. Die Festsubstanzdichten der Humusauflagen der Standorte ohne offensichtlichen Flugascheeinfluss sind vergleichbar mit den Werten von REDDING et al. (2005) (unterschiedliche Bestände: 1,5 bis 1,6 g/cm³). Im Gegensatz dazu zeichnen sich die flugascheangereicherten Standorte durch erhöhte Festsubstanzdichten und verringerte Gehalte an organischem Material aus, so dass diese Horizonte zum Teil nicht mehr der Definition eines organischen Horizontes nach AG BODEN, (2005) (Corg \geq 30%) entsprechen (vergleiche auch (ZIKELI et al. 2002; KLOSE et al. 2003). Die Texturen der mineralischen Anteile an den flugascheangereicherten Humusauflagen sind aufgrund des hohen Sortierungsgrades und der Dominanz von Feinsanden und Schluffen typisch für äolische Sedimente. Ähnliche Texturen beschreiben BLUME & SCHLEUSS (1997) für Regosole, die sich aus Rost- und Flugasche entwickelten und des weiteren KLOSE et al. (2003) für Flugaschen in der Oberlausitz.

KLOSE & MAKESCHIN (2005) haben ebenfalls eine starke Anreicherung emittentennaher Standorte in der Oberlausitz ermittelt, allerdings sind die Gesamtmengen pro Flächeneinheit der flugascheangereicherten Horizonte (L, Of, Oh) geringer als die von uns ermittelten mineralischen flugaschebürtigen Depositionsmengen.

Entlang eines Flugaschegradienten wurden in der Dübener Heide (Sachsen-Anhalt und Sachsen im Lee der Industrieregion Bitterfeld-Wolfen) ähnliche physikalische Eigenschaften flugaschebeeinflusster Humusauflagen beobachtet (HARTMANN et al. 2007). So sind emittentennah die Festsubstanzdichten und die Luftkapazitäten ebenfalls erhöht, wohingegen die nutzbaren Feldkapazitäten verringert sind. Aufgrund geringerer Mächtigkeiten der akkumulierten Flugaschen ist der Einfluss auf die nFKWe hier jedoch geringer.

Deutlich wird, dass sich Staunässe unabhängig vom Flugascheeinfluss ökologisch vor allem auf die Durchwurzelbarkeit auswirkt. Ab einer Tiefe uGOF von 6 dm und weniger reduziert diese den Wurzelraum mit Folgen für Ertragsleistungen (nach Arbeitskreis Standortkartierung 2003). Die Sauerstoffversorgung wird für staunasse Böden als gering bewertet (DVWK 1995). Dies stimmt mit der Beobachtung überein, dass bei der Profilsprache in den von Stauwasser geprägten Horizonten kaum Feinwurzeln ausgemacht wurden. Die Akkumulation der Flugaschen jedoch bedeutet nun aufgrund der Mächtigkeitszunahme ein Zugewinn an nutzbarer Feldkapazität im effektiven Wurzelraum, der sich positiv auf den Standort auswirken kann. Die Ergebnisse können auf andere Regionen übertragen werden, die in der Vergangenheit oder auch in der Zukunft langfristigen atmosphärischen Depositionen ausgesetzt waren oder sein werden. Da Kohle der ergiebigste fossile Energieträger ist und der Verbrauch vor allem in Indien und in China, die beide die „Konvention für großräumige grenzüberschreitende Luftverschmutzung (CLRTAP)“ (UNECE 2007) nicht ratifiziert haben, gesteigert werden wird (OECD/IEA 2005), werden Industrieregionen und benachbarte Gebiete auch in Zukunft durch Flugascheakkumulationen geprägt sein.

5. Schlussfolgerungen

Humusauflagen von Waldstandorten mit einer deutlichen Anreicherung an Flugasche aus der Braunkohleverbrennung zeigen signifikant veränderte bodenphysikalische Eigenschaften im Vergleich zu Humusauflagen ohne Flugascheakkumulation. Neben einer Erhöhung der Luftkapazitäten und der gesättigten Wasserleitfähigkeiten weisen flugascheangereicherte Humusauflagen eine geringere nutzbare Feldkapazität auf als unbelastete Humusauflagen. Aufgrund deren Mächtigkeit jedoch bewirken die Flugascheanreicherungen eine deutliche Erhöhung der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum. Da auf den untersuchten Standorten die gemessene Durchwurzelung eine relative flache Gründigkeit anzeigt, ist die relative Bedeutung der Humusauflagen für die Wasserspeicherung umso größer und müssen bei der Standortbewertung beachtet werden.

Danksagung

Für die finanzielle Unterstützung durch das BMBF über den Projektträger Jülich im Rahmen des Projektes Enforchange (“ENvironments and FORests under CHANGing conditions”) (Kennzeichen SPP 0330634D) sei herzlich gedankt.

Literatur

- AG BODEN (2005): *Bodenkundliche Kartieranleitung*, 5. Aufl. (Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung), Hannover, 438 S.
- ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG (2003): *Forstliche Standortsaufnahme: Begriffe, Definitionen, Einteilungen, Kennzeichnungen, Erläuterungen*, 6. Auflage, IHW-Verlag, Eching bei München, 352 S.
- BLAKE, G. R. & HARTGE, K. H. (1986): Particle Density. KLUTE, A. (Hrsg.): *Methods of Soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods*, Amer. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Amer., Madison (Wisconsin), USA, 363–375.
- BLUME, H.-P. & SCHLEUSS, U. (1997) (Hrsg.): *Bewertung anthropogener Stadtböden*. (Hrsg.): *Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenernährung und Bodenkunde Universität Kiel (38)*, Kiel, 346 S.
- DEUTSCH-POLNISCHE KOMMISSION FÜR NACHBARSCHAFTLICHE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES UMWELTSCHUTZES (1995): *Kraftwerke und Tagebaue beiderseits der deutsch-polnischen Grenze*. Berlin, 98 S.
- DUNGER, W.; DUNGER, I.; EBGELMANN, H.-D. & SCHNEIDER, R. (1972): *Untersuchungen zur Langzeitwirkung von Industrie-Emissionen auf Böden, Vegetation und Bodenfauna des Neissetals bei Ostritz/Oberlausitz*. Abh. Ber. Naturkundemus. Görlitz 47: 1–40.
- DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft) (1995) (Hrsg.): *Bodenkundliche Untersuchungen im Felde zur Ermittlung von Kennwerten zur Standortscharakterisierung, Teil 1: Ansprache der Böden. Regeln zur Wasserwirtschaft*, 115. Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn, 42 S.
- FRITZ, H. & MAKESCHIN, F. (2007): *Chemische Eigenschaften flugaschebeeinflusster Böden der Dübener Heide*. *Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung* 46: 105–120.
- GANGLOFF, W. J.; GHODRATI, M.; SIMS, J. T. & VASILAS, B. L. (2000): *Impact of fly ash amendment and incorporation method on hydraulic properties of a sandy soil*. *Water Air and Soil Pollution* 119: 231–245.
- HARTGE, K. H. & HORN, R. (2009): *Die physikalische Untersuchung von Böden*. 4. Auflage: Stuttgart (Ferdinand Enke Verlag), 177 S.
- HARTMANN, P.; FLEIGE, H. & HORN, R. (2007): *Flugascheeinfluß auf Böden in der Dübener Heide – Physikalische Eigenschaften, Hydrophobie und Wasserhaushalt*. *Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung* 46: 79–104.
- KASTLER, M. (2005): *Einfluss der Pedogenese auf die räumliche Porengeometrie und damit verbundene hydraulische Transporteigenschaften in Böden aus Braunkohlenschichten*. *Hallenser Bodenwissenschaftliche Abhandlungen (9)*, Tönning (Der Andere Verlag), 150 S.
- KLOSE, S.; TOLLE, R.; BAUCKER, E. & MAKESCHIN, F. (2003): *Stratigraphic distribution of lignite-derived atmospheric deposits in forest soils of the Upper Lusatian region, East Germany*. *Water Air and Soil Pollution* 142: 3–25.
- KLOSE, S. & MAKESCHIN, F. (2004): *Chemical properties of forest soils along a fly-ash deposition gradient in eastern Germany*. *European Journal of Forest Research* 123: 3–11.
- KLOSE, S. & MAKESCHIN, F. (2005): *Soil properties in coniferous forest stands along a fly ash deposition gradient in eastern Germany*. *Pedosphere* 15: 681–694.
- KOCH, J.; KLOSE, S. & MAKESCHIN, F. (2002): *Long-term effect of fly ash accumulation on soil chemical properties*. 3rd International Conference on Water Resources and Environment Research 113–118.
- LUX, H. (1970): *Ergebnisse von Luftuntersuchungen im Einflußbereich der Kraftwerke um Hirschfelde (Neiße, Oberlausitz)*. *Zeitschrift für die gesamte Hygiene und ihre Grenzgebiete* 16: 185–187.
- NEUMEISTER, H.; FRANKE, C.; NAGEL, C.; PEKLO, G.; PEKLO, R. & ZIERATH, R. (1991): *Immissionsbedingte Stoffeinträge aus der Luft als geomorphologischer Faktor - 100 Jahre atmosphärische Deposition im Raum Bitterfeld (Sachsen-Anhalt)*. *Geoökodynamik* 12: 1–40.
- OECD/IEA (2005): *World energy outlook*. Paris (STEDI), 600 S.
- PATHAN, S. M.; AYLMOORE, L. A. G. & COLMER, T. D. (2003): *Properties of several fly ash materials in relation to use as soil amendments*. *Journal of Environmental Quality* 32: 687–693.
- RAISSI, F.; MÜLLER, U. & MEESENBURG, H. (2001): *Ermittlung der effektiven Durchwurzelungstiefe von Forststandorten. = Geofakten 9*. Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung, Hannover.
- REDDING, T. E.; HANNAM, K. D.; QUIDEAU, S. A. & DEVITO, K. J. (2005): *Particle density of Aspen, Spruce, and pine forest floors in Alberta, Canada*. *Soil Science Society of America Journal* 69: 1503–1506.
- RUMPEL, C.; KNICKER, H.; KÖGEL-KNABNER, I.; SKJEMSTAD, J. O. & HÜTTL, R. F. (1998): *Types and chemical composition of organic matter in reforested lignite-rich mine soils*. *Geoderma* 86: 123–142.
- SCHAAF, W.; NEUMANN, C. & HÜTTL, R. F. (2001): *Actual cation exchange capacity in lignite containing pyritic mine soils. - Journal of Plant Nutrition and Soil Science Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 164: 77–78.
- SCHAEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (2002): *Lehrbuch der Bodenkunde*. 15. Auflage: Heidelberg (Spektrum Akademischer Verlag GmbH), 593 S.
- SCHMIDT, R. (1995): *Östliche Oberlausitz*, in: *Naturräume in Sachsen. Forschungen zur deutschen Landeskunde* 238 146–150.
- UNECE (2007): *Status of the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution and its related Protocols*. – Geneve, 2 S.
- WEISDORFER, M. (1999): *Einfluss unterschiedlicher Schwefel- und Staubemissionen in der Vergangenheit auf die chemische Entwicklung von Humusauflagen und Mineralböden in Kiefernwaldökosystemen im nordostdeutschen Tiefland*. *Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung (4)*, Cottbus (Technische Universität), 214 S.
- YUNUSA, I. A. M.; EAMUS, D.; DESILVA, D. L.; MURRAY, B. R.; BURCHETT, M. D.; SKILBECK, G. C. & HEIDRICH, C. (2006): *Fly-ash: An exploitable resource for management of Australian agricultural soils*. *Fuel* 85: 2337–2344.

ZIKELI, S.; JAHN, R. & KASTLER, M. (2002): Initial soil development in lignite ash landfills and settling ponds in Saxony-Anhalt, Germany. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science, Zeitschrift Für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 165: 530–536.

Autorenanschriften

Peter Hartmann
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde
Hermann-Rodewald-Straße 2, D-24118 Kiel
Telefon +49 431 8805024
Email p.hartmann@soils.uni-kiel.de

Der Einfluss klimabedingt veränderter Bestandesstruktur auf die Temperatur- und Verdunstungsverhältnisse in der Dübener Heide/Sachsen

The effect of climatic changed stand structure on temperature and evaporation conditions in the Duebener Heide/Saxony

Björn Fischer, Valeri Goldberg, Christian Bernhofer

Abstract

From the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) an expected air temperature increase between 2.5°C and 3.5°C is given for the 21st Century in Central Europe. At the local level (Saxony) also a change in precipitation regimes is expected. Slightly increasing winter and clearly decreasing summer precipitation lead to a reduction of the available ground water in the growing season. These changes lead to a change in the canopy climate, which affects the canopy itself. To investigate this feedback between the forest microclimate and canopy structure development is the major objective of this study.

For that, simulations with the vegetation-atmosphere boundary layer model HIRVAC are used to quantify the variability of the forest climate. As input for the model investigations changing canopies for the actual state and for the IPCC scenarios B1 and A2 and for different age categories from the forest growth simulator BALANCE were used. The results show very well the interaction between changing external climate conditions, a variable stand structure, and the variability of the forest microclimate. With the assumption the mean summer temperature will increase, and the summer precipitation will be reduced in the future, an intensification of the temperature extremes in the canopy can be expected. But otherwise a maximum damping effect of crown temperature of a possible forest between 5.4°C and 6.2°C could be simulated with HIRVAC depending on the considered climate scenario. Therefore, the forest planning is a possible instrument to control the climate conditions of the forests in the future.

Keywords: canopy climate, climate scenario, boundary layer model

Zusammenfassung

In den Untersuchungen des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) wird für das 21. Jahrhundert in Mitteleuropa von einem Temperaturanstieg zwischen 2,5°C und 3,5°C ausgegangen. Auf der lokalen Ebene (Sachsen) wird ebenfalls eine Veränderung des Niederschlagsregimes erwartet. Leicht zunehmende Winter- und abnehmende Sommerniederschläge führen zu einer Reduzierung des verfügbaren

baren Bodenwassers in der Vegetationsperiode. Diese Veränderungen führen zu einer Veränderung des Bestandes-Innenklimas, das wiederum von den Beständen selbst beeinflusst wird. Diese Abschätzung der Bedeutung der Rückkopplung zwischen dem Mikroklima und der Bestandeseentwicklung ist dabei eine wesentliche Herausforderung.

In dieser Studie wird mit Hilfe modellgestützter Untersuchungen (Vegetations-Atmosphären Grenzschichtmodell HIRVAC) die Variabilität des Bestandes-Innenklimas quantifiziert. Hierbei wurden Modellbestände für den Ist-Zustand und für die IPCC Szenarien B1 und A2 sowie für unterschiedliche Altersklassen als Output des Waldwachstumsmodells BALANCE herangezogen. Die Ergebnisse zeigen, wie sich unter diesen Voraussetzungen das Bestandes-Innenklima und dessen Variabilität verändert. So kann unter der Annahme der Erhöhung der mittleren Sommertemperaturen und einer Reduzierung des Niederschlags von einer Verschärfung der Extreme von Luft- und Vegetationsoberflächentemperaturen in den Beständen ausgegangen werden. Durch Optimierung der Bestandesstruktur konnten jedoch maximale Dämpfungsraten der Temperaturen im Kronenbereich zwischen 5,4°C und 6,2°C in Abhängigkeit der betrachteten Klimaszenarien mit HIRVAC berechnet werden. Damit stellt der Waldbau möglicherweise ein wichtiges Instrument zur Klimaregulierung innerhalb der Bestände der Zukunft dar.

Schlüsselwörter: Bestandes-Innenklima, Klimaszenarien, Atmosphärisches Grenzschichtmodell

1. Einleitung

Hintergrund

Die Änderung der klimatischen Randbedingungen ist eine wesentliche Antriebsgröße für die Szenarien der zukünftigen Waldentwicklung. In den aktuellen Ergebnissen des Berichts des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2007) wird für das 21. Jahrhundert in Mitteleuropa, basierend auf der Annahme realistischer Szenarien (konstantes Wirtschaftswachstum, global oder regional koordinierte moderate Maßnahmen zur Treibhausgasreduktion), von einem wahrscheinlichen Temperaturanstieg zwischen 2,5°C und

3,5°C ausgegangen. Neben dem Anstieg der mittleren Temperatur zeigen die Klimaprojektionen für Mitteleuropa und speziell für Sachsen auch eine deutliche Veränderung des Niederschlagsregimes. So werden abnehmende Sommerniederschläge in Kombination mit höheren mittleren Temperaturen und höherer Sonneneinstrahlung zu einer deutlichen Abnahme des verfügbaren Bodenwassers und damit zu einer Verschlechterung der forstlichen Klimarandbedingungen führen (GOLDBERG et al. 2007, HÄNTZSCHEL et al. 2006).

Die Veränderung des Regionalklimas (Makroklima im forstlichen Sinn) im Zuge des globalen Wandels führt zu einer Veränderung des Bestandes-Innenklimas (Mikroklima), das wiederum von den Beständen selbst mitgeprägt wird. Diese Interaktion kann die Wachstumsbedingungen von Wäldern wesentlich beeinflussen: Wachstumsfaktoren wie Wasser, Einstrahlung, Lufttemperatur und Luftfeuchte, aber auch das Auftreten von Frost und Dürre, werden im Wald vom Bestandes-Innenklima bestimmt. Für seine Quantifizierung unter geänderten Randbedingungen (Regionalklima, Bestandesstruktur, Bodenwasserhaushalt, Säure- und N-Belastung, etc.) werden rückkoppelnde Modelle eingesetzt, die die Wechselwirkung des Bestandes-Innenklimas mit der Bestandesstruktur physikalisch sinnvoll beschreiben.

Stand der Forschung

Das Mikroklima (Bestandes-Innenklima) wird sowohl durch das Gelände, den Bestand, seinem Strahlungs-, Wasser- und Nährstoffhaushalt als auch durch das Regionalklima (Makroklima) bestimmt. So unterliegen z. B. die Einstrahlung und die Wasserversorgung einer starken Beeinflussung durch die Verteilung der Biomasse im Bestand, das heißt, sie sind abhängig von der Bestandesstruktur, ausgedrückt etwa durch den Blattflächenindex (LAI: Blattfläche pro Bodenfläche) und den Überschirmungsgrad. Die Abbildung dieser Wechselwirkungen im System Boden-Pflanze-Atmosphäre wird häufig durch sogenannte SVAT-Modelle (Soil-Vegetation-Atmosphäre-Transfer) vorgenommen (z. B. SELLERS et al. 1996). Diese Modelle enthalten zumeist einen ein- oder zweischichtigen so genannten Bigleaf-Ansatz (z. B. MURPHY UND LORENZ 1985), welcher keine differenzierte Betrachtung der existierenden vertikalen Bestandesstruktur erlaubt. Eine räumlich differenziertere Betrachtung wird durch Waldwachstumsmodelle ermöglicht, die eine bessere vertikale Struktur (RYEL 1993) und eine Beschreibung der Strahlungsinterzeption unter Berücksichtigung differenzierter physiologischer Eigenschaften von Einzelpflanzen (FALGE et al. 1997) aufweisen. Zur Untersuchung der Interaktion hoher Bestände mit der Atmosphäre wurden vertikal hoch aufgelöste atmosphärische Grenzschichtmodelle mit Vegetationsmodulen erweitert (GOLDBERG UND BERNHOFER 2008; ZENG et al. 2003). Modelle dieser Art lösen die prognostischen Gleichungen für Impuls, Wärme und Feuchte in der Atmosphäre und für mehrere Schichten des Bestandes. Für die Übertragung von Parametrisierungen auf andere Bestände und für Szenarienrechnungen ist dabei eine möglichst prozessnahe Modellierung vom Energie- und Stofftransfer im System Boden-Vegetation-Atmosphäre grundlegend (MENZEL 1997; RAUPACH

1998; GOLDBERG UND BERNHOFER 2001; WULLSCHLEGER 2002). Konsequenzen, die sich aus der Wechselwirkung von Bestandesstruktur, mikroklimatischen Prozessen im Bestand und geänderten klimatischen Rahmenbedingungen u. a. für den Waldbau ergeben, lassen sich daher nur unter Verwendung von rückkoppelnden Modellen abschätzen (BERNHOFER et al. 2001).

Ziele der Studie

Die in der vorliegenden Studie präsentierten Ergebnisse basieren auf modellgestützten Untersuchungen zur Wechselwirkung einer dynamischen, von der regionalen Klimaänderung beeinflussten Bestandesentwicklung mit dem Bestandes-Innenklima. Diese Untersuchungen wurden mit dem Atmosphärenmodell HIRVAC (High Resolution Vegetation Atmosphere Coupler), (FISCHER et al. 2008, GOLDBERG UND BERNHOFER 2008) innerhalb eines Teilprojektes der Professur für Meteorologie der TU Dresden im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes ENFORCHANGE (www.enforchange.de) durchgeführt. Das wesentliche Ziel dieses Forschungsteilprojektes bestand darin, die lokale Klimawirkung auf die Standortsdrift vor dem Hintergrund eines geänderten großräumigen Klimas zu bewerten. Die erzielten Modellergebnisse dienen als Basis, klimatisch angepasste Bestandstypen abzuleiten, die den transienten Charakter der Klimaentwicklung des 21. Jahrhunderts berücksichtigen.

Es galt die entscheidende Frage zu beantworten: Welche Relevanz haben rezente und künftige regionalspezifische Klimaänderungen für die Forstwirtschaft unter Berücksichtigung der klimatischen Variabilität, und ist es möglich, durch gezielte Eingriffe in die Bestandesstruktur eine projizierte ungünstige Veränderung der Klimarandbedingungen teilweise oder ganz zu kompensieren? Als Beispiel für die regionalspezifischen Klimaänderungen seien die Veränderungen der Jahressummen der Niederschläge und der Jahresmittelwerte der Lufttemperaturen von 1951–2006 für Wittenberg dargestellt (Abbildung 1). Es ist deutlich die Zunahme der Temperatur zu beobachten, die mit einer Reduzierung des Niederschlags einhergeht.

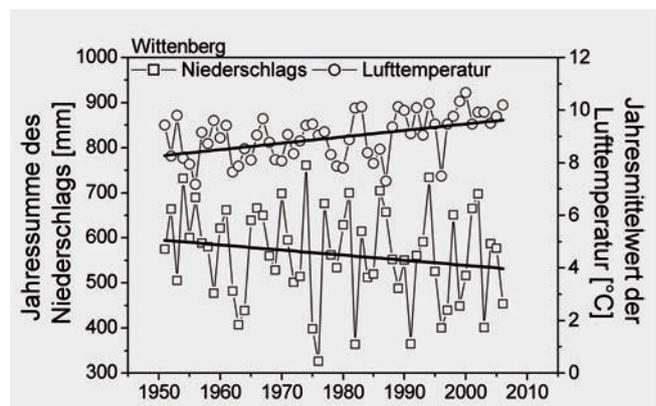


Abb. 1: Darstellung der Jahressummen der Niederschläge und der Jahresmittelwerte der Lufttemperaturen mit den dazugehörigen Trends von 1951–2006 für Wittenberg.

Fig. 1: Description of the annual sum of precipitation and annual averages of air temperature with the corresponding trends from 1951–2006 for Wittenberg.

2. Material und Methoden

Bestandes-Innenklimamodell HIRVAC

Bei dem für die Modellierung des Bestandes-Innenklimas genutzten Modell HIRVAC handelt es sich um ein 1,5-dimensionales Atmosphärisches Grenzschichtmodell (das Modell verfügt nur über eine Vertikalkoordinate, aber horizontale Flüsse können vorgegeben werden) mit angekoppelten Modulen für den Bodenwasserhaushalt und die Vegetation (Abb. 2, FISCHER et al. 2008, GOLDBERG UND BERNHOFER 2008). Das Modell hat in der Standardversion eine Auflösung von 120 Schichten und löst die prognostischen Gleichungen für Impuls, Temperatur und Feuchte in 15-Minuten-Zeitschritten. Das Modell HIRVAC kann mit selbst generierten Daten, aber auch mit Messwerten betrieben werden. Als meteorologische Eingangsdaten werden Globalstrahlung, Atmosphärische Gegenstrahlung, Bodentemperatur in 90 cm Tiefe, Niederschlag und die CO_2 -Konzentration genutzt. Das Bodenmodul wurde vom Wasserhaushaltsmodell BROOK90 abgeleitet und wird in maximal fünfzehn Schichten unterteilt (BAUMS et al. 2005).

Die Vegetation wird durch zusätzliche Quell- und Senkterme in den Grundgleichungen des Modells berücksichtigt. Diese Terme werden mit Vegetationsparametern (Kronenschlussgrad, Blattflächendichte, Formwiderstand) parametri-

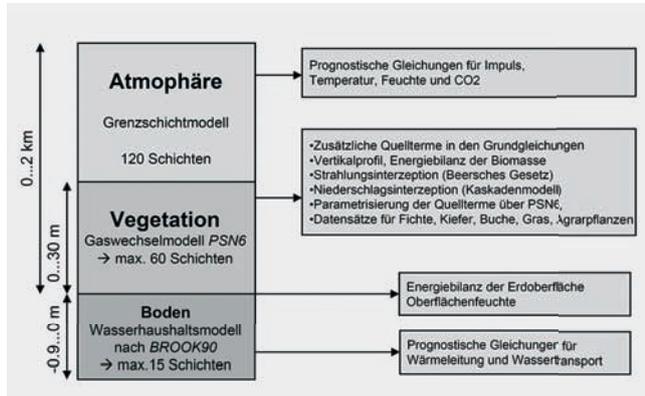


Abb. 2: Schematische Darstellung der Hauptmodule im Modell HIRVAC.

Fig. 2: Schematic description of the main modules in the model HIRVAC.

Bestandesdaten

Im Rahmen der Kooperation innerhalb des Verbundprojektes Enforchange wurden auf Basis des Waldwachstumsmodells BALANCE (TU München, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, GROTE UND PRETZSCH 2002; RÖTZER et al. 2009; vgl. Artikel MOSHAMMER et al.) vier Modellbestände der Dübener Heide, anhand von Standortkartierungen, abgeleitet und für die Bestandes-Innenklimasimulationen im Modell HIRVAC zur Verfügung gestellt. Diese Modellbestände besitzen die statistischen Eigenschaften der Originalbestände aus dem Untersuchungsgebiet. Hierbei handelte es sich um Buchenbestände der Altersklassen 30–50, 65–85, 95–115 und 115–

siert und hängen von den Impuls-, Temperatur- und Feuchtegradienten zwischen Vegetationsoberfläche und der Atmosphäre sowie den stomatären und Grenzschichtleitwerten auf der Vegetationsoberfläche ab. Diese Leitwerte werden durch das mechanistische Photosynthesemodell PSN6 (Universität Bayreuth, FALGE et al. 1996) für unterschiedliche Vegetationstypen berechnet. Das Modell PSN6 ist mit dem Grenzschichtmodell gekoppelt, und zu jedem Zeitschritt und für jede Modellschicht im Vegetationsraum erfolgt ein kontinuierlicher Austausch von stomatärem und Grenzschichtwiderstand (Vegetation-Atmosphäre) bzw. Lufttemperatur, Luftdruck, Windgeschwindigkeit, Luftfeuchte, photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) und CO_2 -Konzentration (Vegetation-Atmosphäre, Abb. 3). Eine weitere Kopplung erfolgt zwischen Boden und Vegetation über die Bodensaugspannung. Die Bodenwasserverfügbarkeit steuert gemeinsam mit Luftfeuchte und Lufttemperatur die physiologische Regulierung der Pflanzentranspiration im Modell PSN6 bei Trockenheit (Abb. 3, unten). Wichtige Outputgrößen von HIRVAC sind Vertikalprofile der Boden-, Luft- und Vegetationsoberflächentemperatur sowie der Boden- und Luftfeuchte, der kurz- und langwelligen Strahlungskomponenten, der Windgeschwindigkeit und der CO_2 -Konzentration der Luft. Derzeit kann mit HIRVAC das Bestandes-Innenklima für Fichten-, Kiefern-, Buchen- und Grasbestände sowie verschiedene Agrarkulturen simuliert werden.

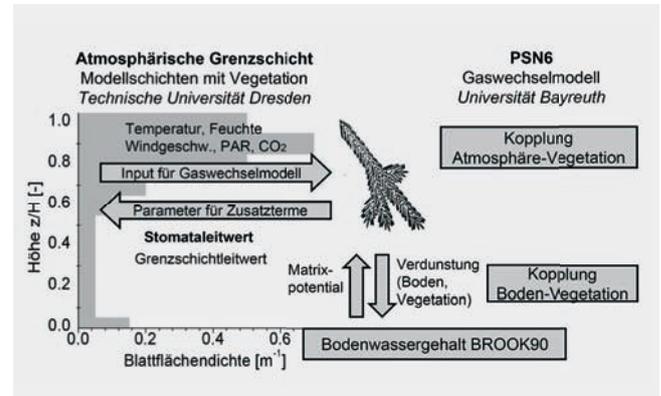


Abb. 3: Schema der Kopplung von Vegetation, Atmosphäre und Boden in HIRVAC.

Fig. 3: Scheme of the coupling of vegetation, atmosphere and soil in HIRVAC.

135 Jahre, die anhand von Bestandeskartierungen des Untersuchungsgebietes erstellt wurden. Die Ausdehnung der Modellbestände beträgt, je nach Baumanzahl, ca. $23 \times 23 \text{ m}^2$ bis ca. $80 \times 80 \text{ m}^2$ (modellbedingt). Für die Modellierung der Variabilität des Bestandes-Innenklimas wurden die Bestände in gleichgroße Teilflächen mit Kantenlängen zwischen 12 m und 16 m untergliedert. Für diese Areale erfolgte die jeweilige Parametrisierung der Vegetation in HIRVAC in Abhängigkeit der Vegetationsangaben der vom Modell BALANCE gelieferten Einzelbäume.

Die Abbildungen 4a bis 4d zeigen die horizontale Variabilität

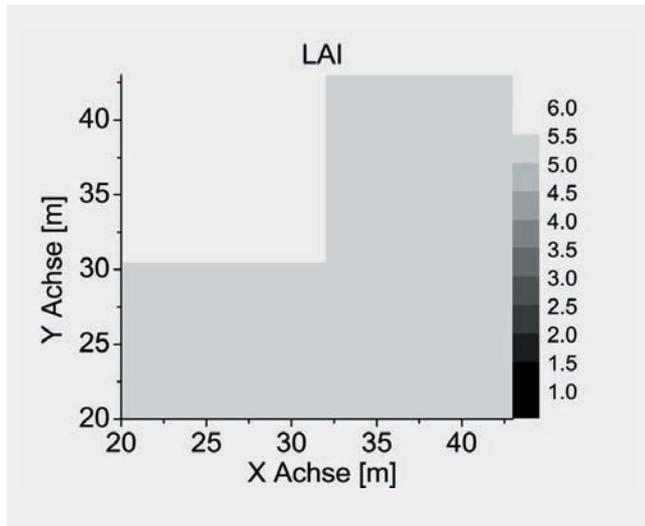


Abb. 4a: Horizontale Variabilität des LAI eines Modellbuchenbestandes (39 Jahre) für den Klima-Ist-Zustand auf Basis der Ergebnisse des Waldwachstumsmodells BALANCE.

Fig. 4a: Horizontal variability of the LAI of a model beech canopy (39 years) for the climatic-actual-state on the base of the results of the forest growth model BALANCE.

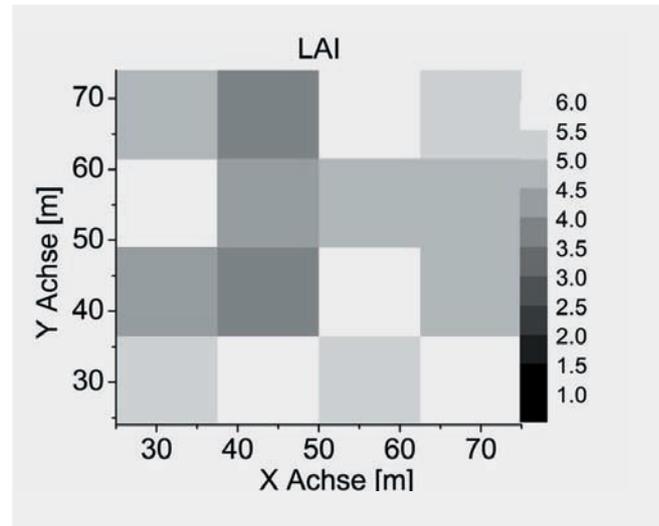


Abb. 4b: Horizontale Variabilität des LAI eines Modellbuchenbestandes (74 Jahre) für den Klima-Ist-Zustand auf Basis der Ergebnisse des Waldwachstumsmodells BALANCE.

Fig. 4b: Horizontal variability of the LAI of a model beech canopy (74 years) for the climatic-actual-state on the base of the results of the forest growth model BALANCE.

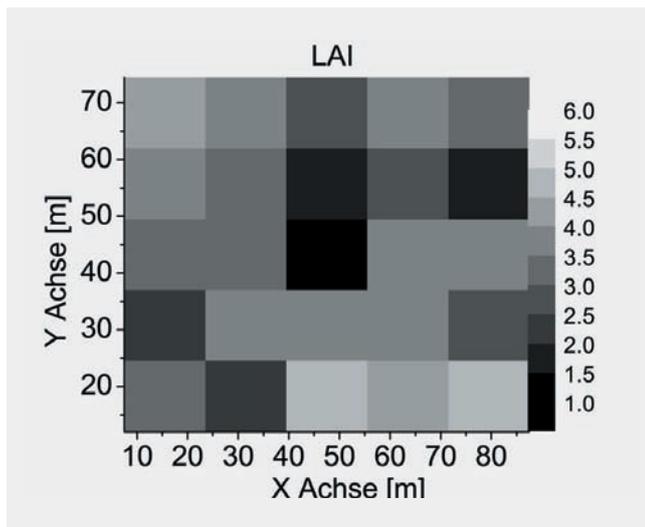


Abb. 4c: Horizontale Variabilität des LAI eines Modellbuchenbestandes (104 Jahre) für den Klima-Ist-Zustand auf Basis der Ergebnisse des Waldwachstumsmodells BALANCE.

Fig. 4c: Horizontal variability of the LAI of a model beech canopy (104 years) for the climatic-actual-state on the base of the results of the forest growth model BALANCE.

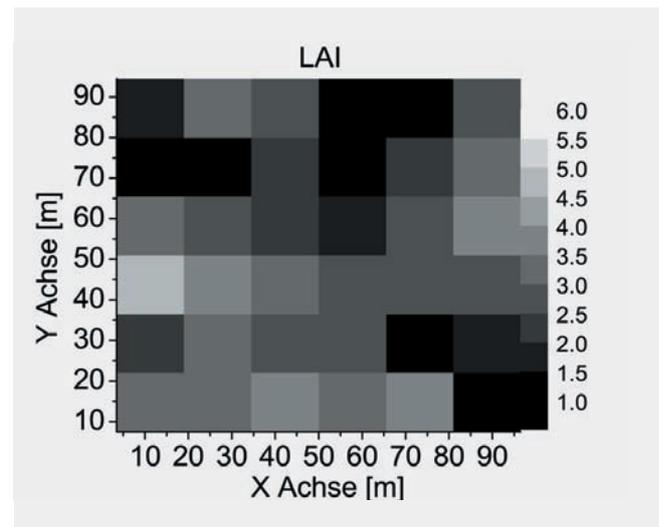


Abb. 4d: Horizontale Variabilität des LAI eines Modellbuchenbestandes (124 Jahre) für den Klima-Ist-Zustand auf Basis der Ergebnisse des Waldwachstumsmodells BALANCE.

Fig. 4d: Horizontal variability of the LAI of a model beech canopy (124 years) for the climatic-actual-state on the base of the results of the forest growth model BALANCE.

des Blattflächenindex (LAI) in unterschiedlich alten Modellbuchenbeständen für die aktuellen Klimabedingungen, abgeleitet aus den Ergebnissen des Waldwachstumsmodells BALANCE. Die z. T. hohe Variabilität innerhalb des Bestandes begründet sich aus den in BALANCE inkludierten Konkurrenzbeziehungen (Einstrahlung, Wasser) zwischen den Einzelindividuen, die zur Dominanz, Unterdrückung und auch zum „Absterben“ von Modellbäumen führt. So befinden sich auf einigen Teilflächen dominierende Bäume (hoher LAI), während auf anderen Teilflächen bereits kleine Freiflächen durch die fehlende Vegetation entstanden sind.

Bewertungsmethode

Die Auswertung der Simulationsergebnisse erfolgte mit statistischen Box-Plots, die Mittelwert, Median, die Perzentile P25, P75 und P95, sowie die minimalen und die maximalen Werte der jeweiligen Perioden darstellen (Abb. 5). Die Prozentangaben bezeichnen den Schwellwert für bestimmte kumulativ erreichte Teilmenge aller Daten. Bei 50% ist der Median der Datengesamtheit erreicht.

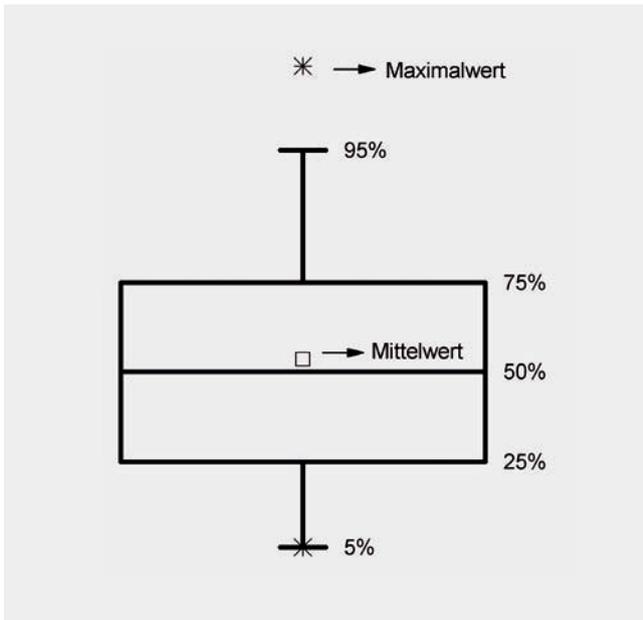
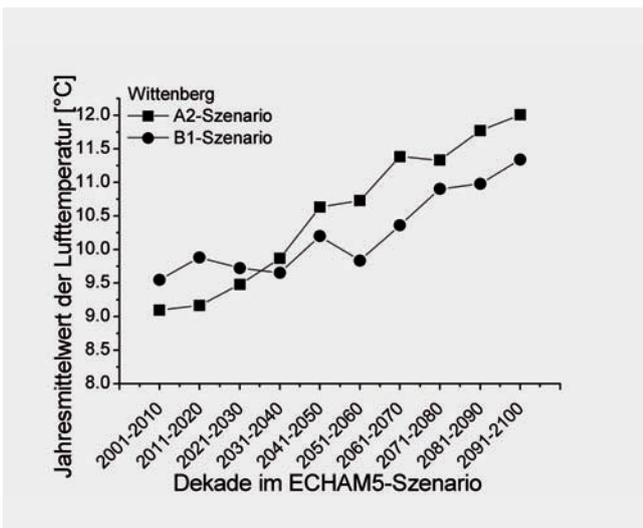


Abb. 5: Aufbau des in den Abb. 8–10 verwendeten Box-Plot-Typs.

Fig. 5: Structure of the used Box-plot-type in the figures 8–10.



3. Ergebnisse

Bestandesentwicklung in verschiedenen Klimaszenarien

Die Ableitung der Bestandesstrukturparameter im Modell HIRVAC, die für die Modellierung eines variablen Bestandes-Innenklimas notwendig waren, erfolgte auf Grundlage einer simulierten Bestandesentwicklung aus dem Modell BALANCE für den Klima-Ist-Zustand und die IPCC-Szenarien B1 (moderate Wirtschaftsentwicklung und Treibhausgasemission) und A2 (stärkere Wirtschaftsentwicklung und Treibhausgasemission – „business as usual“).

Die Abbildungen 6a und 6b zeigen beispielhaft die Entwicklung der Jahresmittelwerte der Lufttemperaturen und der Jahressummen der Niederschläge in diesen beiden Klimaszenarien für die Station Wittenberg (ca. 20 km nordöstlich der Testflächen in der Dübener Heide) auf Basis von Modellrechnungen mit dem deutschen Klimamodell ECHAM5 (ROECKNER et al. 2003). In beiden Szenarien kommt es zu einem deutlichen Anstieg der Temperatur bei gleichzeitigem Niederschlagsrückgang.

Dies führt zu unterschiedlichen Bestandesentwicklungen im Modell BALANCE. Die Abbildungen 7a und 7b zeigen beispielhaft die Entwicklung des mittleren Blattflächenindex (LAI) für einen jungen Buchenbestand (30–50 Jahre) und einen alten Buchenbestand (115–130 Jahre) in der Vegetationsperiode einer 20 Jahres-Simulation für die unterschiedlichen Szenarien (Ist-Zustand: 1981–2000, B1 und A2 Szenario: 2081–2100). Zum einen ist in den Ergebnissen eine Abnahme des LAI mit zunehmendem Bestandesalter zu erkennen. Einzelne Bäume im Bestand werden dominanter und erhöhen ihre Blattmasse, andere dagegen sterben im Laufe der Zeit ab. Mit Zunahme der Temperatur und Abnahme des Niederschlags bei den Klimaszenarien B1 und A2 reduziert sich der LAI. Dies ist auf eine Zunahme von Stressperioden während der Entwicklung zurückzuführen. Die statistische Signifikanz der Reduzierung des LAI in Abhängigkeit der Klimaszenarien gegenüber dem Ist-Zustand beträgt für diese Bestände über 90 %.

Abb. 6a: Entwicklung der Jahresmittelwerte der Lufttemperatur für Wittenberg im 21. Jahrhundert in den Szenarien B1 und A2.

Fig. 6a: Trend of annual mean air temperature for Wittenberg in the 21st Century in the scenarios B1 and A2.

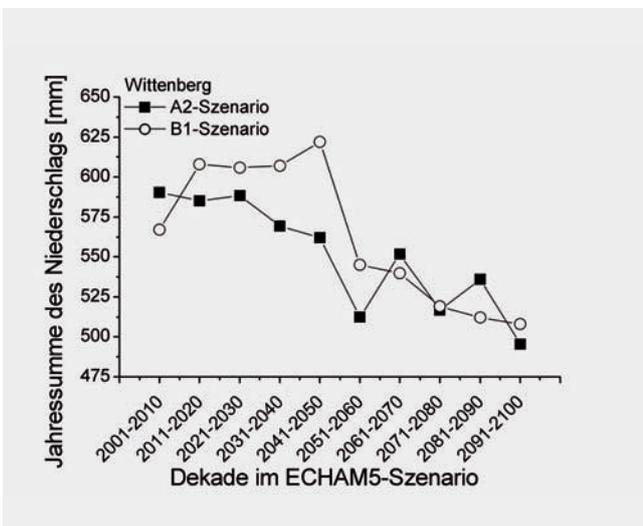


Abb. 6b: Entwicklung der Jahressummen des Niederschlags für Wittenberg im 21. Jahrhundert in den Szenarien B1 und A2.

Fig. 6b: Trend of annual sum of precipitation for Wittenberg in the 21st Century in the scenarios B1 and A2.

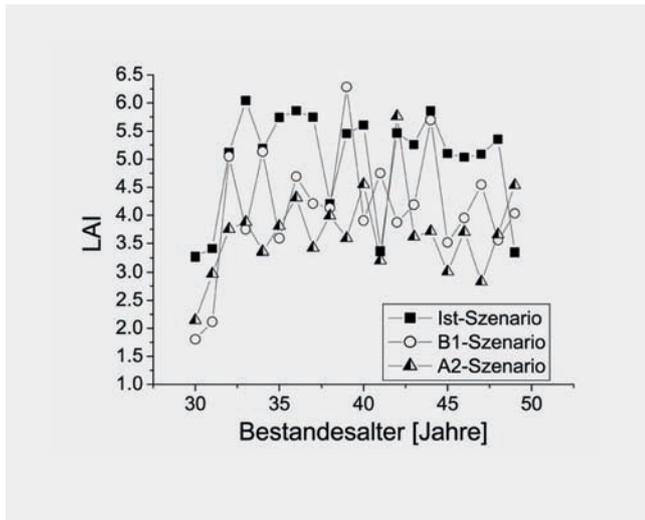


Abb. 7a: Entwicklung des mittleren LAI eines jungen Buchenbestandes (30–50 Jahre) für 3 Szenarien.

Fig. 7a: Development of the middle LAI of a young beech canopy (30–50 years) for 3 scenarios.

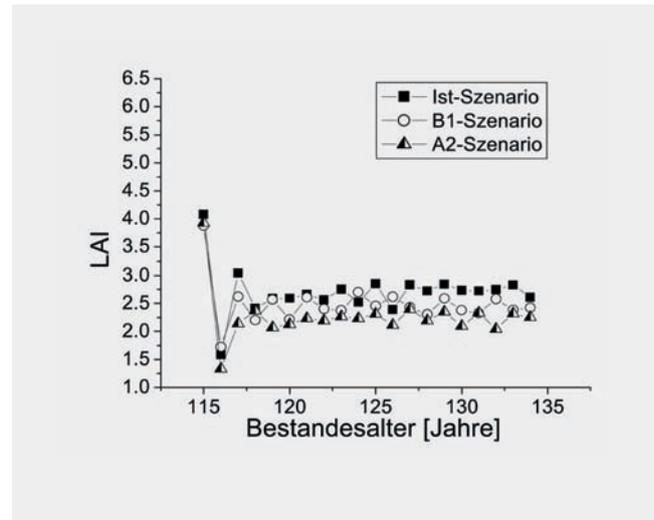


Abb. 7b: Entwicklung des mittleren LAI eines alten Buchenbestandes (115–130 Jahre) für 3 Szenarien.

Fig. 7b: Development of the middle LAI of a young beech canopy (115–130 years) for 3 scenarios.

Variabilität des Bestandes-Innenklimas für das Ist-Szenario in Abhängigkeit von der Bodensaugspannung

Die Bodensaugspannung ist eine zentrale Steuergröße für das Bestandes-Innenklima, da sie nachhaltig die Verdunstung und damit die Bestandestemperatur beeinflusst (FISCHER et al. 2008). Gleichzeitig weist die Bodensaugspannung natürlicherweise eine hohe Variabilität auf (feuchte und trockene Perioden) und ist deshalb gut geeignet, eine möglichst realistische Variabilität des Bestandes-Innenklimas zu simulieren. Für die HIRVAC-Modellrechnungen wurde die Bodensaugspannung in einem Intervall von 10 kPa (extrem feucht) bis 800 kPa (extrem trocken) variiert. Die benötigten Vegetationsparameter basierten auf einer mit dem Modell BALANCE simulierten 20-jährigen Bestandesentwicklung für das Ist-Szenario (Zeitraum 1981–2000). Alle Simulationen mit HIRVAC wurden für einen wolkenlosen Julitag durchgeführt. Abbildung 8 zeigt die Tagessumme der Verdunstung und das tägliche Maximum der Vegetationsoberflächentemperatur bei variabler Bodensaugspannung (Pflanzenverfügbarkeit des Bodenwassers) für das Ist-Szenario und die vier Modellbuchenbestände. Die Resultate verdeutlichen die Abhängigkeit der Verdunstung und der Vegetationsoberflächentemperatur von der Bodensaugspannung. Bis zu einer Saugspannung von 100 kPa (feuchter Boden) sind nur geringe Unterschiede bei den Modellergebnissen zu erkennen. Bei weiterer Absenkung der Bodensaugspannung kommt es zu einer kontinuierlichen Abnahme der Verdunstung. Bei einem Wert von 800 kPa (einem sehr trockenen Boden) liegt die Verdunstung bei weniger als 1 mm pro Tag. Die höchsten Verdunstungswerte werden beim Jungbestand modelliert, da dieser den höchsten Blattflächenindex aufweist (Abb. 4a–4d). Hier werden durchschnittlich 3,5 mm bis 4 mm pro Tag erzielt, während beim Altbestand die Tageswerte der Verdunstung auf ca. 2,5 mm bis 3 mm absinken. Die Temperatur weist ein entgegengesetztes Verhalten im Bezug auf die Verdunstung auf. Hier kommt es bei steigender Bodensaugspannung (sin-

kende Bodenwasserverfügbarkeit) zu einem Anstieg des täglichen Maximums der Vegetationsoberflächentemperatur. Durch das fehlende Wasser wird deutlich weniger Energie in Form von latenter Wärme abgeführt, was zu einer Erhöhung der Oberflächentemperatur und damit auch zu einer Erhöhung der Gesamttemperatur im Bestand führt. Die höchsten Mittelwerte der Vegetationsoberflächentemperaturen werden für einen Altbestand modelliert und erreichen bei feuchtem Boden ca. 28°C. Bei zunehmender Trockenheit steigen diese Temperaturen auf über 30°C an. Dies wird zum einen durch die lichte Struktur des Bestandes hervorgerufen, wodurch ein höherer Anteil der Strahlung in den Bestand eindringen kann und zu einer stärkeren Erwärmung führt (vergleiche FLEMMING 1982). Zum anderen wird aufgrund der geringeren Verdunstung weniger latente Wärme aus dem Bestand abgeführt.

Die Variabilität der Verdunstung und der Temperatur während der Modellierungsperiode wird durch die Spannweite in den Box-Plots abgebildet. Die größten Unterschiede in der Verdunstung sind bei den jüngeren Beständen zu erkennen. Unter optimaler Wasserversorgung variieren die Werte bis zu 2,5 mm. Bei den Altbeständen liegen die Unterschiede dagegen nur bei ca. 0,5 mm. Diese abweichende Variabilität begründet sich in der unterschiedlich hohen Variabilität der Blattflächenindizes der Bestände. Der Jungbestand (Abb. 8, oben) weist in der 20-jährigen Simulationsperiode die höchsten Schwankungen im LAI auf. Mit zunehmendem Alter werden dagegen nur in extremen Jahren deutliche Abweichungen vom mittleren Blattflächenindex modelliert (vgl. Abb. 7a). Aus diesem Grund nimmt auch die Variation der Vegetationstemperatur mit zunehmendem Bestandesalter ab. Die Ausreißer bei den zwei älteren Beständen (Maximalwerte der Temperaturen, Abb. 8, unten) sind darauf zurückzuführen, dass in diesen Beständen im zweiten Jahr des Modellierungszeitraums ein deutlich geringerer LAI-Wert auftrat (vgl. Abb. 7b). Dies führt zu einer deutlich erhöhten Einstrahlung und damit einer stärkeren Erwärmung des Bestandes.

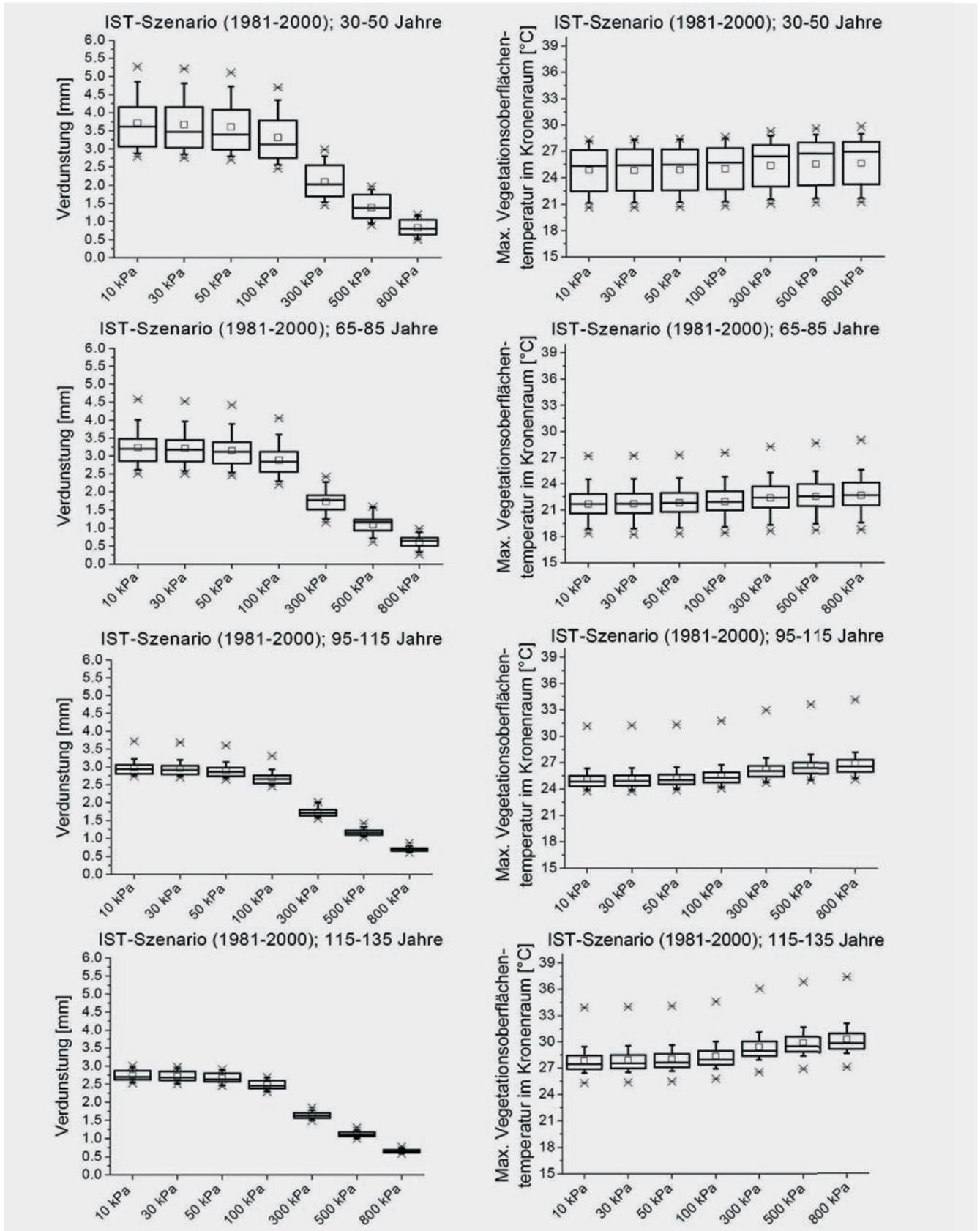


Abb. 8: HIRVAC-Simulation der Tagessumme der Verdunstung und das tägliche Maximum der Vegetationsoberflächentemperatur im Kronenraum für vier Buchenbestände mit der zu Grunde liegenden Anzahl der Werte (30–50 Jahre (N=80), 65–85 Jahre (N=320), 95–115 Jahre (N=500), 115–135 Jahre (N=720)) bei Variation der Bodensaugspannung. Darstellung des Mittelwertes, des Medians, der Perzentile P5, P25, P75, P95 sowie des minimalen und maximalen Wertes aus einer 20-jährigen Periode im Ist-Szenario (1981–2000).

Fig. 8: HIRVAC simulation of the daily sum of evaporation and the daily maximum vegetation surface temperature of in the crown of four beech canopies with the underlying number of values (30–50 years (N = 80), 65–85 years (N = 320), 95–115 years (N = 500), 115–135 years (N = 720)) for varying the soil suction power. Representation of the mean, the median, the percentiles P5, P25, P75, P95 and the minimum and maximum value from a 20-year period in the actual scenario (1981–2000).

Variation des Bestandes-Innenklimas in verschiedenen Klimaszenarien

Variation der Verdunstung eines Modellbestandes für verschiedene Klimaszenarien und variable Bodensaugspannung

Abbildung 9 zeigt die statistische Auswertung der simulierten Tagessumme der Verdunstung eines Jungbuchenbestandes für die 20-jährige Simulation der Bestandesentwicklung im Ist-Szenario (Periode 1981–2000) und in den Klimaszenarien B1 und A2 (Periode 2081–2100). Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Klimaszenarien fallen im Vergleich zur Variation der Bodensaugspannung weniger deutlich aus. Bei feuchtem Boden (Saugspannung 10 kPa bis 100 kPa) kommt es aufgrund der höheren Temperaturen in den Szenarien zu einem leichten Anstieg der Tagessumme der Verdunstung des Buchenjungbestandes im Vergleich zum Ist-Szenario. Bei trockenem Boden (Saugspannung 300 kPa bis 800 kPa) sind die Unterschiede im Mittelwert zwischen den Szenarien gering. Generell nimmt die Variabilität der Verdunstung in den Klimaszenarien B1 und A2 ab (um bis zu 0,5 mm pro Tag), verursacht durch eine Abnahme der Variabilität des LAI (vgl. Abb. 7a und 7b) in der Simulation mit dem Waldwachstumsmodell BALANCE.

Variation der Vegetationsoberflächentemperatur unterschiedlicher Modellbestände für ein Klimaszenario

Die Abbildung 10 zeigt den erheblichen Einfluss unterschiedlicher Bestandesstrukturen auf die Verteilung der Tagessumme der Verdunstung und des täglichen Maximums der Vegetationsoberflächentemperatur des simulierten wolkenlosen Julitages für den Ist-Zustand und die Klimaszenarien B1 und A2. Hier zeigt sich deutlich, dass eine Baumverteilung im mittleren Bestandesalter besonders günstig ist, um Temperaturextreme zu dämpfen. Obwohl der Jungbuchenbestand (linke Box) aufgrund seiner hohen LAI-Werte eine höhere Verdunstung aufweist als die übrigen Bestände (vgl. Abb. 4a) sind die maximalen Vegetationsoberflächentemperaturen vergleichsweise hoch. Das lässt sich u. a. mit einer mangelnden Durchlüftung des dichteren Bestandes erklären, wodurch es bei relativ geringem Strom fühlbarer Wärme zu einem „Aufheizen“ des Bestandes kommt. Die hohen Temperaturwerte im Altbestand werden durch die stark aufgelockerte Struktur, verbunden mit niedrigen LAI-Werten (Abb. 4d und 7b) verursacht, die zu einer verstärkten Einstrahlung am Waldboden und damit einer deutlichen „Aufheizung von unten her“ führen. Die Bestandesstrukturen im mittleren Bestandesalter kombinieren offenbar eine ausreichende Durchlüftung mit ausreichender Abschattung des Bestandesinneren, was zu einer Dämpfung der Temperaturextreme führt. Dabei beträgt die Dämpfungswirkung – ausgedrückt als Differenz der mittleren Maxima zwischen den Buchenbeständen der Altersklassen 65–85 Jahre und 115–135 Jahre – für den Ist-Zustand im Mittelwert 6,2°C, das Minimum 6,8°C und für das Maximum 7,1°C. Analog für das B1-Szenario betragen die Temperaturdämpfungen im Mittelwert 5,5°C, im Minimum 5,3°C im Maximum 4,1°C und für

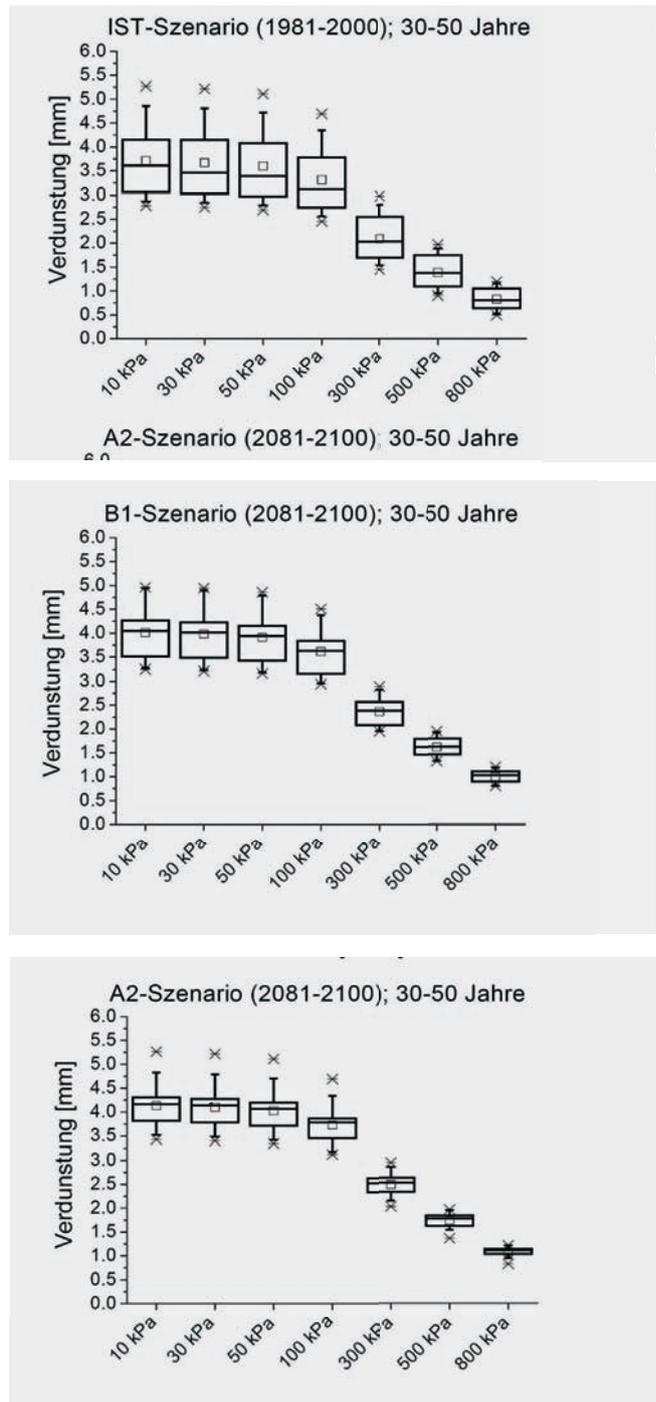


Abb. 9: HIRVAC-Simulation der Tagessumme der Verdunstung für einen Buchenjungbestand mit der zu Grunde liegenden Anzahl der Werte (30–50 Jahre (N=80)) bei Variation der Bodensaugspannung. Darstellung des Mittelwertes, des Medians, der Perzentile P5, P25, P75, P95 sowie des minimalen und maximalen Wertes aus einer 20-jährigen des Ist-Zustandes und den Szenarien B1 und A2.

Fig. 9: HIRVAC simulation of the daily sum of evaporation for a young beech canopy with the underlying number of values (30–50 years (N = 80)) for varying the soil suction power. Representation of the mean, the median, the percentiles P5, P25, P75, P95 and the minimum and maximum value from a 20-year period of the actual state and the scenarios B1 and A2.

das A2-Szenario im Mittelwert 5,4°C, im Minimum 2,8°C und für das Maximum 7,5°C.

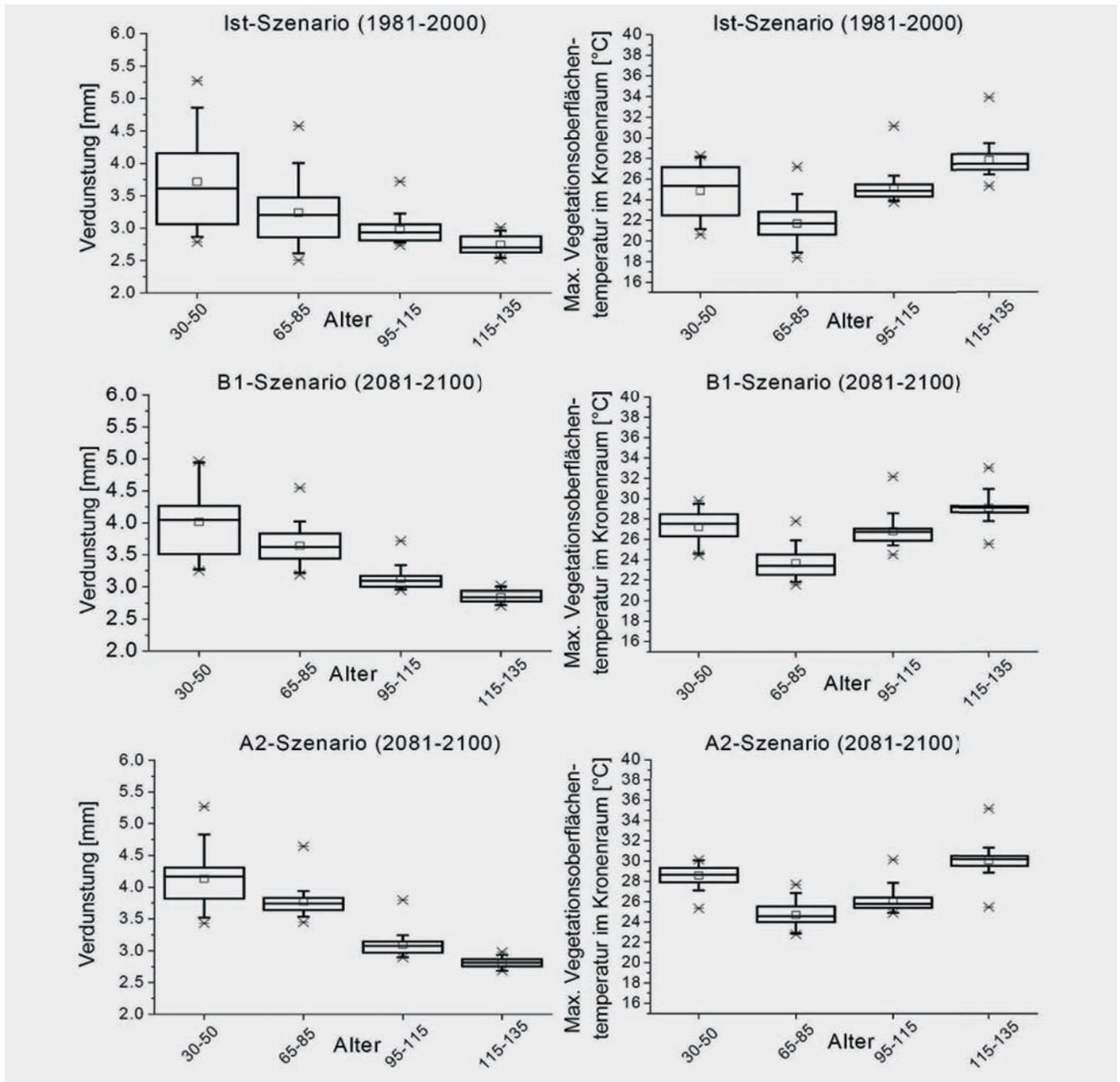


Abb. 10: HIRVAC-Simulation der Verteilung der Tagessumme der Verdunstung und der maximalen Vegetationsoberflächentemperatur im Kronenraum für vier Buchenbestände mit der zu Grunde liegenden Anzahl der Werte (30–50 Jahre (N=80), 65–85 Jahre (N=320), 95–115 Jahre (N=500), 115–135 Jahre (N=720)). Darstellung des Mittelwertes, des Median, der Perzentile P5, P25, P75, P95 sowie des minimalen und maximalen Wertes aus einer 20-jährigen Periode des Ist-Zustandes und den Szenarien B1 und A2.

Fig. 10: HIRVAC simulation of the distribution of the daily sum of evaporation and the maximum vegetation surface temperature in the crown of four beech canopies with the underlying number of values (30–50 years (N = 80), 65–85 years (N = 320), 95–115 years (N = 500), 115–135 years (N = 720)). Representation of the mean, the median, the percentiles P5, P25, P75, P95 and the minimum and maximum value from a 20-year period of the actual state and the scenarios B1 and A2.

4. Fazit

Die Modelluntersuchungen haben deutlich gezeigt, dass eine intensive Wechselwirkung von Bestandesstruktur, äußeren Steuerparametern und Bestandes-Innenklima besteht. So führt beispielsweise die Variation der Bodensaugspannung zu einer Variabilität im Bestandes-Innenklima (z. B. der Verdunstung und der maximalen Vegetationsoberflächentemperatur), die im Bereich der Änderung liegt, die durch Klimaszenarien hervorgerufen werden. Besonders markant wirken sich bestimmte Altersklassen mit variabler Bestan-

desstruktur auf das Bestandes-Innenklima aus. So zeigen die Simulationsergebnisse, dass die Auswirkungen der großräumigen Klimaänderung auf die Extreme im Bestandes-Innenklima durch bestimmte Altersklassen und Altersstrukturen zeit- und teilweise kompensiert werden könnten. Beträgt zum Beispiel der projizierte Anstieg der mittleren sommerlichen Temperaturmaxima für Nordsachsen im Szenario A2 etwa 4°C, differiert die mittlere maximale Vegetationsoberflächentemperatur im Kronenbereich je nach Wahl der Al-

tersklasse um 5,4°C. Hier liegt der Ansatz für den Waldbau, durch gezielte Eingriffe in den Bestand Strukturen zu fördern, die zukünftigen sommerlichen Extreme reduzieren. Generell ist davon auszugehen, dass es durch horizontale Ausgleichsströmungen, die im Modell HIRVAC nicht direkt berücksichtigt werden können, zu einer gewissen Nivellierung der simulierten Extreme kommt, was die Ergebnisse innerhalb des Bestandes aber nur gering beeinflusst. Dennoch lässt sich aus den Ergebnissen schlussfolgern, dass das Anstreben einer optimalen Bestandesstruktur über die waldbauliche Regulierung der Bestandesdichte ein Mittel darstellt, den projizierten Anstieg der sommerlichen Temperaturextreme für den Wald der Zukunft abzuschwächen. Diese Untersuchung ergab, dass die optimale Bestandesstruktur in einem Alter von 60–100 Jahren besteht. Dagegen wird die Erhöhung der mittleren Sommertemperatur in Kombination mit einer Niederschlagsabnahme (Abb. 6a und 6b) zur Abnahme der Bodensaugspannung und damit nach den Simulationen zu einer Verschärfung der Temperaturextreme führen.

Literatur

- BAUMS, A.-B., GOLDBERG, V., BERNHOFER, C. (2005): Upgrading the coupled vegetation boundary layer model HIRVAC by new soil water and interception modules. *Met. Z.* 14(2): 211–218.
- BERNHOFER, C., BERGER, F.H., EICHELHANN, U., GOLDBERG, V., GRÜNWARD, T., HÄNTZSCHEL, J., PODLASLY, C. (2001): Die Atmosphäre – nur Randbedingung des globalen Wandels? In: *Integrative Forschung zum globalen Wandel. Herausforderungen und Probleme* (Hrsg. R. Coenen). Campus: 155–169.
- FALGE, E., GRABER, W., SIEGWOLF, R., TENHUNEN, J.D. (1996): A model of the gas exchange response of *Picea abies* to habitat conditions. *Trees* 10: 277–287.
- FALGE, E., RYEL, R.J., ALSHEIMER, M., TENHUNEN, J.D. (1997): Effects of stand structure and physiology on forest gas exchange: a simulation study for Norway spruce. *Trees* 11: 436–448.
- FISCHER, B., GOLDBERG, V., BERNHOFER, C. (2008): Effect of a coupled soil water–plant gas exchange on forest energy fluxes: Simulations with the coupled vegetation–boundary layer model HIRVAC. *Ecol. Mod.* 2(14): 75–82.
- FLEMMING, G., (1982): *Wald Wetter Klima*, DLV Berlin: 120 S.
- GOLDBERG, V., BERNHOFER, C. (2001): Quantifying the coupling degree between land surface and the atmospheric boundary layer with the coupled vegetation-atmosphere model HIRVAC. *Annal. Geophys.* 19: 581–587.
- GOLDBERG, V., BERNHOFER, C. (2008): Testing different Ω measures with measurements and models of contrasting canopies under water stress. *Annal. Geophys.* 26: 1977–1992.
- GOLDBERG, V., SURKE, M., BERNHOFER, C. (2007): Regionalisierte Klimadaten für forstliche Anwendungen am Beispiel der Lausitz und der Dübener Heide. *Forst und Holz* 62(7): 24–27.
- GROTE R., PRETZSCH H. (2002): A model for individual tree development based on physiological processes. *Plant Biol* 4:167–180.
- HÄNTZSCHEL, J., FRANKE J., GEMBALLA, R., BERNHOFER, C. (2006): Forstliche Klimagliederung Sachsens im Klimawandel. *AFZ-Der Wald* 15: 830–832.
- IPCC (2007): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- MENZEL, L. (1997): *Modellierung der Evapotranspiration im System Boden-Pflanze-Atmosphäre*. Dissert., Zürcher-Geographische Schriften, Heft 67, 1997, Geographisches Institut ETH Zürich: 128 S.
- MURPHY, C.E. JR., LORENZ, R. (1985): Analysis of forest environmental measurements to estimate parameters of microclimate and air pollution deposition velocity models. In: Hutchison BA, Hicks BB (Eds.) *The Forest-Atmosphere Interaction*. Reidel Publishing, Dordrecht: 383–393.
- RAUPACH M.R. (1998): Influences of local feedbacks on land-air exchanges of energy and carbon. *GCB* 4: 477–494.
- ROECKNER, E., BAÜML, G., BONAVENTURA, L., BROKOPF, R., ESCH, M., GIORGETTA, M., HAGEMANN, S., KIRCHNER, I., KORNBLUEH, L., MANZINI, E., RHODIN, A., SCHLESE, U., SCHULZWEIDA, U., TOMPKINS, A. (2003): The atmospheric general circulation model ECHAM5. Part I: model description, Tech. Rep. 349, Max-Planck-Inst. für Meteorol., Hamburg, Germany.
- RYEL, R.J. (1993): Light relations in tussock grasses as assessed with a new three-dimensional canopy photosynthesis model. Structure and function of foliage organization of a growth form prevalent in environments characterized by stress. PhD Thesis, University of Würzburg, Würzburg, Germany: 163 S.
- SELLERS, P.J., RANDALL, D.A., COLLATZ, G.J., BERRY, J.A., FIELD, C.B., DAZLICH, D.A., ZHANG, C., COLLELO, G.D., BOUNOUA, L. (1996): A revised land surface parameterization (SIB2) for Atmospheric GCMs. Part I: Model Formulation. *J. Climate* 9: 676–705.
- WULLSCHLEGER, S. D., GUNDERSON, C. A., HANSON, P. J., WILSON, K. B., NORBY, R. J. (2002): Sensitivity and canopy conductance to elevated CO₂ concentration – interacting variables and perspective of scale. *New Phyt.* 153: 485–496.
- ZENG, X.M., ZHAO, M., YU, R.C., LIN, N.S., ZHENG, Y.Q., ZHANG, L.J., ZHANG, R.J. (2003): Application of a “Big-Tree” model to regional climate modeling: a sensitivity study. *Theor. Appl. Climatol.* 76: 203–218.

Autorenanschriften

Valeri Goldberg, Christian Bernhofer
Technische Universität Dresden
Institut für Hydrologie und Meteorologie,
Pienner Straße 23, D-01737 Tharandt
Email valeri.goldberg@tu-dresden.de

Analyse der Waldentwicklung unter veränderten Umweltbedingungen – Neue Informationen für die Forstplanung durch Kopplung von Modellen am Beispiel des Forstbetriebes Zittau

Analysing forest development under changing environmental conditions – novel information for the forest management by combining models demonstrated for the forest enterprise Zittau

Ralf Moshhammer, Thomas Rötzer, Hans Pretzsch

Abstract

Forest growth models are versatile instruments for analysing the influence of environmental changes on plant growth. The aim of this study was to analyse possible adaptation strategies by model simulations combining different growth models. By using the process oriented growth model BALANCE we estimated the influence of climate change on tree growth. The reaction patterns of different and region specific forest stands were then implemented as algorithms in the management-oriented growth model SILVA. The growth of forest stands was simulated with SILVA over 30 years focusing on management options to test different adaption strategies. This approach of combining models with different paradigms is demonstrated for the forest enterprise Zittau. The results of the simulations for the Zittau enterprise convey how forest planning can profit by long term information from scenario analysis. Climate change simulations show that forest stands can loose capacity – e.g. increase capacity – to react on management measures. That means a loss of regulation alternatives for forest planning under the used climate change scenario. A hardwood percentage of 27% in the Zittau forest, on the other hand, possibly has a certain buffer function and moderates the climate change effects on production.

Keyword: forest management, climate change, modelling, simulation, Lausitz

Zusammenfassung

Waldwachstumsmodelle sind ein ideales Werkzeug, um Auswirkungen veränderter Umweltbedingungen auf das Wachstum der Bäume aufzuzeigen. Ziel des Teilprojektes „Waldwachstumsreaktionen und Systemprozesse“ im Rahmen von ENFORCHANGE war, durch die Kombination von Wachstumsmodellen mit unterschiedlichen methodischen Ansätzen regionale Auswirkungen standörtlicher und klimatischer Veränderungen auf die Waldentwicklung zu analysieren und somit bessere Grundlagen für eine angepasste Forstbetriebsplanung zu schaffen. Anhand des physiologischen Wachstumsmodells BALANCE wurde der Einfluss der prognostizierten Klimaänderungen auf das Wachstum der Bäume abgeschätzt. Die für verschiedene Baumarten

und regionaltypische Bestände gewonnenen Reaktionsmuster konnten anschließend in das managementorientierte Wachstumsmodell SILVA übertragen werden. Die Entwicklung repräsentativer Waldbestände wurde in SILVA für einen Zeitraum von 30 Jahren simuliert, wobei verschiedene Nutzungsszenarien untersucht wurden, um Handlungsspielräume und mögliche strategische Planungen für Forstbetriebe aufzuzeigen. Die gewonnenen Erkenntnisse für die praktische Betriebsplanung wurden am Beispiel des kommunalen Forstbetriebes Zittau dargestellt. Es wird deutlich, wie die Forstplanung von derartigen Szenarioanalysen profitieren kann. Die Simulationsrechnungen unter Annahme geänderter Klimaverhältnisse zeigen, dass die Bestände unter diesen Bedingungen ein verringertes Reaktionsvermögen auf waldbauliche Maßnahmen aufweisen, was insbesondere bei den Zuwächsen bemerkbar ist. Dabei haben Laubholzbestände, die bereits jetzt auf 27 % der Betriebsfläche stocken, vermutlich eine Pufferwirkung und mildern die Auswirkungen der Klimaänderungen auf die Produktivität des Gesamtbetriebes ab.

Schlüsselwörter: Forstplanung, Klimaänderung, Modellierung, Simulation, Lausitz

1. Einleitung

Um das Wachstum von Wäldern in Abhängigkeit von sich ändernden Umweltbedingungen wie z.B. einem sich ändernden Klima und/oder sich ändernden Bodenbedingungen darstellen und gleichzeitig die Wirkung möglicher gegensteuernder Maßnahmen abschätzen zu können, ist die Kopplung von Wachstumsmodellen von großer Bedeutung (PRETZSCH et al. 2008). Durch die Kopplung von Modellen mit unterschiedlicher zeitlicher und räumlicher Auflösung, aber auch mit unterschiedlichen Berechnungsalgorithmen und Zielsetzungen (z. B. Einzelbaum-, Bestandes oder Betriebsanalysen), lassen sich Wachstumssimulationen über Maßstabsebenen hinweg erstellen und analysieren. Mittels der Modellkopplung können Erkenntnisse gewonnen werden, die durch die Verwendung der einzelnen Modelle allein nicht möglich wären.

Ziel des Teilprojektes „Waldwachstumsreaktionen und Systemprozesse“ im Rahmen von ENFORCHANGE war die

Abschätzung des zukünftigen Wachstums und der Holzproduktion für typische Waldbestände in der Untersuchungsregion Obere Lausitz. Neben unterschiedlichen waldbaulichen Nutzungsintensitäten sollten auch Auswirkungen von standörtlichen und klimatischen Veränderungen auf die Waldentwicklung der Region aufgezeigt werden. Natürlich können keine exakten Vorhersagen gemacht werden. Aussagen zu mittel- bis langfristigen Entwicklungstrends bei unterschiedlichen Rahmenbedingungen sind jedoch möglich. Das physiologische Wachstumsmodell BALANCE (GROTE UND PRETZSCH 2002; RÖTZER et al. 2009) wird im Rahmen dieser Studie primär als Forschungsinstrument verwendet, um Reaktionsmuster des Baum- und Bestandeswachstums auf zu erwartende Umweltveränderungen abzuschätzen. Um Aussagen über die Holzproduktion und das langfristige Waldwachstum auf einer für das forstliche Management operationalen Ebene treffen zu können, wird das Managementmodell SILVA (KAHN und PRETZSCH 1997; PRETZSCH et al. 2002) eingesetzt. Welche Informationen der forstlichen Praxis für das Betriebsmanagement mit Hilfe von Modellsimulationen zur Verfügung gestellt werden können, wird am Beispiel von Prognoserechnungen für den kommunalen Forstbetrieb Zittau gezeigt.

2. Datengrundlage

Kommunaler Forstbetrieb Zittau

Der Forstbetrieb Zittau liegt in der Region Obere Lausitz im Wuchsgebiet 48 Zittauer Gebirge an der Grenze zu Polen und Tschechien. Mit über 4.000 ha ist die Stadt Zittau der größte kommunale Waldbesitzer in Sachsen. Die bestandsweisen Erhebungen im Rahmen der in den Jahren 2007/08 stattgefundenen Forsteinrichtung bilden die Grundlage für die Wachstumssimulationen.

Die Waldflächen des Betriebes lassen sich von den Wuchsbedingungen her in zwei Hauptgebiete unterteilen: die unteren und die oberen Berglagen des Zittauer Gebirges. Die Prognoserechnungen beziehen sich auf die 1950 ha in den unteren Berglagen, da hier der Schwerpunkt der Bewirtschaftungsaktivitäten liegt. In diesem Bereich finden sich überwiegend terrestrische Standorte, auf Teilflächen kommen auch wechselfeuchte Standorte vor. Die Hauptnährkraftstufe ist für den gesamten simulierten Betriebsbereich als „mittel“ klassifiziert (LAF 2002). Für die Forstplanung wurden die einzelnen Bestände im Gelände sehr detailliert abgegrenzt und beschrieben. Insgesamt wurden im Bereich der unteren Berglagen 1287 Einzelbestände ausgeschieden, dabei reichen die Bestandesflächen von 0,1 ha bis 23 ha. Die durchschnittliche Flächengröße liegt bei 1,5 ha pro Bestand. Dominierende Baumart mit einem Grundflächenanteil von 46% ist die Fichte. Kiefer und Lärche haben zusammen einen Anteil von 27%. Die Laubhölzer nehmen insgesamt einen Anteil von etwas über einem Viertel der Gesamtgrundfläche ein, wobei Buche mit 9% und Eiche mit 7% hier den Hauptanteil aufweisen. Die restlichen 11% verteilen sich auf diverse Laubhölzer, überwiegend Weichlaub- und Pionierholzarten. Die Altersklassenverteilung in Tabelle 1 zeigt, dass die Bestände auf fast der Hälfte der Fläche bereits älter als 80 Jahre sind.

Tab. 1: Verteilung der Waldflächen im Forstbetrieb Zittau über 20-jährige Altersklassen.

Table 1: Forest area distribution over 20-year age classes of the forest enterprise Zittau.

Altersklasse	Flächenanteile	
	Ha	%
1 bis 20 Jahre	115	6 %
21 bis 40 Jahre	328	16 %
41 bis 60 Jahre	414	21 %
61 bis 80 Jahre	218	11 %
81 bis 100 Jahre	716	37 %
101 bis 120 Jahre	128	7 %
über 120 Jahre	34	2 %

Der durch die Forstplanung geschätzte aufstockende Vorrat liegt im Mittel bei 228 Efm/ha, der laufende jährliche Zuwachs auf den in die Prognoserechnungen einbezogenen Flächen wird aktuell auf 7,7 bis 8,7 Efm/ha und Jahr geschätzt. Die Planungen sehen für das nächste Jahrzehnt jährliche Nutzungen von 9.600 Efm pro Jahr vor, was im Mittel 4,9 Efm/ha und Jahr entspricht und damit deutlich unter den laufenden Zuwächsen liegt.

Klimaszenarien

Die meteorologischen Daten der Station Görlitz stellen die Grundlage der Wachstumssimulationen für den Betrieb Zittau dar. Werte der Jahre 1981 bis 2000 bilden dabei das gegebene Klima ab. Daten der Zeiträume 2081 bis 2100 basieren auf den Klimaszenarien A2t und B1t und stellen mögliche Klimaprojektionen für den Betrieb dar (BERNHOFER et al. 2007). Den Vorgaben von IPCC (2007) entsprechend unterstellt das Szenarium A1 eine Welt mit raschem Wirtschaftswachstum und der schnellen Einführung neuer Technologien mit erhöhter Energieeffizienz, beim Szenarium B1 dagegen stehen globale Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und ökologische Nachhaltigkeit im Zentrum. Szenarioumlauf „t“ bedeutet, dass von den jeweiligen drei Wettreg-Simulationen (feucht, mittel, trocken) die Trockenvariante verwendet worden ist (ENKE et al. 2005). Abbildung 1 zeigt die über die 20 Jahre gemittelten Monatswerte von Temperatur und Niederschlag.

Die Temperaturen zeigen für beide Klimaszenarien in allen Monaten eine Erhöhung, die in den Wintermonaten mit bis zu 4,5 °C (A2t, Februar) am größten ist, während die Zunahme in den Sommermonaten bis 2,7 °C beträgt (A2t, Juli). Beim Niederschlag erkennt man in den Sommermonaten einen deutlichen Rückgang um bis zu 49% (A2t, Juli), im Winter hingegen nimmt der monatliche Niederschlag um bis 10% zu (A2t und B1t, Februar).

In der Summe über das Jahr ergibt sich so für das Klimaszenarium A2t bzw. B1t ein Niederschlag von 455 mm bzw. 522 mm. Über die Jahre 1981 bis 2000 liegt der mittlere jährliche Niederschlag bei 569 mm. Die Jahresmitteltemperatur dieses Zeitraums liegt bei 8,7 °C und erhöht sich unter dem Klimaszenarium A2t bzw. B1t auf 11,2 °C bzw. 10,3 °C.

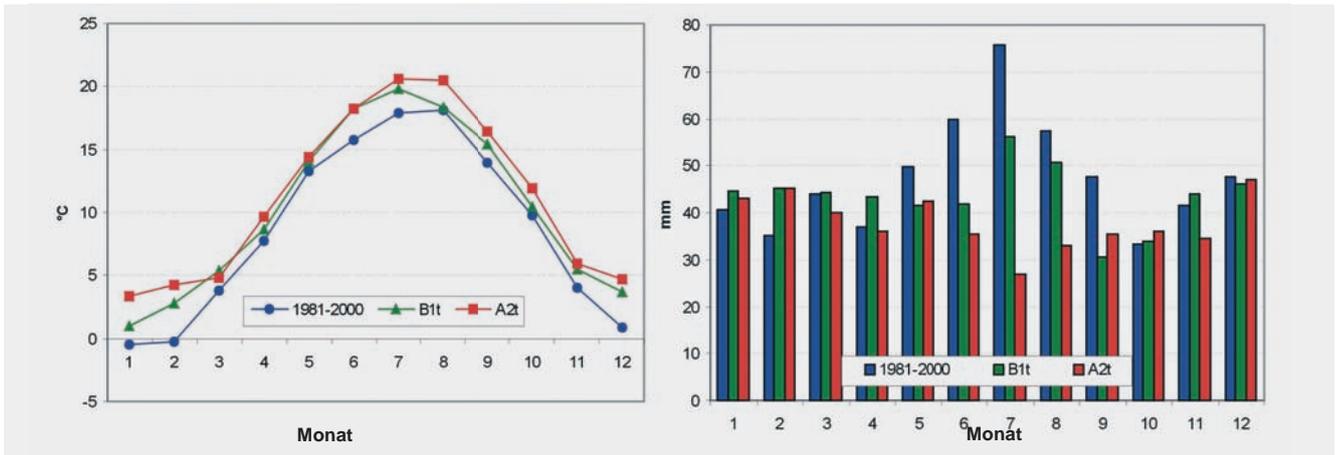


Abb. 1: Mittlere Monatswerte der Temperatur (links) und des Niederschlags (rechts) für den Zeitraum 1981–2000 sowie für die Klimaszenarien A2t und B1t über die Jahre 2081–2100 für den Betrieb Zittau.

Fig. 1: Mean monthly temperature (left) and precipitation (right) values for the period 1981–2000 and for the period 2081–2100 of the climate scenarios A2t and B1t for the forest enterprise Zittau.

3. Methodik

Modellkopplung

Für die vorliegenden Untersuchungen zur Waldentwicklung unter veränderten Umweltbedingungen im Forstbetrieb Zittau werden die Modelle BALANCE und SILVA verwendet. Hierbei müssen zunächst mit dem ökophysiologischen Prozessmodell BALANCE Reaktionsmuster des Waldwachstums für die einzelnen Baumarten aufgrund von Umweltveränderungen erzeugt werden. Für einzelne Bestände unterschiedlicher Altersklassen wird das Wachstum unter gegebenen und möglichen künftigen Klimaverhältnissen über kurze Zeitabschnitte simuliert. Die relativen Veränderungen der Biomasse, der Höhe oder des Durchmessers lassen sich dann auf die Potenzialkurven übertragen. Die artspezifischen Potenzialkurven geben die maximal mögliche Höhe eines Einzelbaumes über dem Alter vor, aus welcher dann in Abhängigkeit von Konkurrenzsituation und Zufallseffekten die tatsächlichen Höhen der Einzelbäume ermittelt werden. Sie

bilden das Verbindungsglied zum Modell SILVA, dessen standortabhängige Prognosen auf Potenzialkurven gründen (KAHN 1994). Von der Potenzialkurve des Wachstums einer Baumart unter gegebenen Klimaverhältnissen kann so auf die Potenzialkurve des Wachstums für ein Klimaszenarium geschlossen werden (siehe Abb. 2).

Die so erzeugten Veränderungen in den Wachstumsmustern der einzelnen Baumarten aufgrund von Klimaveränderungen werden anschließend als neue Potenzialkurven in das managementorientierte Waldwachstumsmodell SILVA implementiert. Auf diese Weise kann mit SILVA die Waldentwicklung für den Modellbetrieb Zittau für unterschiedliche Klimaszenarien simuliert werden.

Modellbeschreibung

Das ökophysiologische Wachstumsmodell BALANCE beschreibt die dreidimensionale Entwicklung einzelner Bäume bzw. eines Waldbestandes in Abhängigkeit von den äußeren Umweltfaktoren Witterung (z.B. Temperatur, Niederschlag, Strahlung), CO₂, Bodenbedingungen sowie Schadstoffen und der individuellen Konkurrenz um Licht, Wasser und Stickstoff. Bei der Modellierung mit BALANCE werden zum einen die wesentlichen Flussgrößen des Wasser-, Kohlenstoff- und Stickstoffhaushalts betrachtet, zum anderen das Wachstum der Bäume, das von diesen Größen abhängt, und die Konsequenzen, die sich daraus für die Bestandesstruktur ergeben. Neben täglichen Witterungswerten und Bodenkenngößen benötigt BALANCE als Initialgrößen Baumhöhe, Stammdurchmesser und Stammfuß-Koordinaten sowie optional Kronenansatzhöhe und Kronenradien. Die unterschiedlichen räumlichen Ebenen der Berechnung reichen vom Bestand über Einzelbäume und Baumkompartimente (Krone, Stamm, Wurzel) bis hin zu einzelnen Kronen- und Wurzelschichten, die wiederum in Segmente eingeteilt werden (GROTE und PRETZSCH 2002).

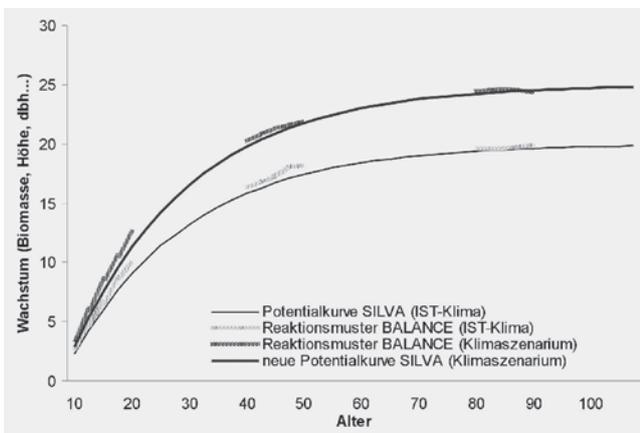


Abb. 2: Schematische Darstellung der Simulation des Reaktionsmusters und der Übertragung auf die Potenzialkurve des Wachstums einzelner Baumarten zur Simulation des Waldwachstums mit SILVA.

Fig. 2: Scheme of the growth pattern simulation and of the transfer to the potencial growth curve for the single tree species to simulate forest growth with the model SILVA.

Die Simulation des Wasserhaushaltes berücksichtigt die Bodenbedingungen in verschiedenen Schichten sowie die Beeinflussung der Interzeption und Perkolation durch die Schirmflächen- und Wurzelverteilung (GROTE et al. 2003). Die Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit für einen Baum ist von dem von ihm durchwurzelten Volumen und den dortigen Bodeneigenschaften abhängig. Da das Durchwurzelungsvolumen von der Baumgröße und der Stellung zu den Konkurrenten beeinflusst wird, spiegelt sich auch hier der Einfluss der Bestandesstruktur und der Mischungsverhältnisse wider. Das Verhältnis zwischen tatsächlicher und potenzieller Verdunstung bestimmt den Grad des Wasserstress bei der Photosynthese. Eine ausführliche Beschreibung des Modells BALANCE ist in GROTE und PRETZSCH (2002) bzw. in RÖTZER et al. (2005) sowie in RÖTZER et al. (2009) enthalten. Im Gegensatz zu BALANCE ist der Wachstumssimulator SILVA ein stochastisch basiertes Modell. Als typisches managementorientiertes Waldwachstumsmodell liefert SILVA Szenarien für forstplanerisch relevante Zeiträume, das sind mehrere Jahrzehnte bis hin zu einer Umtriebszeit. Die Rhythmik von Simulationsschritten bei SILVA beträgt fünf Jahre. Die Modellgleichungen von SILVA sind auf der Basis umfangreichen dendrometrischen Datenmaterials aus forstlichen Langzeitbeobachtungsflächen statistisch sehr gut abgesichert und gewährleisten hohe Genauigkeiten der dendrometrischen Informationen auch über längere Simulationszeiträume. Besonders wichtig ist, dass mit SILVA eine breite Palette von Durchforstungs- oder Endnutzungseingriffen realitätsnah nachgebildet werden kann. Außerdem verfügt SILVA über ein quasikausales Standort-Leistungsmodul, das die Simulation von unterschiedlichen Standortsszenarien erlaubt und auf den oben angesprochenen Potenzialkurven beruht. Unterschiedliche Datenschnittstellen erlauben die Anwendung von SILVA auf Bestandes-, Betriebs- und Landschaftsebene. Das Ausgabespektrum von SILVA beinhaltet klassische forstliche Parameter der Naturalproduktion, monetäre Kennwerte sowie Struktur- und Diversitätsindizes. Eine Übersicht zu Waldwachstumsmodellen, in denen auch BALANCE und SILVA detailliert beschrieben sind, ist in PRETZSCH et al. (2008) enthalten.

SILVA-Simulation auf Forstbetriebsebene

Um den Rechenaufwand bei den Wachstumssimulationen für den Betrieb Zittau in einem überschaubaren Rahmen zu halten, wurden auf Basis der Beschreibungen der 1287 Einzelbestände 83 repräsentative Simulationsbestände im Wachstumsmodell SILVA generiert. Hauptklassifizierungsmerkmale waren der Bestandestyp und 10-jährige Altersklassen bei fichtendominierten Flächen bzw. 20-jährige Altersklassen bei allen anderen Flächen. Ein Bestandestyp definiert sich jeweils anhand einer Hauptbaumart sowie einer zweiten, mitdominanten Baumart, sofern es sich nicht um einen Reinbestand handelt. Die Zuordnung erfolgt jeweils auf Basis der Grundflächenanteile der Arten im Bestand. Sollte keine Haupt- und/oder Nebenbaumart ausgeschieden werden, wurden entsprechend den Mehrheitsverhältnissen Laubholz- oder Nadelholzmischung als Typ angegeben. Für jeden Simulationsbestand wurde, ausgehend vom Initialzu-

stand, eine Prognose für einen Zeitraum von 30 Jahren in jeweils sechs Fünfjahresschritten gerechnet. Weitergehende Ausführungen zur Stratifizierung von Forstbetriebsdaten für Modellrechnungen sind in MOSHAMMER (2006) enthalten.

Das im Wachstumsmodell SILVA integrierte Durchforstungsmodul wird periodisch alle fünf Jahre aktiviert und arbeitet regelbasiert. Das heißt, die Entnahme oder Förderung einzelner Stämme in der Simulation erfolgt nach festgelegten Regelmechanismen. Wie diese Mechanismen gestaltet sind, hängt vom durchzuführenden Durchforstungskonzept ab. Für alle in der forstlichen Praxis üblichen Durchforstungsarten wie Hoch-, Nieder-, Auslesedurchforstung oder Zielstärkennutzung sind jeweils bestimmte Auswahlprozeduren für Entnahmen in dem Programmmodul hinterlegt. Ziel der Einsteuerungen der virtuellen Durchforstung war es, die zukünftig im Forstbetrieb Zittau geplanten waldbaulichen Maßnahmen möglichst realitätsnah abzubilden. Dafür wurden verschiedene Durchforstungskonzepte entwickelt, die sich jeweils aus vier Durchforstungsphasen (Jungwuchs/Jung-/Altdurchforstung/Endnutzung) zusammensetzten. Für jede Phase wurden Durchforstungsart, Intensität und Beschränkungen, wie zum Beispiel das maximal zu entnehmende Volumen pro Eingriff, festgelegt. Welche Phase wann aktiviert wird, hängt von der Oberhöhe der Modellbestände im Laufe der Simulation ab. Entsprechend der Generierung der virtuellen Repräsentativbestände wurden verschiedene Konzepte passend zu den verschiedenen Bestandestypen entwickelt. Im Grundsatz entsprechen die simulierten Durchforstungskonzepte den Vorgaben zur Bestandespflege der sächsischen Landesanstalt (LAF 2002). Von jedem Konzept wurden insgesamt drei Varianten entwickelt. Neben der Normalvariante, die das geplante Vorgehen ausgehend von den Planungen für die nächsten zehn Jahre wiedergibt, wurden eine Extensiv- und eine Intensivvariante abgeleitet. Das waldbauliche Vorgehen in diesen Varianten entspricht prinzipiell dem der Normalvariante, lediglich die Nutzungsintensitäten wurden um etwa 30% reduziert bzw. erhöht. Damit wurden waldbauliche Varianten simuliert, die deutlich von der aktuellen Planung abweichen, aber durchaus noch als in der Praxis realisierbar angesehen werden können. Die extensive und intensive Nutzungsvariante markieren somit die Randbereiche eines theoretischen Handlungskorridors, innerhalb dessen sich der Forstbetrieb mittelfristig bewegen kann.

4. Ergebnisse

Wachstumsmuster in Abhängigkeit des Klimas

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Witterungsverhältnisse des gegebenen Klimas und der Klimaszenarien A2t und B1t auf das Wachstum von Kiefern- und Fichtenbeständen in der Region Zittau ist in den Abbildungen 3 und 4 dargestellt. Aus beiden Abbildungen ist klar ersichtlich, dass unter den Bedingungen der Klimaszenarien A2t und B1t sowohl beim Fichten- als auch beim Kiefernbestand Veränderungen bei der Bestandesbiomasse vorhanden sind. Während sich unter Ist-Bedingungen über 20 Jahre eine deutliche Zunahme an Bestandesbiomasse bei der Fichte abzeichnet, nimmt die Biomasse unter beiden Klimaszenarien deutlich

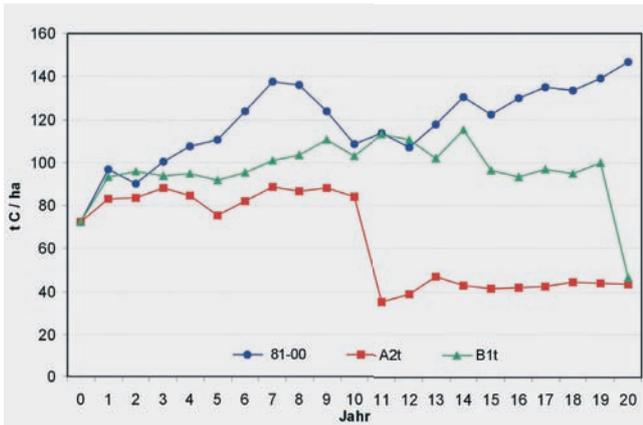


Abb. 3: Verlauf der lebenden Biomasse eines 55-jährigen Fichtenbestandes in der Region Zittau für den Zeitraum 1981–2000 sowie für die Klimaszenarien A2t und B1t über die Jahre 2081–2100.

Fig. 3: Course of the living biomass of a 55-year old spruce stand in the region Zittau for the period 1981–2000 and for the period 2081–2100 of the climate scenarios A2t and B1t.

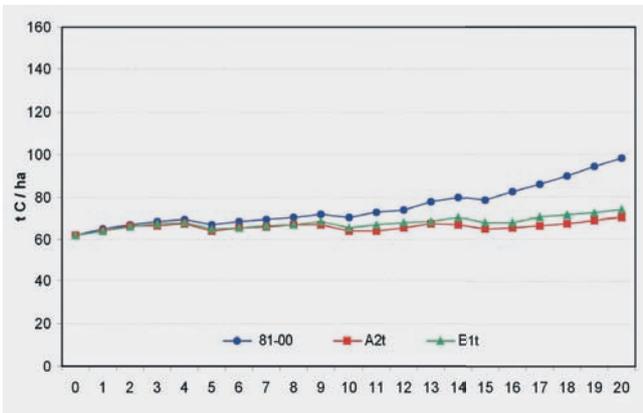


Abb. 4: Verlauf der lebenden Biomasse eines 55-jährigen Kiefernbestandes in der Region Zittau für den Zeitraum 1981–2000 sowie für die Klimaszenarien A2t und B1t über die Jahre 2081–2100.

Fig. 4: Course of the living biomass of a 55-year old pine stand in the region Zittau for the period 1981–2000 and for the period 2081–2100 of the climate scenarios A2t and B1t.

ab. Vor allem in einzelnen, extremen Jahren – wie beispielsweise im Jahr 11 unter dem Szenarium A2t oder im Jahr 20 unter dem Szenarium bei B1t – erkennt man einen markanten Rückgang der Bestandesbiomasse, vor allem aufgrund des Absterbens einzelner Bäume. Der Biomasseverlauf des Kiefernbestandes zeigt unter den Ist-Bedingungen der Jahre 1981 bis 2000 eine stetige Zunahme. Unter den veränderten Klimaverhältnissen der Szenarien A2t und B1t ist dagegen ein Gleichgewichtszustand bzw. eine nur leichte Zunahme der lebenden Biomasse zu erkennen, wobei die Unterschiede zwischen den zwei Szenarien gering ausfallen. Die hier am Beispiel von Kiefer und Fichte für die Region Zittau gezeigten Wachstumsveränderungen aufgrund von veränderten Klimaverhältnissen können entsprechend der oben dargestellten Vorgehensweise verwendet werden, um die Wachstumskurven im Modell SILVA an Klimaszenarien anzupassen. Damit ist eine Simulation des Waldwachstums verschiedener Bestände unter unterschiedlichen Behandlungen auf der Basis von veränderten Klimaverhältnissen möglich.

Wachstumssimulationen für den Betrieb Zittau

Im Folgenden werden zuerst die Entwicklungen der betrieblichen Kennwerte Nutzungen, Vorräte und Zuwächse unter gegenwärtigen Klimaverhältnissen betrachtet, daran anschließend die Veränderungen, welche sich bei der Simulation mit den Klimawerten des Szenariums B1t ergaben. Das Szenario B1t bietet hierbei die Möglichkeit, Auswirkungen der Klimaänderungen auf den Forstbetrieb aufzuzeigen, wie sie bereits in den nächsten 20 bis 30 Jahren spürbar werden können. Die betrachteten Ausgabegrößen stellen nur einen ersten Schritt möglicher betriebsrelevanter Analysen dar. Welch hohes Informationspotenzial Simulationen mit Einzelbaummodellen im Rahmen der Betriebsplanung beinhalten, zeigen z. B. BÜCKING et al. (2007).

Obwohl – im Gegensatz zu den realen 1287 Einzelbeständen – für die Simulationen der Kommunalwald Zittau aus nur 83 virtuellen Repräsentativbeständen aufgebaut wurde, sind die Kennwerte des realen und des Modellbetriebes annähernd repräsentativ. Bei den Anteilen der Baumartengruppen ergeben sich keine Abweichungen und der mittlere Vorrat der Modellbestände liegt mit 232 Efm/ha lediglich 2% über dem im Betriebswerk aufgeführten Wert von 228 Efm/ha. Die nach der ersten Simulationsperiode ermittelten laufenden Zuwächse liegen mit 8,4 Efm/ha und Jahr ebenfalls im Erwartungsrahmen der Forsteinrichtung. Die Nutzungsvorgaben der Normalvariante führten in den ersten zehn Jahren der Simulation zu einem Hiebsatz von 9 500 Efm/Jahr, was lediglich 1% unter der von der Forstplanung veranschlagten Nutzungsmenge für diesen Zeitraum liegt. Die Intensivvariante erbrachte mit 12 400 Efm/Jahr (6,4 Efm/ha und Jahr) um 29% höhere, die Extensivvariante mit 6 600 Efm/Jahr (3,4 Efm/ha und Jahr) um 31% niedrigere Nutzungsmengen als die Normalvariante. Auf Grund der richtlinienkonformen Vorgaben zur Behandlung der Bestände fie-

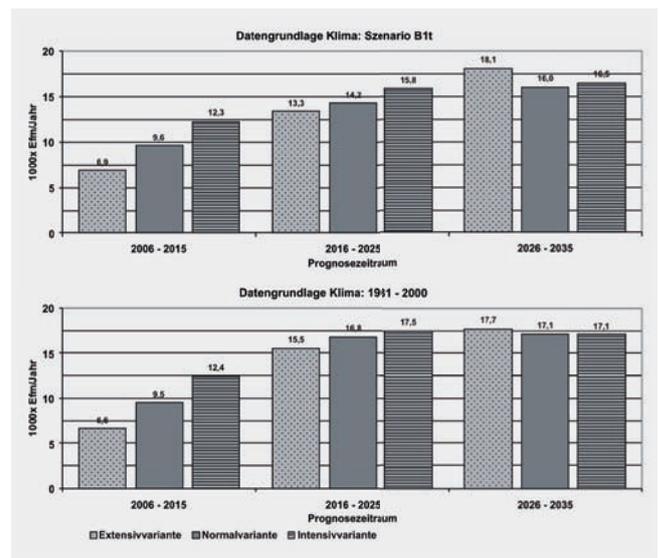


Abb. 5: Jährliche Nutzungsmengen in den einzelnen Jahrzehnten für die drei Nutzungsvarianten aus der SILVA-Simulation unter den gegenwärtigen Klimabedingungen (unten) und dem Klimaszenarium B1t (oben).

Fig. 5: Annual amount of cut over decades for three different exploitation intensities based on SILVA-simulations for the present climate (bottom) and climate scenario B1t (top).

len mit fortlaufender Simulationsdauer große Teile der Betriebsflächen in die Endnutzungsphase, was bei allen drei Nutzungsvarianten zu deutlich höheren Hiebsätzen für die zweite und dritte Dekade der Betriebsprognose führte (siehe Abb. 5 unten). Auffallend ist, dass sich für den Prognosezeitraum von 2026 bis 2035 im Mittel für alle drei Varianten annähernd gleiche jährliche Einschlagsmengen ergeben. Die Entwicklung der Vorräte in Abbildung 6 zeigt für alle drei Behandlungsvarianten den von der Betriebsleitung angestrebten Vorratsaufbau, dem jedoch im weiteren Verlauf immer wieder eine Verringerung des aufzustockenden Holzvolumens folgt. Dabei unterscheiden sich die drei Varianten klar im Niveau der Vorratsentwicklungen sowie in den Perioden, in denen jeweils der Kulminationspunkt erreicht wurde. Eine detaillierte Auswertung ergab, dass bei allen drei Nutzungsvarianten das waldbauliche Planungsziel, die kontinuierliche Erhöhung der Laubholzanteile im Betrieb über alle Perioden hinweg erreicht wird. Die Mehrnutzungen, insbesondere bei der Intensivvariante sowie bei der Extensiv- und Normalvariante im zweiten und dritten Jahrzehnt der Prognosen, wurden vor allem im Bereich der Endnutzungen fichtendominierter Bestände realisiert.

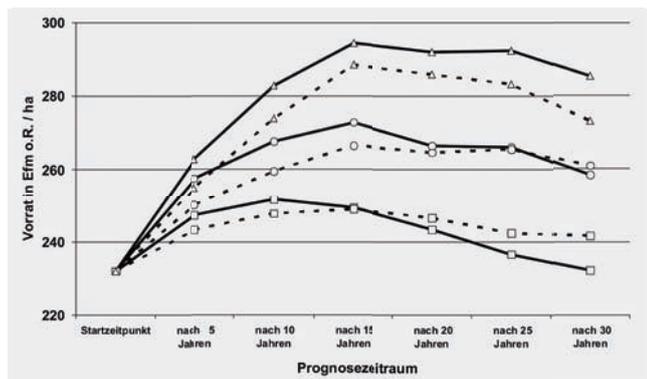


Abb. 6: Entwicklung der mittleren Vorräte im Forstbetrieb Zittau über 30 Jahre aus SILVA-Simulationen unter den gegenwärtigen Klimaverhältnissen und dem Klimaszenarium B1t (gestrichelt) jeweils für die drei Nutzungsvarianten Normal (Kreis), Extensiv (Dreieck) und Intensiv (Quadrat).

Fig. 6: Mean stock development for the forest enterprise Zittau over 30 years based on SILVA-simulations for the present climate and climate scenario B1t (dashed), for the three exploitation intensities normal (circles), extensive (triangles) and intensive (rectangles), separately.

Die spezifische Kombination von Bestandestypen, Alterklassen und Standortverhältnissen im Forstbetrieb Zittau führt dazu, dass die Nutzungsintensitäten einen direkten Einfluss auf die Höhe der laufenden Zuwächse haben (siehe Abb. 7). Die Extensivvariante dürfte hierbei das oberste Zuwachsniveau repräsentieren, da sich hier bereits vor dem Beginn des Vorratsabbaus ein absteigender Trend der Entwicklung der laufenden Zuwächse zeigt. Insgesamt kann man die abwärts gerichtete Zuwachsreaktion als eher mäßig bezeichnen, woraus sich für den Betrieb ein relativ großer Handlungsspielraum ergibt, ohne massive Zuwachseinbußen befürchten zu müssen. Die Simulation und Prognose der Entwicklungstendenzen der Zittauer Waldflächen unter Annahme des Klimaszenariums B1t basieren auf den identischen Startbeständen, wie zuvor die Prognosen bei den mittleren klimatischen Bedingungen von 1981 bis 2000. Lediglich die wald-

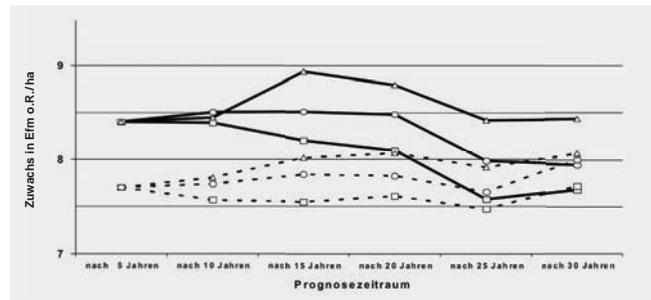


Abb. 7: Entwicklung der lfd. Zuwächse im Forstbetrieb Zittau über 30 Jahre aus SILVA-Simulationen unter den gegebenen Klimaverhältnissen und dem Klimaszenarium B1t (gestrichelt) jeweils für die drei Nutzungsvarianten Normal (Kreis), Extensiv (Dreieck) und Intensiv (Quadrat).

Fig. 7: Current annual increment development for the forest enterprise Zittau over 30 years based on SILVA-simulations for the present climate and climate scenario B1t (dashed), for the three exploitation intensities normal (circles), extensive (triangles) and intensive (rectangles), separately.

wachstumkundlichen Rahmenwerte im Standort-Leistungsmodul von SILVA wurden entsprechend den Erkenntnissen aus den Rechnungen mit BALANCE neu angepasst. Durch Anpassung der Eingriffsvorgaben im Durchforstungsmodul des Wuchsmodells SILVA konnten die Entnahmemengen bei der Betriebssimulation unter Annahme des Klimaszenariums B1t auf einem vergleichbaren Niveau wie bei der Prognose unter gegenwärtigen Klimaverhältnissen gehalten werden (siehe Abb. 5 oben). Die Nutzungssteigerungen in der zweiten und dritten Dekade der B1t-Prognose fielen insgesamt jedoch etwas schwächer aus. Veränderungen im Prognoseverlauf in Abhängigkeit der neuen Klimadaten ergaben sich somit in erster Linie bei der Entwicklung der Holzvorräte und der laufenden Zuwächse.

Auf Grund der veränderten Wuchsbedingungen ergab sich unter dem B1t-Szenarium für den Gesamtbetrieb zum Startzeitpunkt der Prognose nur noch ein mittlerer Zuwachs von 7,7 Efm/ha und Jahr, was eine Reduktion von 9% gegenüber dem aktuellen Zuwachs bedeutet. Umgerechnet auf die gesamte Betriebsfläche wachsen somit jedes Jahr 1.400 Efm weniger zu. Die Zuwachskurven verlaufen dementsprechend auf niedrigerem Niveau mit ähnlichen Tendenzen bei den drei Nutzungsvarianten (siehe Abb. 7). Die Unterschiede zwischen den Varianten fallen hier allerdings geringer aus.

Gleiche Nutzungsintensitäten bei geringeren Zuwächsen führten erwartungsgemäß dazu, dass die Vorratsentwicklungen ebenfalls auf niedrigerem Niveau stattfanden. Dass die Kurven der B1t-Szenarien nach zehn Jahren fast parallel zu den Trendlinien der 1981–2000-Szenarien verlaufen (siehe Abb. 6), und nicht weiter scherenartig auseinandergehen, liegt an den Regelwerken der Durchforstungsvorgaben. Weniger Zuwachs führt zu geringeren Dichten und verminderter Konkurrenz und damit zu geringeren Entnahmemengen, vor allem im Bereich der Vornutzungsbestände.

5. Diskussion

Erst durch die Verknüpfung des physiologisch basierten Prozessmodells BALANCE mit dem managementorientierten Modell SILVA ist es möglich, die Auswirkungen von verän-

veränderten Umweltbedingungen wie z. B. Klimaveränderungen auf das Waldwachstum unter Einbeziehung von unterschiedlichen Waldbaustrategien zu untersuchen. Durch die Kopplung der beiden Modelle wird eine Brücke vom Einzelbaum bis hin zur Betriebs- und Waldlandschaftsebene geschlagen. Zudem eröffnet sich die Möglichkeit, unterschiedliche Anpassungsstrategien an veränderte Umwelt- und Klimabedingungen näher zu untersuchen (RÖTZER 2008).

Die Simulationen mit dem Wachstumsmodell SILVA auf Betriebs-ebene machen die weit reichenden Konsequenzen der aktuellen waldbaulichen Planungen offensichtlich. Damit hat der Betrieb die Möglichkeit, Entwicklungstendenzen bis zu einem weit entfernt liegenden Zeithorizont abschätzen und gegebenenfalls frühzeitig unerwünschten Entwicklungen entgegenzuwirken. Die drei unterschiedlichen Nutzungsvarianten spannen dabei, ausgehend von der Normalvariante, einen Handlungskorridor auf, in dem sich der Betrieb voraussichtlich bewegen wird. Welche Konsequenzen sich ergeben, wenn Planung oder später tatsächliches Handeln von der Normalvariante abweichen, lassen sich mit Szenarienanalysen gut nachvollziehen.

Bei der Bewertung der Ergebnisse der Modellrechnungen muss immer bedacht werden, dass es sich um Entwicklungstendenzen und Trenderaussagen handelt. Zudem handelt es sich um eine Modellbetrachtung unter ceteris-paribus-Bedingungen, d. h. ohne Berücksichtigung von Risikofaktoren. Insbesondere die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Wind-, Schnee- oder Insektenkalamitäten muss mit ins Kalkül gezogen werden.

Die zusätzliche Darstellung der Entwicklungen der Waldflächen unter geänderten klimatischen Verhältnissen helfen dem Forstbetrieb, auch die zukünftigen waldbaulichen Rahmenbedingungen einzuschätzen. Für die Forstbetriebsprognosen wurde dabei bewusst das Klimaszenarium B1t zugrunde gelegt, obwohl aktuell das Szenarium A2t als das wahrscheinlichere angesehen wird. Die geringeren klimatischen Änderungen im B1t-Szenarium, welche in den Modellrechnungen immer von Beginn an wirksam sind, erlauben eine Interpretation der Ergebnisse unter der Annahme, dass Wachstumsänderungen dieses Umfangs tatsächlich in den nächsten Jahrzehnten für den Forstbetrieb spürbar und somit auch schon planungsrelevant werden.

Insgesamt deuten die Auswertungen der Betriebssimulationen unter den geänderten Klimabedingungen auf eine Abnahme des Reaktionsvermögens der Waldbestände auf Bewirtschaftungsmaßnahmen hin, was gleichbedeutend mit einem Verlust an Steuerungsmöglichkeiten für den Waldplaner ist. Dies zeigt sich an dem schmäleren Handlungskorridor (Abb. 6), der durch die intensive und extensive Nutzungsvariante aufgespannt wird. Aus einer geringeren Elastizität der Zuwachsreaktionen (Abb. 7) folgt, dass zum Beispiel Verjüngungsgänge weniger beeinflussbar sind. Rechnet man noch das prognostizierte häufigere Auftreten von Schadergebnissen (HÖPPE 2008) hinzu, besteht die Gefahr, dass der Betrieb zukünftig waldbaulich nur noch reagieren und nicht mehr steuern kann, was letztendlich auch immer zu wirtschaftlichen Einbußen führen wird (STANG 2008; KNOKE 2008). Der immerhin 27%ige Laubholzanteil im Zittauer Wald dürfte hierbei eine gewisse Pufferfunktion mit Blick auf die Zu-

wachseinbußen ausüben. In Waldflächen mit deutlich geringeren Laubholzanteilen würden die Auswirkungen der Klimaänderungen noch mehr zum Tragen kommen (RÖTZER und MOSHAMMER 2008).

6. Danksagung

Für die Datenbereitstellung bedanken sich die Autoren bei allen Mitarbeitern des ENFORCHANGE-Projekts, insbesondere bei Prof. Dr. C. Bernhofer, Dr. V. Goldberg und B. Fischer (Professur für Meteorologie, TU Dresden). Das Modell BALANCE wurde im Rahmen des Sonderforschungsbereichs SFB 607 „Wachstum und Parasitenabwehr“ entwickelt. Das Teilprojekt wurde im Rahmen von ENFORCHANGE (FKZ 03306434L) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF gefördert.

Literatur

- BERNHOFER, C., GOLDBERG, V., SURKE, M., FISCHER, B. (2007): Regionalisierung von Klimaelementen in den Modellregionen Dübener Heide und Oberlausitz im Projekt ENFORCHANGE. Statusbericht ENFORCHANGE, Dresden: 50–62.
- BÜCKING, M., MOSHAMMER, R., ROEDER, A. (2007): Wertholzproduktion bei der Fichte mittels kronenspannungsarm gewachsener Z-Bäume. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Nr. 62/07, 295 S.
- ENKE, W., DEUTSCHLÄNDER, T., SCHNEIDER, F., KÜCHLER, W. (2005): Results of five regional climate studies applying a weather pattern based down-scaling method to ECHAM4 climate simulations. Meteorologische Zeitschrift 14: 247–257.
- GROTE, R., PRETZSCH, H. (2002): A model for individual tree development based on physiological processes. Plant Biology 4: 167–180.
- GROTE, R., PATZNER K., SEIFERT T. (2003): Modelling Water Availability in Individual Trees – a Contribution of Process-Based Simulation to the Prediction of Development in Heterogeneous stands. Umweltinformatik aktuell 31: 804–812.
- IPCC (2007): BATES, B.C., KUNDZEWICZ, Z.W., S. WU AND J.P. PALUTIKOF, EDS. (2008): Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 S.
- HÖPPE, P. (2008): Links between Global Warming and Significant Trends of Increasing Weather related Catastrophes. Proceedings of the 18. International Conference of Biometeorology, Tokyo, Japan.
- KAHN, M. (1994): Modellierung der Höhenentwicklung ausgewählter Baumarten in Abhängigkeit vom Standort. Schriftenreihe der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität München und der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Forstliche Forschungsberichte München Nr. 141, 204 S.

- KAHN, M., PRETZSCH, H. (1997): Das Wuchsmodell SILVA 2.1- Parametrisierung für Rein- und Mischbestände aus Fichte und Buche. AFJZ 168 – 6/7: 115–123.
- KNOKE, TH. (2008): Herausforderungen für die Forstbetriebsplanung. AFZ 63 (17): S.900–901.
- LAF SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR FORSTEN (2002): Richtlinie zur Bestandespflege und Wertästung im Staatswald des Freistaates Sachsen, 40 S.
- MOSHAMMER, R. (2006): Vom Inventurpunkt zum Forstbetrieb. AFZ 61 (21): 1164–1165.
- PRETZSCH, H., BIBER, P., DURSKEY, J. (2002): The single tree based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation. Forest. Ecol. and Manage. 162: 3–21.
- PRETZSCH, H., GROTE, R., REINEKING, B., RÖTZER, T., SEIFERT, S. (2008): Models for Forest Ecosystem Management – A European Perspective. Annals of Botany 101: 1065–1087.
- RÖTZER, T., GROTE, R., PRETZSCH, H. (2005): Effects of environmental changes on the vitality of forest stands. European Journal of Forest Research 124, S. 349–362.
- RÖTZER, T., SEIFERT, T., PRETZSCH H. (2009): Modelling above and below ground carbon dynamics in a mixed beech and spruce stand influenced by climate. European Journal of Forest Research. 128: 171–182
- RÖTZER, T., MOSHAMMER, R. (2008): Waldentwicklungsszenarien für die Dübener Heide. FuH 10 (63): 18–22.
- RÖTZER, T. (2008): Effects of droughts on the carbon dynamics of forest stands in Central Europe. Proceedings of the 18th International congress of Biometeorology, Tokyo, Japan.
- STANG, S. (2008): Optimierung der Forstbetriebsplanung zur Bewertung von Nutzungseinschränkungen. AFZ 63 (17): S.905–907.

Autorenanschriften

Ralf Moshhammer, Thomas Rötzer, Hans Pretzsch
Technische Universität München
Lehrstuhl für Waldwachstumskunde
Am Hochanger 13, D-85354 Freising
Ralf.Moshhammer@lrz.tu-muenchen.de

Waldbaustrategien unter sich ändernden Umweltbedingungen – Leitbilder, Zielsystem und Waldentwicklungstypen

Silvicultural strategies under changing environmental conditions – Guiding principles, Target system and Forest development types

Dirk-Roger Eisenhauer, Sven Sonnemann

Abstract

The article is mediating the guiding principles for the cultivation of the Saxon state owned forest. While realising the guiding principles with a target system, it is referring first to questions of forestry in general, like the integration of silviculture in the context of forest management, the further developed content of the term sustainability as well as the difficulties of a multi-functional forestry. Based on actual research, site differentiated restrictions for the use of highly mechanised timber harvest systems are discussed concerning soil protection. The basic direction of the silviculture in the site regions lowland, hilly loess-land and Saxon low mountain range with its influences on yield potenzial, necessary expenditures for the regeneration and the resulting requirement of silvicultural reproduction material is examined on the basis of regional prior functions. Forest development types are representing regionally differentiated guidelines and targets of future forest practice. A description of their basic structure and an overview of the research results of both model regions, Dübener Heide and Lausitz, are given.

Keywords: Silviculture, forest cultivation, Forest development type, guiding principle, target system, timber harvest, soil protection, yield potenzial, forest regeneration

Zusammenfassung

Der Beitrag vermittelt das Leitbild für die Bewirtschaftung des sächsischen Landeswaldes. Dabei wird zunächst auf übergreifende Fragen der Waldbewirtschaftung, wie die inhaltliche Weiterentwicklung des Nachhaltigkeitsbegriffes, grundlegende Fragen einer multifunktionalen Waldbewirtschaftung sowie die Einordnung des Waldbaus in den Kontext forstbetrieblicher Betrachtungen, eingegangen. Für die Standortsregionen Tiefland, Lößhügelland und Mittelgebirge wird auf der Basis regionaler Vorrangfunktionen die grundlegende Ausrichtung des Waldbaus mit ihren Auswirkungen auf das Holzaufkommen und notwendige Verjüngungsinvestitionen sowie der daraus resultierende Bedarf an forstlichem Vermehrungsgut erörtert. Als eine der Grundlagen für nachhaltige Bodennutzung werden Kriterien für den Einsatz hochmechanisierter Holzertesysteme, als Synthese aus standortkundlichen und forsttechnischen Parametern, dargestellt.

Auf der Planungsebene wird mit dem Waldentwicklungstyp ein dynamisches Planungsinstrument vorgestellt, mit dessen Hilfe die formulierten Leitbilder und Ziele regional und lokal differenziert in der Forstpraxis realisiert werden können. Die projizierten regionalen Klimaveränderungen wurden als wesentliche Hintergrundinformation berücksichtigt. Gegenüber der aktuellen Richtlinie über die Bestandeszieltypen im Landeswald erfolgte eine stärkere Differenzierung auf der Grundlage von Substrattypen, als neue standörtliche Bezugseinheit. Die Umsetzung dieses Konzeptes wird beispielhaft für die beiden Modellregionen Dübener Heide und Lausitz dargestellt.

Schlüsselwörter: Waldbau, Waldbewirtschaftung, Waldentwicklungstyp, Leitbild, Zielsystem, Holzernte, Bodenschutz, Holzaufkommen, Waldverjüngung

1. Einleitung

Die Existenz von Landeswald ist nur dann hinreichend begründet, wenn dessen Bewirtschaftung auf eine ausgewogene Synthese aus der Stetigkeit von landschaftsökologischen Waldwirkungen und einer nachhaltigen sowie stetigen Holzbereitstellung gerichtet ist. In diesem Zusammenhang sind anthropogen bedingte Veränderungen von Klima und Boden in einer bisher nicht bekannten Intensität als Risiko für eine nachhaltige Forstwirtschaft zu bewerten, welches durch die Art der Waldbewirtschaftung zu puffern ist. Diese Möglichkeiten sind begrenzt.

Der gesetzliche Auftrag zur Schaffung und zum Erhalt ökologisch stabiler Wälder (SMUL 2008) erlangt mit dem Prozess von dramatischen Veränderungen der natürlichen Produktionsgrundlagen der Forstwirtschaft eine neue Dimension.

Begleitet wird diese Entwicklung durch einen steigenden regionalen Holzbedarf bei gleichzeitiger Globalisierung der Holzpreise, zunehmende sozioökonomische Anforderungen an die Waldbewirtschaftung sowie die Forderung, die funktionale Biodiversität bei der Nutzung von Wald- bzw. Forstökosystemen zu erhalten, i. d. R. jedoch zu erneuern. Gleichzeitig ist die Verbesserung der betriebswirtschaftlichen Effizienz eines der entscheidenden Ziele bei der Reform der Staatsforstverwaltungen bzw. der Staatsforstbetriebe.

In diesem Spannungsfeld würde eine überwiegende, nach

monetären Kriterien optimierte Ausrichtung auf die Holzproduktion, bei der bedeutende landschaftsökologische, soziale und sozioökonomische Waldfunktionen de facto nachrangig wären, zur Privatisierung des Landeswaldes führen. Andererseits würde die einseitige Überhöhung der Schutzfunktionen die Forstwirtschaft unter den Bedingungen aktueller Einnahmestrukturen in einem nicht zu verantwortenden Maß zurückdrängen und damit auch die sozioökonomischen Wirkungen der Waldbewirtschaftung deutlich abschwächen. Beide Entwicklungsrichtungen wären unter den Bedingungen intensiv und vielfältig genutzter Kulturlandschaften temporär und müssten wahrscheinlich mit hohem Aufwand korrigiert werden. Dementsprechend muss die Waldbewirtschaftung, und die des Landeswaldes im Besonderen, auch in Zukunft auf einer integrativen Strategie aufbauen.

Waldentwicklungstypen (WET) können hierzu einen wesentlichen Beitrag leisten. Auf der Grundlage der spezifischen regionalen und lokalen Ausgangsbedingungen sowie der Anforderungen an die Waldbewirtschaftung, erfolgt mit dem Waldentwicklungstyp eine funktionale, dynamisierte Verbindung zwischen Ausgangs- und Zielzustand. Diese ermöglicht es sowohl Veränderungen von Zustandseigenschaften der Geotope als auch von funktionalen Anforderungen an den Zielzustand zu berücksichtigen.

2. Leitbild für die Bewirtschaftung des Landeswaldes

Die Bewirtschaftung des Landeswaldes bzw. des öffentlichen Waldes soll ökologisch, wirtschaftlich und sozial nachhaltig erfolgen. Diese zentralen Aussagen im Leitbild erfordern begriffliche und inhaltliche Klarheit.

Die zukünftige Ausrichtung des Waldbaus muss dem Ziel entsprechen, die ökologische Anpassungsfähigkeit von Wäldern an sich ändernde Geotopzustände und die forstwirtschaftlichen Reaktionsmöglichkeiten auf sich ändernde gesellschaftliche Anforderungen zu verbessern. Beide Aspekte bilden die Grundlage für ein kontinuierliches Zielsystem. Paradigmenwechsel in der Waldbewirtschaftung, wie sie aus der Forstgeschichte hinlänglich bekannt sind, könnten auf diese Weise vermieden werden (WAGENKNECHT 1991, 1992, THOMASIIUS 1992).

Anforderungen an den Wald, die sich durch eine stark eingeschränkte Kompensierbarkeit, die Notwendigkeit einer ausgeprägten Stetigkeit und daraus folgend eine hohe aktuelle und zukünftige Bedeutung auszeichnen, müssen bei der Zieldiskussion für die Bewirtschaftung des Landeswaldes vorrangig berücksichtigt werden. Dem entspricht die Sicherung einer nachhaltigen und stetigen Holzversorgung unter dem Einfluss des steigenden Holzbedarfs (SPELLMANN 2005, HARTEBRODT & FILLBRANDT 2006) sowie der Stetigkeit von Waldwirkungen, die entscheidend zum Erhalt bzw. zur Erneuerung der optimalen Stabilität und Funktionalität einer vielfältig genutzten und hochsensiblen Kulturlandschaft beitragen (SCHUBERT 1991). In diesem Zusammenhang ist es notwendig, die Vorgaben des sächsischen Waldgesetzes (SMUL 2008) für die Bewirtschaftung des Landeswaldes zu präzisieren.

Unter den gegebenen ökonomischen Rahmenbedingungen für die Waldbewirtschaftung, der Globalisierung des Holzmarktes, einem steigendem Holzbedarf bei veränderter Holzbedarfsstruktur und erhöhten logistischen Anforderungen an die Holzbereitstellung aber auch einer zunehmenden Bedeutung der Pufferfunktion von Wäldern gegenüber Umwelttrisiken gewinnt die Frage nach dem Festhalten am Konzept der multifunktionalen Waldbewirtschaftung oder deren funktionaler Differenzierung an Bedeutung (VOLZ 1995, 1997, 2002, RIPKEN 2004, DUFFNER 2004).

3. Umsetzung des Leitbildes in der Waldbaustrategie

Eindeutige Begriffe als Grundlage für konsistente Ziele

Waldbau

Waldbau ist die Gesamtheit aller Maßnahmen bei der Behandlung von Wäldern bzw. Forsten, die unter gegebenen Ausgangsbedingungen auf ein bestimmtes Ziel gerichtet sind. Der Waldbau ist damit einem Ziel oder Zielsystem untergeordnet. Daraus folgt, dass

- ein in sich und im Verhältnis zu den gegebenen Rahmenbedingungen konsistentes Zielsystem die Voraussetzung für einen zielkonformen Waldbau und die betriebswirtschaftliche Bewertung waldbaulicher Maßnahmen ist,
- Ausgangsbedingungen, Ziel und die Zeit, in der die Annäherung zwischen Ausgangs- und Zielzustand erreicht werden soll, die waldbaulichen Entscheidungsmöglichkeiten bestimmen,
- deduktive Rahmenvorgaben im Hinblick auf die waldbauliche Einzelentscheidung hinreichend konkret und flexibel sein müssen.

Die Erfüllung dieser Voraussetzungen ist die Grundlage für einen rational begründeten, kontinuierlichen Waldbau (EISENHAUER 2006).

Nachhaltigkeit

Der unmittelbar mit der Entstehung einer geregelten Forstwirtschaft verbundene Begriff der Nachhaltigkeit (KURTH 1994, THOMASIIUS 1996) unterliegt gegenwärtig einer nahezu inflationären Verwendung in allen Lebensbereichen. Im Vergleich dazu sind die forstwirtschaftlichen Nachhaltigkeitsindikatoren klar umrissen (MICHAL 1992, KURTH 1994, THOMASIIUS 1996):

- Sicherung der dauerhaften Produktivität der Waldböden durch Erhalt / Erneuerung der Bodenfunktionen, gemessen am natürlichen Bodenzustand,
- Stetigkeit der Waldfläche durch kontinuierliche Verjüngung ihrer genutzten Bestandteile,
- stetige Ausgeglichenheit der Holznutzung im Verhältnis zum Zuwachs,
- stetige Fähigkeit zur Selbstregulation auf der Grundlage von quasi-stabilen Wald-Biozönosen in den Wechselwirkungen mit ihrer abiotischen Umwelt (ökologische Stabilität),
- Stetigkeit der Waldwirkungen zum Erhalt/zur Erneuerung der Stabilität der Kulturlandschaft.

Die ersten drei Nachhaltigkeitsindikatoren gelten als Mindeststandards für eine nachhaltige Holzproduktion. Dem gegenüber steht die Stabilität und Anpassungsfähigkeit der Waldökosysteme an sich ändernde Geotopzustände im engen Zusammenhang mit der Forderung nach dem Erhalt bzw. der Erneuerung der funktionalen Biodiversität der Wald- bzw. Forstökosysteme. Die Stetigkeit der Waldwirkungen, die zum Erhalt bzw. zur Erneuerung der Stabilität der Kulturlandschaft beitragen, bildet die Verbindung zwischen einer nachhaltigen forstwirtschaftlichen und der Nutzung der Kulturlandschaft als Ganzes.

Insgesamt handelt es sich um Kriterien einer erweiterten, holistischen forstwirtschaftlichen Nachhaltigkeitsauffassung (RIO DE JANEIRO 1992, MICHAL 1992). Sektorale Tendenzen bei der ökonomischen Bewertung von Bewirtschaftungsmaßnahmen wirken deren Umsetzung entgegen. Das betrifft die zeitlich und inhaltlich stark eingegrenzte Bewertung einzelner waldbaulicher Maßnahmen ohne hinreichende Berücksichtigung ihrer Folgewirkungen (THOMASIU 1992, 1996, 1998, OTTO 1994) ebenso, wie die nicht ausreichende Einbeziehung von Gütern und Leistungen, die durch die Forstwirtschaft über die Holzproduktion hinaus erbracht werden (RIPKEN 2004, DUFFNER 2004).

Ökologie

Ökologie ist als Wissenschaft an sich wertfrei. Ökonomisch wirksam wird Ökologie durch das Maß in dem ökologische Prozesse für das Erreichen von Bewirtschaftungszielen effektiv genutzt werden oder gegen diese gewirtschaftet wird. Darüber hinaus beeinflusst die ökologische Stabilität der Wald- bzw. Forstökosysteme, als deren Fähigkeit, auch unter dem Einfluss von Störfaktoren zu überdauern (Resistenz) und im Fall von Störungen ihre Struktur zu erneuern (Resilienz), die Intensität von anthropogenen Interventionen (externer Energie-Input) in die Ökosystemdynamik. Unter dem Einfluss sich irreversibel und mit hoher Intensität ändernder Geotopzustände, gewinnt für die Forstwirtschaft zusätzlich das Potenzial einer auf die Vegetationsform Wald gerichteten Anpassungsfähigkeit (oriented dynamic) an Bedeutung (STOLINA 1985, SCHUBERT 1991, MICHAL 1992, THOMASIU 1992, 1996, OTTO 1994).

Jede zielbedingte Abweichung von einem quasi-stabilen Systemzustand muss durch Mehraufwendungen (Input), die von der Intensität dieser Abweichung abhängen, kompensiert werden. Das erfordert einen fundierten, soweit möglich analytisch begründeten Abwägungsprozess als Grundlage für die Festlegung forstbetrieblicher Ziele und deren Umsetzung in der Waldbaustrategie.

Multifunktionalität oder funktional differenzierte Waldbewirtschaftung

Diese Frage gewinnt zunehmend an Bedeutung. Ein Festhalten am Konzept der Multifunktionalität, als Gleichrangigkeit der Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktion (vgl. § 45 Waldgesetz des Freistaates Sachsen vom 10. April 1992) auf jeder Flächeneinheit, ist aus folgenden Gründen zu präzisieren:

- Mangel an Differenziertheit der Ziele als Grundlage für effizientes Wirtschaften,
- fehlende Bewertung gemeinwohlorientierter Leistungen und deren Erstattung (nicht Subventionierung!),
- mangelnde Transparenz des Aufwandes, der auf dem aktuellen Stand des Wissens notwendig ist, um bestimmte Wirkungen (Leistungen) zu erzielen, die über eine nachhaltige Holzproduktion hinausgehen,
- Abhängigkeit verschiedener Wirkungen des Waldes und Leistungen der Forstwirtschaft von der Baumartenzusammensetzung und der Struktur und damit von der waldbaulichen Behandlung von Waldbeständen (Holzproduktion, Grundwasserspende, Abflussregulation bei Hochwasserereignissen etc.),
- unzureichende Abgrenzung solcher Leistungen zu Aufwendungen, die für eine nachhaltige Holzproduktion und Bodennutzung notwendig sind,
- Effizienzverluste durch das Fehlen widerspruchsfreier Zielsysteme,
- Widersprüche zwischen den proklamierten Zielen und der öffentlichen Wahrnehmung bzw. der Realität der Landeswaldbewirtschaftung (DUFFNER 2004, RIPKEN 2004).

Die folgende Auslegung einer multifunktionalen Waldbewirtschaftung könnte die Grundlage für eine Abschwächung der zuvor genannten Kritikpunkte sein, ohne dass dadurch eine im engeren, forstwirtschaftlichen Sinne nachhaltige Waldbewirtschaftung sowie die Ausprägung und Stetigkeit landschaftsökologisch relevanter Waldwirkungen in Frage gestellt werden.

Multifunktionalität ist die Synthese aus einem extern anerkannten Bewirtschaftungsstandard (PEFC 2005), dessen Berücksichtigung in der Waldbaustrategie des Staatsbetriebes (EISENHAUER et al. 2005, EISENHAUER 2008) und deren differenzierter waldbaulicher Umsetzung im Bezug zu funktionalen Flächeneinheiten unterschiedlicher Ausdehnung auf der Grundlage einer Vorrangfunktion.

Für die Umsetzung dieser Auslegung des sächsischen Waldgesetzes im Forstbetrieb ist es notwendig, die Waldwirkung/Waldfunktion herauszuarbeiten die:

- unter den gegebenen landschaftsökologischen und sozioökonomischen Bedingungen von herausragender Bedeutung ist und ggf. andere Waldfunktionen kompensiert,
- eine speziell, auf diese Funktion gerichtete Waldbewirtschaftung erfordert,
- auf der Ebene von Naturräumen funktionale Defizite unter Berücksichtigung unterschiedlicher Eigentümerinteressen vorrangig im Landeswald ausgleicht,
- nach dem aktuellen Stand des Wissens einen nachweisbaren Mehraufwand gegenüber einem durch den Staatsbetrieb akzeptierten Standard für die Waldbewirtschaftung (PEFC) bedingt.

Waldentwicklungstypen

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Verbundprojektes ENFORCHANGE wurden auf der Grundlage der in Abschnitt 2 for-

mulierten Leitbilder für die Dübener Heide und die Lausitz, als repräsentative Standortsregionen Sachsens, langfristige waldbauliche Behandlungskonzepte erarbeitet. Dabei erfolgte die Berücksichtigung der projizierten regionalen klimatischen Veränderungen (GOLDBACH et al. 2007). Für beide Regionen stehen mit den Waldentwicklungstypen (WET) waldbauliche Entscheidungs- und Handlungsrahmen zur Verfügung, die an die naturräumlichen und lokalen standörtlichen Bedingungen sowie die aktuellen gesellschaftlichen Anforderungen angepasst sind. Diese können prozessorientiert an Veränderungen der Standorte, aber auch der forstbetrieblichen Ziele angepasst werden.

Für den Landeswald in Sachsen werden WET mit der Zusammenfassung in regionalen Waldbaurichtlinien verbindlich. Die planerische Umsetzung erfolgt schrittweise mit der Forsteinrichtung. Im Privat- und Körperschaftswald besitzen sie empfehlenden Charakter und dienen als Beratungsgrundlage für waldbauliche Entscheidungen.

Definition

Der Waldentwicklungstyp charakterisiert für flächenrepräsentative Ausgangszustände von Wald- und Forstökosystemen mit einem durchgängigen waldbaulichen Entwicklungs- und Behandlungskonzept, die funktionale Verbindung mit dem Zielzustand der Waldentwicklung (EISENHAUER & SONNEMANN 2008b).

Grundlagen für die Ausweisung eines WET sind damit:

- ein ähnlicher Ausgangszustand der in einem WET zusammengefassten Wald- bzw. Forstökosysteme,
- eine ähnliche Prognose der Standortdrift,
- eine ähnliche Prognose der Ökosystemdynamik und
- vergleichbare Ziele (Vorrangfunktion) der Waldentwicklung und auf diese gerichteter waldbaulicher Behandlungskonzepte.

Gegenüber statischen Planungsansätzen, wie z.B. Bestandeszieltypen (BZT) sind Waldentwicklungstypen prozessorientiert und stärker spezifiziert, da

- mit dem Bezug auf flächenrelevante Ökosystemtypen die regionalen Verhältnisse des jeweiligen Planungsraumes repräsentiert werden und damit die Grundlage für regionale Waldbaurichtlinien geschaffen wird,
- die Gruppierung von Lokalbodenformen mit ähnlichen bodenphysikalischen Eigenschaften zu so genannten Substrattypenkombinationen, als neue waldbauliche Bezugseinheiten, z. B. eine wesentlich differenziertere Berücksichtigung des Bodenwasserhaushaltes ermöglicht,
- eine differenzierte Bewertung des Widerstandspotenzials der Wald- bzw. Forst-Biozönosen gegenüber biotischen Schadfaktoren und abiotischen Schadereignissen, zu einer unterschiedlichen Wahrscheinlichkeit von Ertrags- und Wirkungsrisiken und damit zu einer differenzierten Intensität der waldbaulichen Steuerung führt,
- der Bezug auf eine Vorrangfunktion ebenso eine differenzierte waldbauliche Vorgehensweise bedingt.

Der Waldentwicklungstyp stellt eine prozessorientierte Planungs-, Steuerungs- und Kontrolleinheit für die Forsteinrichtung dar und ist als solche operative Handlungsgrundlage für den Betriebsvollzug.

Ausgangszustand

Der Ausgangszustand basiert auf einer repräsentativen Klassifizierung der aktuellen Standorts- und Waldzustände der jeweiligen Modellregion. Die projizierten regionalen Klimaänderungen werden dabei, dem aktuellen Stand des Wissens entsprechend (SCHLUTOW & GEMBALLA 2008), berücksichtigt.

Um eine rationelle Bearbeitung weiterer Standortsregionen zu gewährleisten, erfolgte eine Prüfung der für die Klassifizierung der Ausgangszustände in Frage kommenden Parameter hinsichtlich ihrer flächigen Verfügbarkeit und Auflösung, Aktualität sowie inhaltlichen Relevanz. Ein weiterer Prüfungsaspekt war die Möglichkeit der digitalen Weiterverarbeitung.

Drei Parameter erfüllten diese Kriterien und waren zudem hinreichend spezifisch, um eine Ausgangszustandsklasse eindeutig zu beschreiben. Die Substrattypenkombination bildet die wichtigsten Bodeneigenschaften ab und lässt sich aus der digitalen forstlichen Standortskarte mit geringem Aufwand ableiten. Der Bestandeszustandstyp beschreibt Baumartenzusammensetzung und wird aus den Forsteinrichtungsdaten übernommen. Die Vorrangfunktion (i.d.R. gesetzlich vorgegeben) prägt den WET durch die Spezifizierung der waldbaulichen Behandlung.

Zielzustand

Das waldbauliche Ziel wird maßgeblich vom aktuellen und wahrscheinlichen zukünftigen Potenzial des Standorts, der Vorrangfunktion sowie dem Entwicklungspotenzial der Wald- bzw. Forst-Biozönose bestimmt.

Als Grundlage für die Bestimmung konkreter Zielzustände dienen die bereits vorliegenden Bestandeszieltypen (EISENHAUER et al. 2005, MLU 2004). Nach der Analyse der ökologischen Valenz relevanter Wirtschaftsbaumarten und Waldgesellschaften im Bezug zum standörtlichen Wirkungsraum erfolgte eine regionale und stärker standörtlich differenzierte Anpassung dieser Zielzustände (BZT). Eingangsgroßen waren repräsentative Substrattypenkombinationen und auf diesen aufbauende bodenchemische und bodenphysikalische Eigenschaften, die monatliche klimatische Wasserbilanz während der Vegetationsperiode sowie die Vegetationszeitlänge. Neben dem Basisklima (1970–2000) wurden die regionalen Klimaprojektionen berücksichtigt (SCHLUTOW & GEMBALLA 2008).

Behandlungstyp

Über den Behandlungstyp erfolgen die zeitliche und inhaltliche Spezifizierung des waldbaulichen Vorgehens sowie eine weitere Differenzierung nach zusätzlichen Bestandesmerkmalen, wie z.B. Kronenschlussgrad, als Indikator für die Wuchsraumausnutzung, Sukzessions- und Verjüngungspotenzial.

Jeder Behandlungstyp bildet damit ein eigenständiges waldbauliches Behandlungskonzept ab. Die wuchphasenspezifischen Vorgaben orientieren sich dabei am Verlauf des Höhenzuwachses. Innerhalb eines Waldentwicklungstyps kann es mehrere Behandlungstypen geben. Ausgangs- und Zielzustand bleiben jedoch immer gleich.

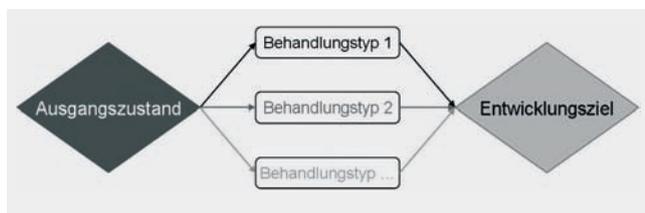


Abb. 1: Schematische Darstellung des Behandlungstyps.

Fig. 1: Schematic structure of treatment types.

4. Waldbaustrategie des Staatsbetriebes Sachsenforst

Die Waldbaustrategie ist auf eine Umsetzung des Leitbildes für die Bewirtschaftung des Landeswaldes gerichtet. Hierbei handelt es sich um einen Prozess, der mit der Richtlinie zu den Bestandeszieltypen im Staatswald (EISENHAUER et al. 2005) eingeleitet wurde.

Übergeordnete Ziele für die Waldbewirtschaftung in den Standortsregionen

Für die drei in Sachsen vorkommenden Standortsregionen Tiefland, Löß-Hügelland und Mittelgebirge wurden unter Berücksichtigung der Potenziale dieser Naturräume Leitziele formuliert, an denen sich Waldbewirtschaftung ausrichtet.

Tief- und Löß-Hügelland

Übergeordnete Ziele für die Waldbewirtschaftung sind:

- die Sicherung einer stetigen Holzproduktion auch unter dem zunehmenden Einfluss einer ausgeprägt negativen klimatischen Wasserbilanz,
- die Förderung der Grundwasserneubildung während der Vegetationsruhe, im Zusammenhang mit dem Erhalt bzw. der Verbesserung der Grundwasserqualität (MÜLLER et al. 2001, MÜLLER 2005, LEBEN 2005, WUNDERLICH et al. 2006, ZWEIG, BUFE, ANDREAE 2006).
- Erhalt und Aufwertung der Habitatfunktion von Wäldern, insbesondere in der walddarmen Agrarlandschaft des Löß-Hügellandes.

Die Funktion der Wälder und Forsten dieser Standortsregion als CO₂-Senke wird als Leitziel für die Waldentwicklung nicht gesondert herausgearbeitet, weil deren Nettoprimärproduktion auf den durch die Elster-Saale-Kaltzeit geprägten Sandböden relativ gering ist (HOFMANN et al. 2002) und im Löß-Hügelland durch den geringen Waldanteil an der Landnutzung kaum zur Wirkung kommt. Gleiches gilt für die weit überwiegend landwirtschaftlich genutzten Flussauen.

Insbesondere im Bereich des Tieflandes muss auf Grund der prognostizierten regionalen Klimaänderungen von waldböologisch extremen Veränderungen der Wasserverfügbarkeit ausgegangen werden (SMUL 2005, SCHLUTOW & GEMBALLA 2008). Die aktuelle und in noch stärkerem Maße die projizierte klimatische Wasserbilanz, begrenzen die waldbaulichen Möglichkeiten erheblich.

Die Weiterführung des Waldumbaus im sächsischen Tiefland unterliegt daher einer strikten standörtlichen Differenzierung, die durch das Potenzial der Waldböden bestimmt wird, Defizite im Wasserhaushalt der Waldbestände zu puffern. Dem gegenüber bilden die nicht standortgerechten Fichtenforste in der Standortsregion Löß-Hügelland wegen ihrer ausgeprägten biozönotischen Instabilität und degradierenden Wirkungen auf die Staugleye und Humusstaugleye durch extreme Bodenverdichtungen, den Schwerpunkt des Waldumbaus in Sachsen (IRRGANG 2002, EISENHAUER et al. 2005, EISENHAUER 2008).

Mittelgebirge

Da die Standortsregion Mittelgebirge im Rahmen der Projektbearbeitung bisher nicht berücksichtigt wurden, soll an dieser Stelle nur ein kurzer Einblick gegeben werden.

Das Zielsystem der Waldbewirtschaftung in den sächsischen Mittelgebirgen wird bestimmt durch:

- Sicherung einer stetigen, möglichst hohen Holzproduktion,
- die Erneuerung ausgeglichener Stoffkreisläufe, nach massiven, immissionsbedingten Bodenschäden (LEUBE et al. 2000),
- die Erneuerung biozönotischer Stabilität, insbesondere im Hinblick auf die Entwicklung des Risikopotenzials von Borkenkäferkalamitäten,
- eine optimale Wirkung als CO₂-Senke und einen maximalen forstwirtschaftlichen Beitrag zur CO₂-Produktbindung (HOFMANN et al. 2002, PROFFT et al. 2007),
- bedeutenden landschaftsökologischen Wirkungen, wie dem Erosionsschutz an Hängen, einem optimalen Beitrag zur Regulation des Landschaftswasserhaushalts, insbesondere zur Bildung einer in Menge und Qualität stetigen Grund- und Quellwasserspense sowie zur Abflussregulation bei Starkregenereignissen (SCHÜLER 2002, SONNEMANN et al. 2009).

Diese Prämissen führen mit ihrer waldbaulichen Umsetzung unter Berücksichtigung der überwiegenden natürlichen Ausgangssituationen, der Standortsdrift, der zeitlichen Dimension ihrer Umsetzung und den forstbetrieblichen Rahmenbedingungen (EISENHAUER 2008a) zu folgenden Zielzuständen:

An unterschiedliche Standortsbedingungen angepasste, horizontal und temporär vertikal gegliederte Waldstrukturen aus standortgerechten Baumarten mit hoher Stetigkeit der Holzproduktion auf kleinen, unter gegebenen technologischen und betriebswirtschaftlichen Prämissen effizient zu bewirtschaftenden Flächeneinheiten (bis max. 2 ha).

Schwerpunkte für die Weiterführung des Waldumbaus in der aktuellen Forsteinrichtungsperiode

Wie bereits beschrieben, konzentriert sich der Waldumbau auf die Standortsregion Löß-Hügelland und die heute gemäßigt subozeanischen bis subozeanischen – mäßig warmen Klimaareale (GEMBALLA & SCHLUTOW 2007) der Standortsregion Mittelgebirge. Die bisher für die Standortsregionen Tief- und Hügelland abgeleiteten Waldentwicklungstypen integrieren die folgenden waldbaulichen Grundsätze.

Tiefland

Eine an waldbauliche Investitionen gebundene Veränderung der Baumartenzusammensetzung über Kunstverjüngung wird vorrangig auf Standorten angestrebt, wo damit auch unter sich ändernden Umweltbedingungen ökologisch stabile Wälder geschaffen werden können. Für die eingebrachten Baumarten kann mindestens ein mittleres Ertragsniveau erwartet werden. Schwerpunkt sind naturräumliche Einheiten mit einem aktuellen Jahresniederschlag von mindestens 650 mm sowie mindestens lehmige Sande oder Sandstandorte mit begünstigtem Bodenwasserhaushalt bzw. den Wasserhaushalt der Waldökosysteme begünstigenden mikroklimatischen Bedingungen.

Die Kiefer bleibt auf den armen und dem überwiegenden Teil der ziemlich armen terrestrischen Sandstandorte sowie auf den wasserdurchlässigen Mittel- bis Grobsanden mittlerer Nährstoffversorgung ohne Grundwassereinfluss die dominierende Wirtschaftsbaumart. Eine zunehmende Beteiligung von Mischbaumarten aus natürlicher Verjüngung am Waldaufbau wird hierbei angenommen (EISENHAEUER 2001, EISENHAEUER et al. 2004). Eine investive Einbringung von Mischbaumarten erfolgt nur dort und mit einer Intensität wie eine lokale Vorrangfunktion dies erfordert.

Im Gegensatz zur Präferenz für die Kiefer als Wirtschaftsbaumart unter den Bedingungen der Standortdrift ist deren natürliche Verjüngungsfähigkeit auf dem überwiegenden Flächenanteil dieser Standorte stark eingeschränkt bzw. ohne Bodenbearbeitung/Chemieinsatz nahezu ausgeschlossen. Dementsprechend ist als Regelverfahren der Anbau nach Kahlschlag auf Flächen von bis zu 2 ha vorgesehen. Mit der Verwendung von qualifiziertem Vermehrungsgut erfolgt eine erhebliche genetische und wirtschaftliche Aufwertung der folgenden Waldgeneration (DOHRENBUSCH 1997, EISENHAEUER et al. 2004, EISENHAEUER et al. 2005, GREGER 2006).

Untere Berglagen und mäßig trockene mittlere Berglagen

Die höchste Umbaudringlichkeit ist in den nicht standortgerechten Fichtenforsten der unteren Berglagen und auf Trockenheitsexponierten Standorten der mittleren Berglagen gegeben. Eine hohe Gefährdung durch Trockenperioden und darauf folgende Massenvermehrung kambiophager Insekten, sowie extrem negative Einflüsse auf die Bodenfunktionen bedingen instabile Ökosystemzustände mit geringer Funktionalität. Ein Baumartenwechsel ist dringend anzustreben. Der Umbau bzw. die Umwandlung der Fichtenbestände

auf instabilen Standorten beginnt etwa ab Alter 80. Temporäre Mischungsanteile von Fichte aus Naturverjüngung werden bis zu max. 20% toleriert.

Feuchte mittlere Berglagen

Die stark eingeschränkte Bodenerschließung durch die Fichte bedingt eine unvollständige Ausnutzung des standörtlichen Produktionspotenzials. Dies hat negative Auswirkungen auf den Bestandeswasserhaushalt, die Vorratshöhe und im Fall von Kalamitäten die Stetigkeit der Holzproduktion. Des Weiteren werden CO₂-Senken- und Produktpotenziale nur eingeschränkt und mit weiter Oszillation wirksam. Eine generell zunehmende Disposition der Fichtenforsten gegenüber ihrer Ipsidenfauna unter dem Einfluss projizierten Klimaänderungen wird durch örtliche Standortfaktoren – z. B. Exposition, Relief, Bodenwasserhaushalt – modifiziert. Darauf aufbauend ist eine lokal differenzierte Intensität des Waldumbaus für die Betriebsergebnisse (wirtschaftliche Nachhaltigkeit) von hoher Bedeutung. Das betrifft sowohl eine risiko- und ertragsorientierte Investitionssteuerung als auch für den Erhalt einer möglichst hohen, ökonomisch relevanten Nadelbaumkomponente bei gleichzeitig vertretbarem Produktionsrisiko, als Grundlage für Ertragskontinuität auf hohem Niveau.

Aus dem aktuellen Zustand der Geotope und der Drift klimatischer Standortfaktoren resultiert die Notwendigkeit einer ökologisch wirksamen Veränderung der Baumartenzusammensetzung. Im Buchen-Nadelbaum-Typ, der in dieser Standortsregion dominiert, resultiert hieraus eine standörtlich differenzierte Beteiligung der Fichte in einzelnen Beständen von bis zu 50%. Neben dem Voranbau von Buche und Weißtanne ist die Douglasie als wirtschaftlich leistungsfähige Baumart planmäßig, d. h. auf waldwachstumskundlicher und ökologischer Grundlage, mit dem Ziel der Ertragssicherung und der Verbesserung ökologischer Stabilität, in den Waldumbau zu integrieren.

Hoch- und Kammlagen

In den Fichtenforsten der Hoch- und Kammlagen können Stabilitäts- und Funktionalitätseinschränkungen und -risiken weitgehend durch eine deutliche Annäherung der Waldstruktur an die natürlicher Fichtenwälder reduziert werden. Die kontinuierliche ökologisch wirksame Beteiligung vor allem der Eberesche, aber auch weiterer Pionierbaumarten am Waldaufbau trägt signifikant, auch ohne weiteren waldbaulichen Input zur Stabilisierung der Stoffkreisläufe und zu einer dauerhaften Wirkung der Waldkalkung bei (BARTELD et al., 1999). Alleinige Voraussetzung ist hier die entsprechende Regulation der Rot- und Rehwildbestände.

Pionierwälder und Forste aus Übergangsbaumarten, die in Folge extremer Immissionsbelastungen insbesondere die Kammlagen der sächsischen Mittelgebirge prägen, sind überwiegend durch eine stark eingeschränkte Produktionsdynamik mit dem Risiko funktionaler Einbrüche charakterisiert. Der Schwerpunkt für einen Baumartenwechsel in den Hoch- und Kammlagen liegt damit in diesen Beständen und zwar in zeitlicher Abhängigkeit zu deren Produktionsdynamik.

mik. Das Verjüngungsziel orientiert sich an der Baumartenzusammensetzung des Fichten-Bergwaldes und, in standörtlich begünstigten Lagen, an der des Fichten-Bergmischwaldes. Im Gegensatz zu einer reinen Rentabilitätsrechnung (PULKRAB 2008), führt die Berücksichtigung der sozial-ökonomischen Effektivität aller Waldfunktionen selbst unter diesen extremen standörtlichen Bedingungen zu einer positiven ökonomischen Bilanz (ŠIŠÁK 2008).

Bodenschutz und Holzerntetechnologie

Bei einem Anteil der hoch mechanisierten Holzernte (Harvester-Forwarder) von ca. 60% gewinnt der Bodenschutz bei der Holzernte zunehmend an Bedeutung. Von 1992 bis 2003 erfolgte die Anwendung hoch mechanisierter Holzerntetechnologien insbesondere in Durchforstungsbeständen ohne hinreichende standörtliche Differenzierung. Limitierend wirkten die technologischen Parameter der Bestände, die Leistungsfähigkeit der Maschinen und die Grenzbereiche für die technische Befahrbarkeit.

Auswirkungen auf physikalische und biologische Bodeneigenschaften wurden selbst auf extrem verdichtungs- oder erosionsgefährdeten Böden kaum berücksichtigt. Gleiches gilt auch für die Wirkung der Erschließungsdichte auf den schnellen Oberflächenabfluss bei Starkregenereignissen.

Im Zusammenhang mit dem Ziel einer nachhaltigen forstwirtschaftlichen Bodennutzung führte diese Situation, ohne Anspruch darauf, die Vielschichtigkeit des Problems vollständig zu erfassen, zu folgenden Fragen:

- Ist im Bereich sensibler, verdichtungs- oder erosionsgefährdeter Böden bei einem Abstand der Feinerschließungslinien von 20 m ein irreversibler Verzicht auf ca. 20% der

Produktionsfläche akzeptabel?

- Soll insbesondere auf Stau- und Humus-Staugleyen, so genannten Eichenzwangsstandorten, ein deutlich erhöhtes Produktionsrisiko für die folgende Waldgeneration in Kauf genommen werden?
- Sind in Hochwasserentstehungsgebieten und Wassereinzugsgebieten auf unterschiedlicher räumlicher Skala eine reduzierte Infiltration, erhöhter Oberflächenabfluss, zunehmende Erosionsgefahr an stark geneigten Hängen (MEYER 1999, DITTRICH et al. 2005, SONNEMANN et al. 2009) und damit eingeschränkte Wirkungen des Waldes auf die Stabilität der Kulturlandschaft akzeptabel?

Oder: Entscheidet sich der Staatsforstbetrieb auf dem neuesten Stand des Wissens für die Anwendung von Holzerntetechnologien, die der Sensibilität der Böden und der Vorrangfunktion für die Waldbewirtschaftung angepasst sind?

Hierbei handelte es sich um eine Richtungsentscheidung für die Bewirtschaftung des Landeswaldes mit erheblichen betriebswirtschaftlichen Folgen.

Mit der Richtlinie für die Anwendung von Holzerntetechnologien im Landeswald wurden mit klaren Prämissen, ohne temporäre Ausnahmetatbestände, deutliche Akzente in Richtung einer nachhaltigen forstwirtschaftlichen Bodennutzung gesetzt (STAATSBETRIEB SACHSENFORST 2006, FLECHSIG & GEMBALLA 2006). Die in Tabelle 1 dargestellte Ausweisung und Charakterisierung von Sensibilitäts- und Befahrbarkeitsklassen bildet ein Element dieser Richtlinie und zeigt welche Kriterien im Rahmen einer standörtlich differenzierten mechanisierten Holzernte im Landeswald heute zu berücksichtigen sind.

Tab. 1: Mindestabstand der Feinerschließungslinien in Abhängigkeit von Befahrbarkeits- und Sensibilitätsklasse (STAATSBETRIEB SACHSENFORST 2006).

Table 1: Minimal distance of the opening-up lines in dependence of the bearing capacity- and sensitivity class (STAATSBETRIEB SACHSENFORST 2006).

Sensibilitätsklassen	Befahrbarkeitsklassen			
	B1 befahrbar	B2 eingeschränkt befahrbar	...	B5 nicht befahrbar
	trockenere und mäßig frische unvernässte Standorte	frische unvernässte Standorte	...	schutzwaldartige (Steilhang-) Standorte
		bei Befahrung Bodenfeuchte und Witterung beachten! erhöhte Ansprüche an Verfahren u. Technologie	...	Standorte auf denen eine Befahrung aus technologischen Gründen nicht mehr möglich ist
S1 „weniger sensibel“	Gassen ≥ 20 m	Gassen ≥ 20 m	...	
S2 „sensibel“	Gassen ≥ 40 m	Gassen ≥ 40 m	...	

Risikoverteilung durch Waldumbau – Nutzungspotenziale, Anforderungen an die Waldverjüngung

Waldbauliche Anpassung und Holzaufkommen

Im Vergleich zur Forsteinrichtungsperiode 1992–2002 erfolgt mit der Forsteinrichtungsperiode 2002–2012 eine deutliche Modifikation der Waldbaustrategie für den Landeswald des Freistaates Sachsen in folgenden Punkten:

- Die Durchforstungskonzepte in Fichten- und Kiefernbeständen sind an einer Synthese aus Volumen- und Wertleistung auszurichten. Die Unterschreitung eines Bestockungsgrades von 0,8 (WENK et al. 1985, KNAPP et al. 1975), inkl. Feinerschließung, ist i. d. R. zu vermeiden.
- Zieldurchmesser und Produktionszeiten sind am überwiegenden Produktionsziel des jeweiligen Bestandes und an der Entwicklung des Produktionsrisikos auszurichten. Bei einem Anteil von Stammschäden in Fichtenbeständen >60% (BundesWaldinventur²) und dem Überwiegen von Massensortimenten (Güteklassen B/C, C und D) wird ein Zieldurchmesser von 40 cm für die Fichte und von 30 cm für die Kiefer festgelegt (MÖHRING & WIPPERMANN 2002, EISENHAUER et al. 2005, SPELLMANN 2005). Längere Produktionszeiten und höhere Zieldurchmesser für wertholzhaltige Vorratsanteile sind dadurch nicht ausgeschlossen. Ein Überhalt von Habitat-Bäumen, das Zulassen punktueller Zerfallsphasen, mit dem Ergebnis einer generellen Erhöhung der Habitatvielfalt in Wirtschaftswäldern, sind ebenfalls nicht betroffen.
- Die Verjüngung ist i. d. R. in der V. Altersklasse einzuleiten. Eine Verkürzung der Verjüngungszeiträume von etwa 30 Jahren für Fichtenbestände im Mittelgebirge und 20 Jahren für Kiefernbestände auf den Sandstandorten des Tieflandes mit Schluff- und Lehmantilen erfolgt nicht.
- Das Verjüngungsprozent in der Forsteinrichtungsperiode ist einer deduktiven Vorgabe zwischen sieben und zehn anzunähern.
- Die Verjüngung ist in rationellen Verjüngungseinheiten zu planen, standorts- und baumartenabhängig von 0,5–2,0 ha. Eine Ausnahme bilden Baumarten, die auf Grund ihrer synökologischen bzw. standörtlichen Ansprüche ein kleinflächigeres Vorgehen erfordern.

Auf der Datengrundlage der Bundswaldinventur² (2002) wurden das Holzaufkommen und die Verjüngungsflächen für die waldbaulichen Prämissen der Forsteinrichtungsperiode 1992–2002 (Waldbaukonzept 92–02 bzw. Szenario 5b) und 2002–2012 (aktuelle Waldbaustrategie 2003+ bzw. Szenario 3, EISENHAUER et al. 2005) simuliert (WEHAM).

- Waldbaukonzept 92–02: Produktionszeiten Fichte 120–160 a, Kiefer 130–170 a, Produktionsziel Starkholz, Zieldurchmesser Fichte 60 cm, Kiefer 50 cm – undifferenziert, weitgehend unabhängig von der potentiell möglichen Wertleistung.
- Waldbaukonzept 2003+: Eingriffsstärke max. 30% des Vorrats, Vollzug der Erntenutzung im Alter von 100–140 a (Fichte) bzw. 90–130 a (Kiefer), keine wesentliche Verkür-

zung der Verjüngungszeiträume, aber Anpassung der Zielstärken an reale Produktionsziele (60% Stammschäden!, vgl. BWI²), damit geringere Produktionszeiten, zeitigerer Beginn der Verjüngungsmaßnahmen, Zielstärkennutzung ist prinzipiell an das Vorhandensein von Verjüngungsvorräten der Zielbaumarten gebunden.

Daraus ergibt sich für das Waldbaukonzept 2003+ ein deutlich höherer deduktiv hergeleiteter Hiebssatz, der jedoch zwingend durch einen integrativen waldbaulichen Hiebssatz angepasst werden muss (vgl. Abb. 2). Aus dem deduktiv hergeleiteten Hiebssatz könnte ein Zielvorrat zwischen 250–300 m³/ha resultieren. Ab 2017 würde ein Vorratsabbau erfolgen. Hierbei handelt es sich lediglich um eine Orientierung. Im Vergleich dazu bedingt die Waldbaustrategie 1992–2002 eine kontinuierlich ansteigende Akkumulation von Risikovorräten sowie zunehmende Funktions- bzw. Wirkungsrisiken. Am Ende des Prognosezeitraums würden theoretisch Vorräte von ca. 340 m³/ha erreicht werden, womit die Vorratsakkumulation noch nicht abgeschlossen wäre. Der Übergang von der Waldbaustrategie 1992–2002 zur aktuellen Waldbaustrategie 2003+ erfordert im Tiefland mindestens eine, im Mittelgebirge mehrere Forsteinrichtungsperioden. Entscheidend sind die Vorbereitung der Bestände auf die Verjüngungsmaßnahmen sowie eine erhebliche Steigerung der Verjüngungsfläche. Auf Grund des geringen Flächenanteils der weit überwiegenden Kiefern- und Fichtenbestände mit standortgerechten Naturverjüngungsvorräten, limitiert u. a. die Anbau- und Vorkauffläche die Intensivierung der Erntenutzung. Das gilt sowohl für das forstbetriebliche Leistungsvermögen als auch die Verfügbarkeit von geeignetem forstlichem Vermehrungsgut. Dem entsprechend bildet das Szenario 3, Waldbaustrategie 2003+, hinsichtlich der Zielstärken und Produktionszeiten nicht die Parameter der Bestandeszieltypenrichtlinie (EISENHAUER et al. 2005) ab, da diese zu einer forstbetrieblich unrealistischen jährlichen Verjüngungsfläche führen.

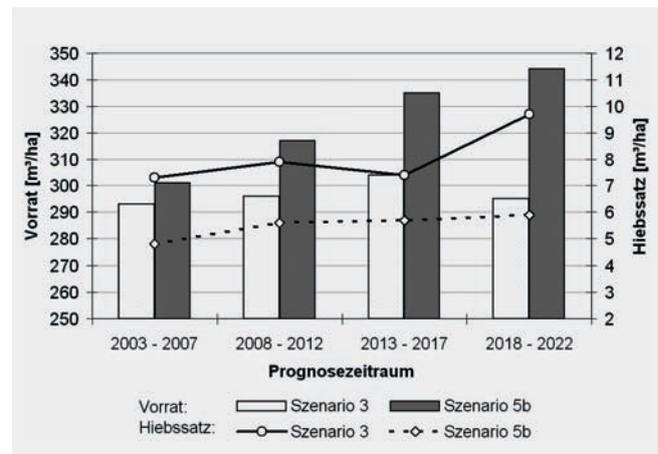


Abb. 2: Entwicklung des deduktiven Hiebssatzes und der Holzvorräte/ha für den Landeswald des Freistaates Sachsen unter den waldbaulichen Prämissen der Waldbaustrategie 92–02 und 2003+ (Szenarien 5b u. 3) nach WEHAM.

Fig. 2: Development of the felling amount in the state owned forests of the Free state Saxony according to silvicultural premises of the WEHAM-scenarios 92–02 and 2003+ (3 and 5b).

Die Holzaufkommensprognose (WEHAM) zeigt die Relation des Holzaufkommens zwischen zwei verschiedenen Waldbaustrategien. Die absolute Höhe des waldbaulichen Hiebssatzes für die beiden Waldbaustrategien erfordert jedoch zwingend den Abgleich mit der Realität im Forstbetrieb. Als Ergebnis der strikten Umsetzung der Waldbaustrategie 2003+ mit der Forsteinrichtung liegt der waldbauliche Hiebssatz (Stichtag 01.01.2008) bei 4,8 Efm/ha/a, also erheblich unter der Prognose (Abb.2). Unter Berücksichtigung der nicht kompensierten Zwangsnutzungen ergibt sich in der Prognoseperiode 2003–2007 eine Gesamtnutzung von 6 Efm/ha/a und damit eine Annäherung an die obere Grenze des prognostizierten Nutzungskorridors.

Ursachen für den geringeren waldbaulichen Hiebssatz sind im Modell nicht berücksichtigte Nutzungsrestriktionen (räumliche Ordnung, Restriktionen nach Naturschutzrecht, technologische Restriktionen, nicht sinnvoll realisierbare Vornutzungspotenziale), sowie kalamitätsbedingte Veränderungen des Waldzustandes.

Verjüngungsfläche, Verjüngungsziele, Bestandeszieltypen

Im theoretischen Fall einer kontinuierlichen Weiterführung der Waldbaustrategie 1992–2002 (5b), wäre im Prognosezeitraum 2003–2007 eine Verjüngungsfläche von 2 200 ha zu realisieren gewesen, in der letzten 5-jährigen Periode des Prognosezeitraumes (2018–2022) ca. 6 000 ha. Das entspricht einer jährlichen Verjüngung von 0,2–0,7% der Landeswaldfläche mit starken Schwankungen zwischen den Prognoseperioden.

Im Vergleich dazu ist mit der Forcierung der Erntenutzungen im Rahmen der aktuellen Waldbaustrategie (2003+) des Staatsbetriebes Sachsenforst, auch eine erhebliche Intensivierung des Verjüngungsprozesses verbunden. Die theoretisch zu realisierenden Verjüngungsflächen belaufen sich auf ca. 6 000 ha (Prognoseperiode 2003–2007) bis 8 200 ha (Prognoseperiode 2018–2022). Das entspricht einer jährlichen Verjüngung der Landeswaldfläche von 0,7–0,9%.

Im Vergleich zur Waldbaustrategie 1992–2002 nimmt die Verjüngungsfläche mit relativ geringen periodischen Schwankungen kontinuierlich zu.

Die Verjüngungsfläche, die mit der 10-jährigen periodischen Betriebsplanung durch die Forsteinrichtung zum Stichtag 01.01.2008 vorgesehen ist, entspricht etwa der Prognose.

Die Waldbaustrategie 2003+ verbindet eine Nutzungsintensität, die einem weit überwiegend durch Massensortimente geprägten Produktionspotenzial der Fichten- und Kiefernforsten und deren steigenden Produktionsrisiko entspricht (DITTRICH 1988, THOMASIUUS 1988), mit der Intensivierung des Verjüngungsprozesses.

Letzterer ist eine der Möglichkeiten für eine stärkere Risikoverteilung in der nächsten Waldgeneration gegenüber intensiven und irreversiblen Veränderungen klimatischer Standortfaktoren und ihren komplexen, kaum prognostizierbaren Folgewirkungen. Tendenzen in der Veränderung der Baumartenzusammensetzung entsprechend der BZT-Richtlinie für den Landeswald (EISENHAUER et al. 2005) zeigen vor allem einen deutlichen Rückgang des Flächenanteils der Fichte zugunsten der Buche (vgl. Abb. 3). Die standörtlichen Schwer-

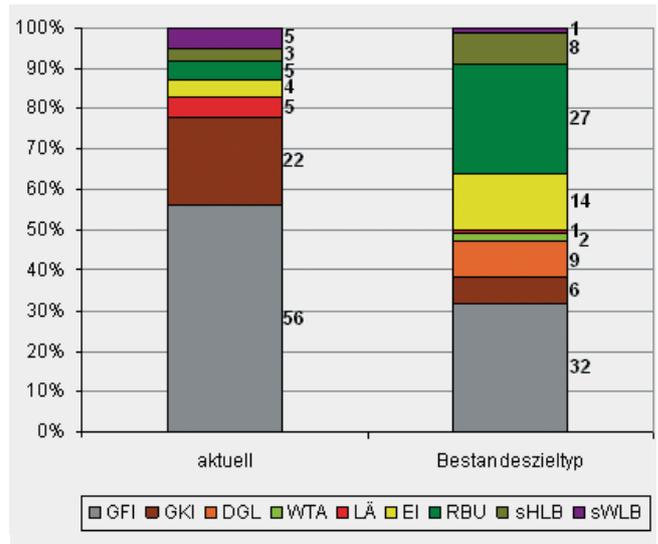


Abb. 3: Langfristige Entwicklung der Baumartenzusammensetzung im Landeswald des Freistaates Sachsen mit der Umsetzung der Richtlinie über die Bestandeszieltypen (EISENHAUER et al. 2005).

Fig. 3: Development of the tree species structure in the state owned forests in Saxony in the case of a continuous realisation of the guideline about the target stand types (EISENHAUER et al. 2005).

punkte dieser Entwicklung wurden bereits umrissen. Demgegenüber würde die Waldbaustrategie 1992–2002, insbesondere in den Fichtenforsten, eine Akkumulation von Holzvorräten mit hohem Produktionsrisiko, erhebliche sozial-ökonomischen Wirkungsrisiken und eine Intensität des Waldumbaus bewirken, die nicht der Intensität von wahrscheinlichen Standortveränderungen entspricht. Die Möglichkeiten der Risikoverteilung mit der Waldverjüngung – dem Waldumbau – würden bei weitem nicht ausgeschöpft.

Waldentwicklungstypen als Grundlage für regionale Waldbaurichtlinien

Das Leitbild für die Bewirtschaftung des Landeswaldes und das darauf aufbauende Zielsystem des Staatsbetriebes Sachsenforst werden im Bezug zu den Potenzialen des jeweiligen Naturraumes in den Waldentwicklungstypen lokal spezifiziert umgesetzt.

Modellregionen

Die beiden bearbeiteten Regionen unterscheiden sich grundlegend in ihrer standörtlichen Ausstattung, den klimatischen Bedingungen und den vorherrschenden Wald- bzw. Forstökosystemtypen.

Die Dübener Heide, im Nordwesten des Wuchsgebietes „Düben-Niederlausitzer Altmoränenland“, liegt zwischen Mulde und Wittenberger Elbebogen im Grenzbereich der Länder Sachsen und Sachsen-Anhalt. Jahresniederschläge zwischen 550–660 mm sind für die Region ebenso typisch wie Durchschnittstemperaturen von 8,5–9°C (MVFSUF 2005). Auf Grund der Elster-Saale-kaltzeitlichen Überprägung dominieren grundwasserferne sandige Substrate mittlerer bis armer Nährkraft. Die Bodenformengesellschaften bestehen hauptsächlich aus mittel- bis grobsandigen Sand-Braunerden bzw. Sand-Braunpodsolon und werden nur lokal

durch Tieflehm-Braunerden besserer Nährkraft ergänzt. Hydromorphe Böden sind vor allem in den Niederungen anzutreffen. Die Waldfläche wird überwiegend durch Kiefern-Forstökosystemtypen geprägt, deren Sukzessionspotenzial nur eingeschränkt und in langen Zeiträumen auf die Entstehung standortgerechter Wirtschaftswälder gerichtet ist (EISENHAUER et al. 2004). Buche und Eiche weisen Anteile an der Waldfläche von ca. 10% auf.

Die Modellregion Lausitz als Bestandteil des „Lausitzer Löß-Hügellandes“ erstreckt sich von der Neiße im Osten bis zum Zittauer Gebirge im Süden und dem Lausitzer Bergland im Südwesten. Nördlich schließt sich das Tiefland an. Die jährlichen Niederschläge liegen mit 660–750 mm deutlich über denen der Dübener Heide, die Durchschnittstemperaturen mit 7,5–8,5°C etwas niedriger (SCHWANECKE & KOPP 1996). Das Lausitzer Granitmassiv wird durch unterschiedlich mächtige Löß- und Sandlößdecken überlagert bzw. durch tertiäre Vulkanite wie Basalt oder Phonolith durchbrochen. Daraus resultieren Braunerden bis Fahlbraunerden mittlerer Nährkraft, die insbesondere in ebenen Lagen durch Staulegung abgelöst werden. Bessere Nährkraftverhältnisse konzentrieren sich auf die Bodenbildungen vulkanischen Ursprungs. Fichte und Kiefer dominieren die Bestände. Als Laubbaumarten kommen hauptsächlich Eiche und verschiedene Weichlaubhölzer vor.

Ausgangszustand

In der Dübener Heide limitiert bereits unter den aktuellen klimatischen Bedingungen eine negative klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode das Baumwachstum (IRRGANG 2002). Eine differenzierte Klassifizierung des potenziellen Wasserspeichervermögens der Böden nach Substrattypen ist daher die Grundlage für eine Einschätzung der waldbaulichen Potenziale. Neben der diagnostizierten ist da-

bei die projizierte regionale Klimaentwicklung zu berücksichtigen. Trophieunterschiede prägen die waldbaulichen Möglichkeiten in der Region weniger als der Bodenwasserhaushalt. Dennoch ist die trophische Klassifizierung der Waldböden in Verbindung mit Eutrophierungstendenzen entscheidend, um über die Baumartenzusammensetzung ausgeglichene Stoffkreisläufe zu erreichen. Die dominanten Kiefernforsten sind insbesondere auf den Grobsanden und reinen Mittelsanden nicht für einen investiven Waldbau vorgesehen, insofern dieser nicht für die kurz- bis mittelfristige Realisierung einer Vorrangfunktion notwendig ist.

In der Lausitz hingegen werden Substrat- und Nährkraftunterschiede durch die vorhandene Lößüberprägung weitestgehend nivelliert, sodass, im Zusammenwirken mit höheren Niederschlägen, eine zu feine Differenzierung der Substrattypen nicht sinnvoll erscheint. Entscheidend ist in diesem Fall die direkte Klassifizierung der Lokalbodenformen nach Hydromorphiemerkmalen und Wasserhaushaltsstufen der Standortserkundung.

Die Waldfläche wird durch großflächige, überwiegend nicht standortgerechte, ökologische labile Fichtenforste mit hohen funktionalen Risiken geprägt. Damit ist diese Standortsregion der Schwerpunkt des Waldbaus bzw. der Umwandlung nicht standortgerechter Fichtenforste (EISENHAUER 2008a).

Auf der Grundlage einer Klassifizierung der Bestandeszustände nach ihrem Widerstandspotenzial gegenüber der Aktivierung biotischer Schadfaktoren und den Einwirkungen abiotischer Schadereignisse sowie den Möglichkeiten dieses Widerstandspotenzial durch waldbauliche Maßnahmen kurz-, mittel- und langfristig zu entwickeln (STOLINS 1979, THOMASIU 1988, MICHAL 1992) ist die Intensität des Waldbaus in dieser Standortsregion zu differenzieren.

Tab. 2: Ausgangszustandsklassen der Modellregion Dübener Heide – ohne Vorrangfunktionen.

Table 2: Initial state classes of the model region Dübener Heide – without prior-ranking functions.

Bezeichnung der Substrattypenkombination (Substrat, Nährkraft- und Feuchtestufe)	Bestandeszustandstyp	Flächenanteil [%]
kräftige lehmige Standorte mit wasserspeichernden Schichten ImS/mS +L(Bn)//K2	Kiefer	3
	Buche	2
mittlere anlehmige Standorte almS/mS//M2/2f	Kiefer	37
	Lärche	3
	Eiche	5
	Buche	5
schwächere (trocknere) Standorte almS/gS//M2/2f, almS/mS//M3, almS/mS//A2	Kiefer	6
	Buche	2
ziemlich arme mittelsandige Standorte mS//Z2/2f	Kiefer	6
mittlere grundfrische Standorte stbS - mS//M1	Kiefer	4
ziemlich arme grundfrische Standorte mS//Z1	Kiefer	7
mittlere wechselfrische bis grundfeuchte Standorte sL - IS//WM2 + TM2w, stbS - mS//NM2	Kiefer	7
ziemlich arme grundfeuchte Standorte suL - slT//NZ2, mS//NZ2	Kiefer	13

Zielzustand

Die durch waldbauliche Maßnahmen anzustrebenden Zielzustände, variieren in ihrer Baumartenzusammensetzung und in den Mischungsverhältnissen in Abhängigkeit von den standörtlichen Potenzialen, der regionalisierten Klimaprojektion (GOLDBACH et al. 2007), den Entwicklungspotenzialen des jeweiligen Wald- bzw. Forstökosystemtyps und der im Vergleich zur Waldfunktionenkartierung stärkeren funktionalen Differenzierung mit der Ausrichtung der Waldbewirtschaftung auf eine Vorrangfunktion.

Als Grundlage dienen die Bestandeszieltypen für den Landeswald (EISENHAUER et al. 2005), die für eine Standortformengruppe i. d. R. mehrere BZT vorsieht. Die Rationalisierung des Waldumbaus durch größere Verjüngungseinheiten (EISENHAUER 2008a) bedingt eine geringere Varianz der Entwicklungsziele innerhalb der jeweiligen Bezugsfläche (i. d. R. Abteilung; ca. 20 ha). Dem trägt die Tatsache Rechnung, dass in Abhängigkeit von den standörtlichen Potenzialen und deren kleinflächiger Differenziertheit durch eine unterschiedlich ausgeprägte Beteiligung der Mischbaumarten auch unterschiedliche Ausprägungen eines BZT möglich sind. So sieht z. B. der EI-HBU-LI-Typ auf anlehmigen Sanden einen Buchenanteil von bis zu 20% vor, auf reinen Mittelsanden ist die Baumart hingegen planmäßig nicht zu beteiligen.

In diesem Zusammenhang wird mit dem Waldentwicklungstyp für einen bestimmten Ausgangszustand auch der standörtlich bedingte Rahmen für das Entwicklungsziel umrissen (vgl. Tabelle 3).

In der Modellregion Dübener Heide sind für die dominierenden anlehmigen Sande langfristig Eichen-Mischbestände mit variierenden und zum Teil hohen Kiefernanteilen von bis zu 20% vorgesehen. Alternativ ist bei einer Ausrichtung auf die Vorrangfunktion Holzproduktion auch ein von der Douglasie dominierter Zielzustand möglich. Die Buche als Hauptbaumart bleibt weitestgehend auf terrestrische Standortsbe-

reiche mit langfristig anhaltendem Grundwasseranschluss beschränkt. Als Mischbaumart ist sie jedoch weiterhin auch auf Substraten vorgesehen, die einen mindestens anlehmigen Oberboden (> 30 cm) oder andere den Bodenwasserhaushalt begünstigende Eigenschaften, wie bspw. Lehmunterlagerungen, aufweisen.

Der Zielzustand der Waldentwicklung auf ärmere Substrate oder reinen Mittel- bzw. Grobsanden wird auch zukünftig überwiegend durch von der Kiefer dominierte Mischbestände mit hoher Trockenheitsadaption geprägt.

In der Lausitz sind neben der Hydromorphie und Wasserhaushaltsstufe, die Höhe über NN und, lokal begrenzt, die Trophie der Waldböden für die Ausrichtung der Entwicklungsziele ausschlaggebend.

Die lößdominierten terrestrischen Standorte der unteren Lagen werden, in Abhängigkeit vom aktuellen Zustand und Entwicklungspotenzial des jeweiligen Forst-Ökosystemtyps, entweder in Richtung Eichen-Mischbestände mit Buche oder aber Buchen-Bestände mit einer unterschiedlich ausgeprägten Nadelbaumkomponente entwickelt. Eine wesentliche Prämisse für die Entscheidungsfindung ist es, den Investitionsaufwand für die Erreichung des angestrebten Ziels so gering wie möglich zu halten. Der Douglasien-Typ ist auch in dieser Standortsregion auf hochproduktiven Standorten eine ökonomisch sinnvolle Alternative für die Waldentwicklung.

Auf wechselfeuchten Lößlehm-Standorten tritt die Buche zurück und die Stieleiche prägt in Kombination mit weiteren standortsgerechten Laubbaumarten das überwiegende Ziel der Waldentwicklung. Für die Vorrangfunktion Holzproduktion ist vor allem der Roteichen-Typ vorgesehen.

In den mittleren Berglagen, auf den aus Granitverwitterung hervorgegangenen Gesteins-Braunerden, werden die aktuell überwiegenden Fichten-Reinbestände vorrangig zu Buchen-Nadelbaum-Typen mit Douglasie umgebaut. Nur auf den reliefbedingt trockeneren Standorten sind entsprechend adaptierte Eichen-Mischbestände vorgesehen. Edellaubbaumrei-

Tab. 3: Varianz der Baumartenanteile im Eichen-Hainbuchen-Linden-Typ am Beispiel repräsentativer Substrattypenkombinationen der Modellregion Dübener Heide.

Table 3: Variance of tree species composition in oak-hornbeam-basswood-type on presentable site units in the model region Dübener Heide.

Baumart	mittlere anlehmige Standorte	ziemlich arme mittelsandige Standorte	ziemlich arme grundfeuchte Standorte
Traubeneiche	60–80%	60–80%	-
Stieleiche			60–80%
Hainbuche		bis 20%	bis 20%
Winterlinde		-	-
Bergahorn	20–40%	-	-
Spitzahorn		-	-
Vogelkirsche		-	-
Esche	-	-	-
Rotbuche	bis 20%	-	-
Douglasie	bis 20%	-	-
Roteiche	-	-	bis 20%
Kiefer	bis 20%	bis 40%	bis 20%
Schwarzerle	-	-	bis 10%
Birke	bis 10%	bis 10%	bis 10%

che Waldentwicklungsziele bleiben, einen entsprechenden Wasserhaushalt vorausgesetzt, auf das nähere Umfeld der Basalt- und Phonolithdurchragungen begrenzt.

Um durch eine Reduzierung des Aufwandes die Ertragskontinuität des Forstbetriebes, eine hohe Qualität und Sicherheit der Investitionen in den Waldbau zu gewährleisten und zunehmend die sich mit der Zeit entwickelnden biologischen Rationalisierungspotenziale für einen effizienten Waldbau zu nutzen, erfolgt neben der Differenzierung der Umbaufröhmlichkeit die Integration so genannter Übergangstypen aus Weichlaubbaumarten in die betreffenden WET. In diesem Zusammenhang ist des Weiteren hervorzuheben, dass die Verfügbarkeit von geeignetem forstlichem Vermehrungsgut limitierend auf die Intensität des Waldbaus wirkt. Das schließt die Erschließung des Anpassungspotenzials relevanter Wirtschaftsbaumarten an die ablaufenden Standortveränderungen ein.

Behandlungstyp

Um die Anzahl der Waldentwicklungstypen pro Region in einem praktikablen Rahmen zu halten, wurden bei der Klassifizierung des Ausgangszustandes nur die wichtigsten Parameter (vgl. 3) einbezogen. Die Berücksichtigung weiterer Kriterien, die für die waldbauliche Behandlung bestimmter Ausgangszustände von Bedeutung sind und die gleichzeitig über eine hohe Flächenrelevanz verfügen, erfolgt über den Behandlungstyp. Pro WET wurden in den Modellregionen bis zu fünf Behandlungstypen zugelassen.

Ein maßgebliches Kriterium für die Beurteilung der Maßnahmengänglichkeit ist der Kronenschlussgrad, als Weiser für die Produktivität des Bestandes, die Konkurrenzverhältnisse zwischen Oberbestand, Verjüngung und Bodenvegetation. Es wird nach „geschlossenen“ und „lichten“ Ausgangszuständen unterschieden. Erstere werden, bezogen auf die Verjüngung, i. d. R. als nicht entwicklungsdringlich eingestuft und entsprechend waldbaulich behandelt. Letztere erfordern einen waldbaulichen Input, der die Entwicklung hin zum jeweiligen Zielzustand gewährleistet. Die Intensität dieses Inputs wird durch das Entwicklungspotenzial des jeweiligen Bestandes und die Zeit in der das Entwicklungsziel erreicht werden soll bestimmt. Die Bewertung des Sukzessions- bzw. Verjüngungspotenzials führt unmittelbar zur Steuerung des Investitionsaufwandes bis zur Erreichung des Entwicklungsziels. Parameter wie, die Ausprägung von Verjüngungsvorräten, Fazies bildende Arten und Vitalität der Bodenvegetation aber auch das Diasporenangebot standortgerechter Baumarten sind dabei zu berücksichtigen. Entscheidend ist, ob und in welchem Maß die Bestandessukzession auf die waldbaulichen Ziele gerichtet ist. Waldökosystemtypen mit einem hohen Anteil an Zielbaumarten im Oberbestand weisen in diesem Zusammenhang ein hohes, Forstökosystemtypen mit einer geringen Beteiligung der Zielbaumarten und verdämmend wirkender Bodenvegetation ein geringes Entwicklungspotenzial auf. Die Dübener Heide wird überwiegend von Sandrohr- und Brombeer-Kiefernforsten mit geringem Entwicklungspotenzial geprägt.

Des Weiteren führt das Vorhandensein von Unterständen aus Baumarten, die nicht dem Entwicklungsziel der jeweili-

gen WET entsprechen (Voranbauten oder Naturverjüngung) zu einer differenzierten waldbaulichen Behandlung.

Im Tiefland trifft das vor allem auf die von 1992–2002 durchgeführten, extrem stammzahlarmen „ökologischen Unterbauten“ in Kiefernforsten – i. d. R. aus Buche – zu, die überwiegend Folgebestände mit geringer Volumen- und Wertleistung und gegenüber den durch Mittel- und Grobsande geprägten Geotopen eine abnehmende ökologische Valenz erwarten lassen.

In der Modellregion Lausitz ist die Fichten-Naturverjüngungen in den Löß-Geotopen der unteren Berglagen ähnlich zu beurteilen. Das trifft vor allem für die ökologische Valenz der Fichte gegenüber wechselfeuchten Standorte zu. Für die entsprechenden Forstökosystemtypen, bildet der Behandlungstyp eine mögliche Integration der Fichte als produktive temporäre Mischbaumart oder auch das strikte Zurückdrängen der Fichtenverjüngung mit dem Anbau (Voranbau) standortgerechter Baumarten ab.

Vorrangfunktionen, die in der Modellregion nur eine geringe Flächenrelevanz aufweisen oder mit nur geringe Abweichungen vom generell festgelegten Bewirtschaftungsstandard (PEFC), bedingen keinen eigenständigen WET. Es erfolgt lediglich eine zielkonforme Modifikation des Behandlungstyps. In den beiden Modellregionen trifft das z. B. für die Naturschutzfunktion zu, sofern diese auf eine geringfügige Extensivierung der Bewirtschaftung (z. B. Belassen von Höhlenbäumen) und Einschränkungen beim Anbau introduzierter Baumarten beschränkt bleibt.

Informationsgehalt und Struktur eines WET

Der Informationsgehalt und die Struktur eines Waldentwicklungstyps sollen am Beispiel des WET „Kiefernreinbestand in Eichen-Mischbestand auf grundwasserfernen Standorten mittlerer Nährkraft“, dem bedeutendsten WET der Dübener Heide, verdeutlicht werden.

Das vorangestellte Leitbild gibt einen Überblick zu den wichtigsten Entwicklungszielen. Darüber hinaus werden der Ausgangs- und Zielzustand charakterisiert. Die waldbaulichen Rahmenvorgaben in den Behandlungstypen orientieren sich am Wuchsverhalten der betreffenden Baumart auf dem jeweiligen Standort. Mit Bezug zum Verlauf des Höhenwachstums werden die wichtigsten Abschnitte der Bestandesentwicklung als dynamische Phasen der waldbaulichen Steuerung ausgewiesen, die in die Erntennutzung und die Verjüngung übergehen. Zur Orientierung für die Anwender sind im Abschnitt „Entwicklung der Ausgangsbestände“, bonitätsabhängig die wichtigsten Prinzipien und Bewirtschaftungsziele sowie waldwachstumskundlichen Kennzahlen zusammengefasst. Zusätzlich wird der Verlauf des Höhenwachstums für die aktuell vorherrschende Baumart dargestellt. Damit steht sowohl dem Forsteinrichter als auch dem örtlichen Wirtschaftler eine handhabbare und hinreichend detaillierte

Abb. 4: Beispiel eines Waldentwicklungstyps für die Modellregion Dübener Heide – „Kiefernreinbestand in Eichen-Mischbestand auf grundwasserfernen Standorten mittlerer Nährkraft“ inkl. eines Behandlungstyps.

Fig. 4: Exemplary Forest development type in the model region Dübener Heide – “Pine stand at Oak mixed stand for terrestrial site units”.

**Kiefern-Reinbestand → Eichen-Mischbestand
auf grundwasserfernen Standorten mittlerer Nährkraft
(GKI → EI-HBU-LI auf mittleren Standorten)**

Leitbild

Naturferne Kiefern-Forste auf speichertrockenen bis mäßig speichertrockenen Sandböden mittlerer Nährkraft, die ein geringes nat. Entwicklungspotenzial aufweisen und durch anthropogene Stoffeinträge eine zunehmende Labilisierung erfahren, werden durch Anbau oder Voranbau in standortgerechte, strukturierte Eichen-Mischbestände umgebaut. Ziele sind die nachhaltige Ausnutzung des Standortes bei gleichzeitiger Erhöhung der Wertschöpfung der Bestände und die Leistung eines bedeutenden Beitrags zur Grundwasserneubildung sowie zum Erhalt der Grundwasserqualität.

Die Entwicklung dieser, als nicht dringlich zu behandeln eingestuft, Ausgangszustände erfolgt im Rahmen eines Umbau-Typs und erfordert i. d. R. einen hohen Steuerungsaufwand.

Charakterisierung des Ausgangs- und Zielzustandes

Standort

Klimastufe: Tm, (z. T. Tt) – subkontinentale Großklimaausprägung (φ)
 Jahresniederschlag: 540 - 640 mm
 Jahresdurchschnittstemp.: 8,7 - 9,3 °C
 Geländeform: eben bis kuppig
 Substrattypenklassen: almS / mS//TM2/2f (anlehmgige speichertrockene Sande)
 Skelettgehalt: grobbodenarme pleistozäne Sande
 Gründigkeit: tiefgründig
 Bodentyp: podsolige Sand-Braunerden bis Sand-Braunerden
 Humusform: Rohhumus bis rohhumusartiger Moder
 Bodenwasserhaushalt: grundwasserfern, tlw. durch Lehmunterlagerungen begünstigt
 Wuchsbedingungen: wüchsig

Ausgangszustand

Bestandeszustandstyp: Kiefern-Reinbestand (< 20% Mischbaumarten)
ökologische
 Bewertung: kulturbetonte Ersatzgesellschaft
 Stabilität: mittel, Labilisierung infolge von Schadstoffimmissionen
 Anpassung an die Standortsdrift: gering, infolge verdämmender Bodenvegetationszustände und fehlendem Diasporenangebot von Zielbaumarten
 (Adaptionsvermögen)
 Bodenvegetation: Blaubeer-Drahtschmielen-Typen, tlw. Brombeer-Typen
 Besonderheiten: dominanter Ausgangszustand in der Region mit verhältnismäßig geringen Schwankungen in der Merkmalsausprägung

Zielzustand

Bestandeszieltyp: **Eiche-Hainbuche-Linde**

Bestandsstruktur	Baumarten		Pflanzenzahl St./ha	Mischungsform
	Art	Anteil		
ein- bis zweischichtig	TEI, SEI	60 - 80%	7-8000 (10000)	horst- bis kbweise
	HBU, WLI	20 - 40%	2000	reihenweise
	SAH		5000	horstweise
	VKI	bis 20%	2500-3300	gruppen- bis horstw.
	RBU		8-10000	gruppen.- bis horstw.
	DGL	bis 20%	2500-3300	gruppen.- bis horstw.
	GKI	bis 20%	NV	gruppen.- bis horstw.
	GBI	bis 10%	NV	gruppen.- bis horstw.

Sortimentsstruktur: Wertholz (Lb) / > 60 cm, Massenholz (Nd) / > 40 cm
 Leitwaldgesellschaft: Eichen-Gesellschaften mit Beimischung versch. Laub- und Nadel-BA
 Waldfunktionen: nachhaltige und stetige Holzproduktion mit Wertholzbestandteilen, Verbesserung von Grundwasserneubildung und -qualität

ökologische

Bewertung:	standortgerechtes Intermediär- bis Schlusswaldstadium
Stabilität:	hoch - durch die Besetzung heutiger Buchenwaldareale und ein gutes natürliches Verjüngungspotenzial
(Regenerations- u. Adaptionsvermögen)	
Besonderheiten:	Buche bleibt als Mischbaumart weiterhin Element der Zielbestockung

Entwicklung der Ausgangsbestände

Ziele und Prinzipien der Bestandesentwicklung:

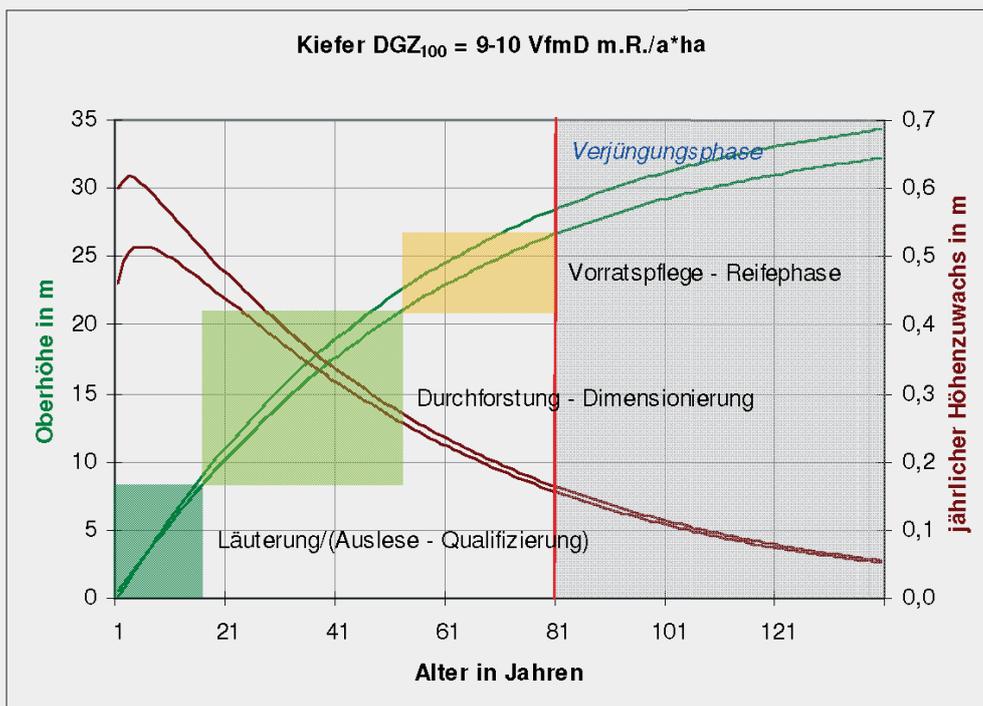
- Erhalt bzw. Schaffung stabiler Bestandesstrukturen in der Ausgangsbestockung durch konsequenten Kronenausbau
- Lenkung des Zuwachses auf die qualitativ besten Bestandesmitglieder (in geeigneten Beständen)
- Förderung von Mischbaumarten, insbesondere Zielbaumarten zur Standortverbesserung und Initiierung natürlicher Verjüngungsprozesse
- Vorbereitung des Bestockungswechsels hin zu Eichen-Mischbeständen

Vorrangfunktionen: Produktion von Massensortimenten, tlw. sind Wasser-, Klima- und Naturschutzfunktionen mit gesetzlichem Status zu berücksichtigen

Produktionszeit: 80 Jahre Zieldurchmesser: 40 cm

Kulmination

Höhenzuwachs: zwischen 3 - 10 Jahren bei einer H_0 von < 3 - 5 m



zugehörige Behandlungstypen:

1. geschlossene Kiefernbestände ohne Laubholzunterstand
2. stark aufgelichtete Kiefernbestände ohne Laubholzunterstand
3. Kiefern-mischbestände mit mehr als 20% Laubbaumartenanteil
4. Kiefernbestände mit künstlich eingebrachtem Buchenunterstand
5. Kiefernbestände mit Vorrangfunktion Naturschutz

Bestandesbehandlung / waldbauliches Vorgehen**Behandlungstyp 1:** geschlossene Kiefernbestände ohne Laubholzunterstand

Kronenschlussgrad:	gedrängt bis locker
Entwicklungspotenzial:	gering, nat. Verjüngungspotenzial nicht ausreichend
Bodenvegetationstyp:	Drahtschmielen-Blaubeer-Typ
Vorrangfunktion:	Wasser- und Klimaschutzfunktion können kleinflächig vorhanden sein
Zielsortimente:	Massenholzsortimente

Behandlungsziele:

- planmäßige Bewirtschaftung bei Erhalt des Kronenschlusses und Minimierung des Steuerungsaufwandes
- Verhinderung der weiteren Ausbreitung verdämmender Bodenvegetationsdecken
- Schaffung möglichst günstiger Bedingungen für die Einbringung der Zielbaumarten

Läuterung / (Auslese – Qualifizierung)

Ausnutzung der zunehmenden Selbstdifferenzierung des Bestandes zur Herausbildung einer ausreichenden Zahl herrschender Individuen mit einer d. Produktionsziel entspr. Vitalität und Qualität

Dauer der Phase:	bis zu einem Alter von 15-20 Jahren
Vorgehensweise:	gruppen- bis horstweise Ausformung von standortgerechten Mischbaumarten / Protzenaushieb (extensiv) / extensive Standraumregulierung (Stabilitätserhalt), Erhalt des Dichtstandes
pos. Phänotypenausl. (optional)	Auswahl von max. 200 der relativ besten Bäume im Herrschenden / Oberhöhenrahmen 6-8 m - mäßiger Eingriff durch Entnahme von 2 Bedrängern / bei erkennbar anhaltender Kronenplastizität auch zu Beginn der folgenden Pflegephase mgl.

Durchforstung - Dimensionierung

Erhalt und Förderung von Leistungsfähigkeit und ökologischer Stabilität der Ausgangsbestockung / Dimensionierung der Zuwachsträger

Dauer der Phase:	ab Alter 15-20 bis zum Erreichen von ca. 80% der Erntehöhe (21-23 m)
Maßnahmenziel:	Förderung der Zuwachsträger bei Kronenspannung durch Entnahme von 1-2 Bedrängern
Bemerkungen:	bei schlechter Bestandesqualität Hochdurchforstung ohne festgelegte Z-Bäume / B° nicht unter 0,8! / nachlassende Eingriffsstärken zum Ende der Pflegephase
mögl. Störungen:	bei lokalen Bestandesauflichtungen vgl. Erlass zu „Verjüngungsentscheidung nach Störungen“ Az.: 73-8634.00/37, Beginn mit aktiver Einbringung von Zielbaumarten erfordert eine Anbau- bzw. Voranbaufläche von mind. 0,3 ha!

Vorratspflege - Reifephase

Vorbereitung des Bestandes auf die Überführung in eine standortgerechte Eichen-Mischbestockung

Dauer der Phase:	ab Alter 55-60 bis zum Erreichen der Erntehöhe (26-28 m)
Maßnahmenziel:	Fortsetzung der Kronenpflege, Standraumregulierung, negative Phänotypenauslese in den Zwischenfeldern und Förderung von Zielbaumarten / Vorratspflege
Bemerkungen:	mit Erreichen der Zielstärke Überleitung in die Erntenutzung / B° nicht unter 0,8! / bei offensichtlichem Nichterreichen der waldbaulichen Ziele (LAS B/C) vorgezogene Erntenutzung und Umwandlung!
mögl. Störungen:	vgl. Durchforstung / Bekämpfung von UST aus spätblühender Traubenkirsche erst zum Zeitpunkt der Verjüngung

Ernte

Maßnahmenziel:	Ernte des OST und Schaffung günstiger Wuchsbedingungen für die Verjüngungs-BA / bei Klimaschutzfunktion stufiger Bestandesaufbau der Folgebestockung mit tlw. dominierender Nadelbaumkomponente
Bemerkungen:	Schirmschlagverfahren, je nach Zustand der BoVeg u. dem gewünschten Verjüngungsfortschritt Festlegung der Schlaggröße / zügige Absenkung des K° auf 0,5 bei EI und DGL; 0,3 bis 0,5 bei SAH und VKI; 0,4 bis 0,7 bei RBU / Räumungshieb nach Sicherung der Verj. (2-4 m) / Größe der Hiebsfläche bei VA EI nicht unter 0,3 ha, besser >0,5 ha / bei Klimaschutzfunktion Saumhiebe im Umfeld der Emittenten

Verjüngung

Verjüngungsart:	Voranbau
Bemerkungen:	i. d. R. Bodenbearbeitung mit Beseitigung vorhandener UST aus spätblühender Traubenkirsche erforderlich! / Bildung von Verjüngungskomplexen / trockenadaptierte Herkünfte verwenden! / Bereiche mit begünstigtem Wasserhaushalt gezielt für Edellaubbaumarten und Buche nutzen!

Planungsgrundlage zur Verfügung. Diese ermöglicht auch die Zuordnung von Beständen zu WET mit der jeweiligen waldbaulichen Untersetzung.

Anpassung an sich ändernde ökologische Bedingungen und sozioökonomische Anforderungen

Mit der Richtlinie zu den Bestandeszieltypen im Landeswald (EISENHAUER et al. 2005) wurden die Grundzüge für die Anpassung der Bewirtschaftung des Landeswaldes an die diagnostizierten und regional projizierten Klimaänderungen festgelegt. Das gilt insbesondere für die Baumartenwahl. Dieser Richtlinie entsprechend wird der Waldumbau im Sinne einer signifikanten Veränderung der Baumartenzusammensetzung auf Standorten forciert, wo die aktuellen Forstökosystemtypen auch unter quasi stabilen Standortbedingungen ökologisch labil sind und ausgeprägte funktionale und Wirkungsrisiken aufweisen.

Darauf aufbauend ist der Waldentwicklungstyp eine dynamische und damit prozessorientierte Planungseinheit, was sowohl für eine Veränderung der ökologischen Bedingungen als auch der gesellschaftlichen Anforderungen bezogen auf den Zielzustand zutrifft. Modifikationen des Behandlungstyps bei gleich bleibenden Entwicklungszielen, können z. B. nach Kalamitäten (Umwege zum Ziel) oder durch die Anpassung von Durchforstungskonzepten an sich ändernde Standortpotenziale notwendig werden. Überschreiten Veränderungen des Geotopzustandes, z.B. durch die Drift klimatischer Standortfaktoren, die ökologische Valenz des Zielzustandes, erfolgt dessen Korrektur mit entsprechenden Rückwirkungen auf den Behandlungstyp (Weg zum Ziel). Gleiches trifft für den Fall zu, dass signifikante Veränderungen der sozioökonomischen Anforderungen an die Waldbewirtschaftung einen neuen Zielzustand erfordern.

Auf die standörtlich und/oder zielbedingten innerhalb eines WET wurde bereits verwiesen (vgl. Tab. 3).

Synthese

Für die praktische Anwendung der Waldentwicklungstypen ist es entscheidend, vorhandene Informationsgrundlagen effizient zu nutzen. Nur auf dieser Grundlage ist es möglich, für die gesamte Landeswaldfläche relativ kurzfristig Waldentwicklungstypen als Befund-, Planungs-, Vollzugs- und Kontrolleinheit mit der Forsteinrichtung einzuführen. Dabei ist eine hinreichende Repräsentanz der örtlichen Verhältnisse unabdingbar. Die Berücksichtigung von Ausgangszustandsklassen ab einer Mindestfläche von 100 ha hat sich für die Modellregionen als praktikabel erwiesen. Die Dübener Heide wird so z. B. durch 13 verschiedene Ausgangszustandsklassen vollständig beschrieben. In Kombination mit den abgeleiteten Zielzuständen resultieren daraus 17 verschiedenen Waldentwicklungstypen. Inwieweit diese Flächenbegrenzung auch auf andere Regionen übertragen werden kann, hängt von den dortigen Standorts- und Bestockungsverhältnissen sowie der Vielfalt signifikant verschiedener Entwicklungsziele ab.

Mit der Zusammenführung der Waldentwicklungstypen in regionalen Waldbaurichtlinien, erfolgt eine in sich geschlos-

sene, den konkreten naturräumlichen Potenzialen und Zielen der Waldbewirtschaftung entsprechende Präzisierung der Waldbaustrategie des Staatsbetriebes Sachsenforst für die Bewirtschaftung des Landeswaldes. Dabei handelt es sich vor allem um ein dynamisches Planungsinstrument, welches eine kontinuierliche Anpassung an sich ändernde ökologische Bedingungen und sozioökonomische Zielstellungen sowie die Integration des Wissensfortschrittes ermöglicht. Damit können einige wesentliche Voraussetzungen für eine kontinuierliche Waldbaustrategie erfüllt werden

Literatur

- BARTELD, D., NEBE, W., LEUBE F. (1999): Biogeochemisches Potenzial ausgewählter Baumarten auf meliorierten, immissionsbeeinflussten Standorten des Erzgebirges. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten, Graupa: Heft 18.
- DITTRICH, K. (1988): Aspekte der Waldentwicklung Sachsens im Spiegel der Langzeitstatistik. Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule Dresden, 37 (6): 197–204.
- DITTRICH, I., MÜNCH, A., GOLDACKER, S., WAHREN, A. (2005): Walddynamik und ihre Wirkung auf Hochwasser und Wasserhaushalt. Integration von Wachstums- und Entwicklungsdynamiken in das Wasserhaushalts- und Niederschlags-Abfluss-Modell AKWA-M. Forschungsbericht, Bannewitz: 23 S., unpublished.
- DOHRENBUSCH, A. (1997): Die natürliche Verjüngung der Kiefer (*Pinus silvestris* L.) im Nordwestdeutschen Pleistozän. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 123, Göttingen: 269 S.
- DUFFNER, W. (2004): Ökonomie im Dienste der Ökologie. FuH 59 (2): 51–54.
- EISENHAUER, D.-R. (2002): Bodenvegetations- und Verjüngungsdynamik in Kiefernbaumhölzern in Abhängigkeit von Standort, Bestockungsstruktur und Verbissintensität. Forstarchiv 72 (71): 3–16.
- EISENHAUER, D.-R. et al. (2004): Integration der Kiefern – Naturverjüngung in einen ökologisch orientierten Waldbau – Geotope, Bodenvegetation, Bodenbearbeitung, Konkurrenz des Oberbestandes. Eberswalder Kolloquienreihe für die Praxis. Tagungsband, Eberswalde: S. 20–30.
- EISENHAUER, D.-R. et al. (2005): Bestandeszieltypen. Richtlinie für den Staatswald des Freistaates Sachsen. Landesforstpräsidium, Pirna: 56 S.
- EISENHAUER, D. - R. (2006): State enterprise "Sachsenforst" – silvicultural strategy under changing environmental conditions – current basic conditions. In: Jurásek, A., Novák, J., Slodičák, M.: Stabilisation of Forest Functions in Biotopes Disturbed by Anthropogenic Activity. Opočno: 89–103.
- EISENHAUER, D.-R. (2008a): Staatsbetrieb Sachsenforst – Waldbaukonzept und Klimawandel. AFZ/Der Wald 63 (15): 814–817.
- EISENHAUER, D.-R., SONNEMANN, S. (2008b): Waldentwick-

- lungstypen – Grundlage für die Entwicklung regionaler Waldbaurichtlinien in Sachsen. FuH 63 (10): 12–17.
- FLECHSIG, B., GEMBALLA, R. (2006): Neue Holzerntetechnologie-Richtlinie für Sachsen. Richtlinie für den sächsischen Landeswald regelt Feinerschließung, Technologie sowie Planung und Arbeitsvorbereitung verbindlich. Holz-Zentralblatt 27: 794.
- GOLDBACH, V., SURKE, M., BERNHOFER, C. (2007): Regionalisierte Klimadaten für forstliche Anwendungen am Beispiel der Lausitz und der Dübener Heide. FuH 62 (7): 24–27.
- GREGER, O. (2006): Der natürliche Kiefernwald als Basis für eine rationelle Kiefern bewirtschaftung in Nordostdeutschland. Archiv f. Forstwesen und Landschaftsökologie 40 (2): 49–61.
- HARTEBRODT, CH., FILLBRANDT, TH. (2006): Wirtschaftliche Risiken der Baumartenverschiebung. Forstökonomische Fakten und ein Ausblick im Kontext der Bundeswaldinventur II. Holz-Zentralblatt 3: 88–89.
- HOFMANN, G., JENSSEN, M., ANDERS, S.: Kohlenstoffpotenziale mitteleuropäischer Wälder. AFZ – Der Wald 57 (12): 605–607.
- IRRGANG, S. (2002): Klimaänderung und Waldentwicklung in Sachsen - Auswirkungen auf die Forstwirtschaft. Forstarchiv 73 (4): 137–148.
- KNAPP, E., DITTMAR, O., LEMBEKE, G. (1975): Kiefern ertrags-tafel. Eberswalde.
- KURTH, H. (1994): Forsteinrichtung. Berlin: 592 S.
- LEBEN, N. (2005): Aus der Sicht privater Waldbesitzer: Wasserwerk Wald – Quelle für Waldbesitzer. AFZ/Der Wald 60 (13): 672–675.
- LEUBE, F. et al. (2000): Leitfaden für die forstliche Bodenschutzkalkung in Sachsen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten. Graupa: Heft 21.
- MEYER, H.-C. (1999): Bodenschutz im Wald. Forstmaschinen-Profi (11): 48–49.
- MICHAL, I. (1992): Obnova ekologicke stability lesa. Academia. Praha.: 169 S.
- MLU (2004): Waldbauempfehlungen für Sachsen-Anhalt - Bestandeszieltypen. Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt. Magdeburg: 42 S.
- MÖHRING, B., WIPPERMANN, CH. (2002): Betriebswirtschaftliche Aspekte bei der Zielstärkennutzung der Kiefer. FuH 57 (3): 59–63.
- MVFSUF (2005): Waldökologische Naturräume Deutschlands – Forstliche Wuchsgebiete und Wuchsbezirke mit Karte 1:1 000 000. Mitteilungen des Vereins für Forstliche Standortskunde und Forstpflanzenzüchtung. Freiburg: 324 S.
- MÜLLER, J., BOLTE, A., BECK, W., ANDERS, S., SCHARFEN, P. (2001): Modellierung des Sickerwasserabflusses in einem zusammenhängenden Waldgebiet des nordostdeutschen Tieflands. BAL Bericht über die 9. Lysimetertagung: Gebietsbilanzen bei unterschiedlicher Landnutzung. Gumpenstein (Au) (1): 111–115.
- MÜLLER, J. (2005): 30 Jahre forsthydrologische Forschung auf der Großlysimeteranlage in Britz – Zielstellung und Ergebnisse. BAL Bericht über die 11. Lysimetertagung: Lysimetrie im Netzwerk der Dynamik von Ökosystemen. Gumpenstein (Au) (1): 29–32.
- OTTO, H.-J. (1994): Waldökologie. Stuttgart: 390 S.
- PEFC (2005): PEFC-Standards für Deutschland. PEFC Deutschland e.V.: 14 S.
- PROFFT, I., ARENHÖFEL, W., SEILER, M. (2007): Wald und Holz – Potenzial für den Klimaschutz in Thüringen. In: Tagungsband „Klimaschutz und Klimawandel – Rolle der Forstwirtschaft“ am 27. und 28.09.2007 in Gotha: 42–65. http://www.waldundklima.org/holz/holz_docs/textfassung_iprofft_tagg_070927.pdf
- PULKRAB, K. (2008): Posouzení rentability jednotlivých variant navržených hospodářských opatření. In: Slodičák et al: Lesnické hospodaření v Krušných horách. Hradec Králové: 477 S.
- RIO DE JANEIRO (1992): Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung. Dokumente. Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Bonn. 199: 56 S.
- RIPKEN, H. (2004): Kritische Betrachtungen zur Multifunktionalität der Waldbewirtschaftung in Deutschland. FuH 59 (3): 99–104.
- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (SMUL) (2005): Klimawandel in Sachsen. Sachstand und Ausblick. Dresden: 111 S.
- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (SMUL) (2008): Waldgesetz für den Freistaat Sachsen (SächsWaldG) vom 10.4.1992, rechtsbereinigt mit Stand vom 1.8.2008.
- ŠIŠÁK, L. (2008): Spoločenská sociálne-ekonomická efektívnoť funkcií lesa. In: Slodičák et al: Lesnické hospodaření v Krušných horách. Hradec Králové: 477 S.
- SCHLUTOW, A., GEMBALLA, R. (2008): Sachsens Leitwaldgesellschaften – Anpassung in Bezug auf den prognostizierten Klimawandel. AFZ/Der Wald 63 (1): 28–31.
- SCHUBERT, R. (1991): Lehrbuch der Ökologie. 3. Auflage. Gustav Fischer. Jena: 657 S.
- SCHÜLER, G. (2002): Schutz versauerter Böden in nachhaltig bewirtschafteten Wäldern – Ergebnisse aus 10-jähriger interdisziplinärer Forschung. Allg. Forst- und Jagdzeitung 173 (1): 1–7.
- SCHWANECKE, W., KOPP, D. (1996): Forstliche Wuchsgebiete und Wuchsbezirke im Freistaat Sachsen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten, Graupa. Heft 8: 191 S.
- SONNEMANN, S., MÜNCH, A., DITTRICH, I., EISENHAEUER, D.-R. (2009): Einfluss des Waldanteils, der Baumartenzusammensetzung und Bestandesstruktur sowie der Waldbewirtschaftung auf das Abflussregime von Flusseinzugsgebieten im Osterzgebirge. In: Abschlussbericht zum Projekt: „Hochwasserschutz- und naturschutzgerechte Behandlung umweltgeschädigter Wälder und Offenlandbereiche der Durchbruchtäler des Osterzgebirges“. Im Druck.
- SPELLMANN, H. (2005): Produziert der Waldbau am Markt vorbei? AFZ/Der Wald 60 (9): 454–458.
- STAATSBETRIEB SACHSENFORST (2006): Richtlinie über die Anwendung von Holzerntetechnologien im Landeswald des Freistaates Sachsen. Pirna: 49 S.
- STOLINA, M. (1979): Podmienky aktivizácie škodlivých činiteľov a odolnosťný potenciál lesných porastov v aspektoch

- hospodársko-úpravnickeho plánovania ochrany lesov. Zvolen (SK): 340 S.
- STOLINA, M. (1985): Ochrana lesa. Bratislava: 470 S.
- THOMASIIUS, H. (1988): Sukzession, Produktivität und Stabilität natürlicher und künstlicher Waldökosysteme. Arch. Naturschutz und Landschaftsforschung 28: 3–21.
- THOMASIIUS, H. (1992): Prinzipien eines ökologisch orientierten Waldbaus. Forstwissenschaftliches Centralblatt 111: 141–155.
- THOMASIIUS, H. (1996): Geschichte, Theorie und Praxis des Dauerwaldes. Erweiterte Fassung eines Vortrages anlässlich der gemeinsamen Tagung 1996 des Landesforstvereins und der Arbeitsgemeinschaft Naturgemäße Waldwirtschaft und der Schutzgemeinschaft Deutscher Wald, Garitz b. Dessau: 64 S.
- THOMASIIUS, H. (1998): Umweltveränderungen und waldbauliche Konsequenzen. Erweiterte Fassung eines im Rahmen des Waldbau-Seminar des Instituts für Waldbau an der Georg-August-Universität Göttingen gehaltenen Vortrages. Neuhof-Rommerz: 38 S.
- VOLZ, K.-R. (1995): Zur ordnungspolitischen Diskussion über die nachhaltige Nutzung der Zentralressource Wald. FuH 50 (6): 163–170.
- VOLZ, K.-R. (1997): Waldnutzungskonzepte und ihre forstpolitische Bewertung. Forstwissenschaftliches Centralblatt 116 (5): 291–300.
- VOLZ, K.-R. (2002): Forst- und Holzwirtschaft auf dem Weg zu größeren Einheiten. Bewertung und Konsequenzen aus der Sicht der Forstpolitik. FuH 57 (12): 386–391.
- WAGENKNECHT, E. (1991): Waldbau in Ostdeutschland 1945 bis 1990. Der Wald 41 (4): 121–122. (6): 204–205. (10): 358–360. (12): 434–437.
- WAGENKNECHT, E. (1992): Waldbau in Ostdeutschland 1945 bis 1990. Der Wald 42 (2): 60–63.
- WENCK, G., RÖHMISCH, K., GEROLD, D. (1985): DDR-Fichtenertragstafel 1984. Tharandt.
- WUNDERLICH, ST. et al. (2006): Schwefel – Vorräte und Sulfat-Remobilisierung in Böden der Level-II-Standorte Sachsens. AFZ/Der Wald 61 (14): 762–765.
- ZWEIG, M., BUFE, J., ANDREAE, H. (2006): Diffuse Belastung von Grundwasserkörpern in Sachsen. WaWi (6): 20–25.

Autorenanschriften

Dirk-Roger Eisenhauer

Staatsbetrieb Sachsenforst

Kompetenzzentrum Wald und Forstwirtschaft

Bonnewitzer Straße 34, D-01796 Pirna/OT Graupa

Telefon +49 3501 542-315

Email Dirk-Roger.Eisenhauer@smul.sachsen.de

Sven Sonnemann

Staatsbetrieb Sachsenforst

Kompetenzzentrum Wald und Forstwirtschaft

Bonnewitzer Straße 34, D-01796 Pirna/OT Graupa

Telefon +49 3501 542-319

Email Sven.Sonnemann@smul.sachsen.de

Optimierung der Hiebsatzplanung zur Quantifizierung von finanziellen Ertragseinbußen durch den Klimawandel am Beispiel des Forstbetriebes der Stadt Zittau

Optimization of the prescribed cut planning to quantify financial yield losses like the climate change at the example of the municipal forest enterprise Zittau

Sebastian Stang, Thomas Knoke

Abstract

This paper shows how to identify and estimate financial losses in the forest production. As an example, the consequences of a potential climate change and the influence by biophysical risk for stands, as well as limitations of annual harvest and high afforestation costs on the net present value of forest enterprises are demonstrated. Taking the results from a case study for the forest owned by the town Zittau, we show that the deviation of harvest from the optimal age under financial aspects and the costs for afforestation could have a significantly higher importance on the yield than climate change and hazard risks.

Keywords: Zittau, Forest Management Planning, Optimization, Climate Change, Risk

Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wird den Fragen nach der Identifikation und der finanziellen Bewertung von Ertragseinbußen in der forstlichen Produktion nachgegangen. Am Beispiel wird auf die Folgen von möglicherweise durch den Klimawandel zu erwartenden Wachstumseinschränkungen, von Ausfallrisiken der Bestände sowie von Hiebsatzbeschränkungen und Kulturkosten auf den Ertragswert von Forstbetrieben eingegangen. Anhand von für den kommunalen Forstbetrieb der Stadt Zittau erzielten Ergebnissen wird gezeigt, dass die Abweichung vom finanziell optimalen Einschlagzeitpunkt sowie hohe Kulturkosten, weit größeren Einfluss haben können als Klimawandel und Ausfallrisiko.

Schlüsselwörter: Zittau, Hiebsatzplanung, Optimierung, Klimawandel, Risiko, Forstplanung

1. Einleitung

Das Landschaftsbild in Deutschland wird durch das rund ein Drittel der Gebietskulisse (BMELV 2005) einnehmende Ökosystem Wald geprägt. Es verwundert daher kaum, dass die von uns Menschen an diesen Teil der Kulturlandschaft gestellten Ansprüche zum Teil sehr umfangreich sind. Hierbei sehen sich die Landbesitzer im Spannungsfeld der per Gesetz bereitzustellenden allgemeinen Wohlfahrtsleistungen

des Waldes und ihren eigenen individuellen, zumeist ertragsorientierten, Ansprüchen. Damit es zu keiner Schiefelage im Rahmen eventuell divergierender Anspruchserfüllungen kommt, bedarf es einer vorausschauenden Betriebssteuerung und -planung. Durch die in der Forstwirtschaft üblichen langen Produktionszeiträume und die damit verbunden Risiken, wiegen die heute von der Betriebsführung zu treffenden Entscheidungen um so schwerer. Es ist daher unabdingbar, sich über die zukünftigen Folgen einer heute getroffenen Entscheidung Klarheit zu verschaffen. Traditionell versucht die Forstbetriebsplanung die Leitplanken für eine nachhaltige Bereitstellung von Waldleistungen aus dem Wald zu gewährleisten. Historisch eher eindimensional auf die Erfüllung einer fortwährenden Holzbereitstellung für die Salinen- und Grubenbetriebe ausgerichtet, muss die Forstbetriebsplanung heute die nachhaltige mehrdimensionale Bereitstellung aller Waldfunktionen bei der Waldbewirtschaftung sicherstellen. Zugleich nimmt die Komplexität der Folgenabschätzung von Entscheidungen zu. Für die Planung wird es daher nötig, neue Planungsmethoden und Instrumente zu finden, welche dieser mehrdimensional ausgerichteten Zielsetzung der Forstwirtschaft gerecht werden und zugleich forstbetriebliche Risiken berücksichtigen.

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Verbundprojektes ENFORCHANGE, welches den Einfluss des Flugascheeintrags auf die Bodennährstoffversorgung untersucht, wurde hierzu ein Entscheidungsunterstützungssystem entwickelt und zur finanziellen Klimafolgenabschätzung eingesetzt. Mit Hilfe des Systems wurde die naturale wie finanzielle Entwicklung eines Forstbetriebes über einen Planungszeitraum von 30 Jahren optimiert und zugleich auch eine Bewertung von darstellbaren Betriebsrisiken durchgeführt. Die dabei in der Untersuchungsregion Lausitz für den flugaschebeeinflussten Teil (1890 ha) des Forstbetriebes der Stadt Zittau (4149 ha) erzielten Ergebnisse einer Szenarioanalyse werden hier dargestellt.

2. Methoden

Die Bewirtschaftung eines Waldes ist unweigerlich mit dessen natürlichem Wachstum und der damit einhergehenden Holzproduktion verbunden. Diese gilt es gemäß der Ansprüche der Nutzer zu optimieren. Während die Düngung und Pflanzung hierbei sicherlich nur eine untergeordnete Rolle

spielen, ist der oft als Motor des Forstbetriebes bezeichnete Hiebssatz hierbei die zentrale Stellschraube. Dessen Ausgestaltung und Höhe beeinflussen unmittelbar sowohl das Wachstum als auch die Naturalausstattung der Wälder. Das räumliche und zeitliche Nebeneinander der Einschläge auf der Fläche führte zu den von uns geschätzten Landschaftsbildern/-räumen, um deren Erhaltung wir heute bemüht sind. Der räumlichen und zeitlichen Ordnung des Einschlags kommt daher eine sehr bedeutende und bereits 1871 von JUDEICH erkannte Rolle zu. In seinem Sinne kann daher die eigentliche Aufgabe der Forstbetriebsplanung darin gesehen werden, „den gesamten Einschlag eines Waldes zeitlich und räumlich so zu ordnen, dass er den multifunktional ausgerichteten Zielen heute, wie in Zukunft gerecht wird“ STANG (2008).

Es gilt daher den optimalen Zeitpunkt für den Einschlag verschiedener Waldorte innerhalb eines Forstbetriebes zu finden. Hierzu bedarf es einer räumlichen und zeitlichen Aufgliederung des Forstbetriebes, welche sich mit Hilfe eines Fachwerkes nach HARTIG (1795) bzw. COTTA (1815) realisieren lässt. Die einzelnen Waldbestände innerhalb eines Betriebes werden hierzu anhand ihrer Baumartenausstattung und des Alters in Bestandesstraten zusammengefasst. Es ergibt sich eine betriebsspezifische Flächenausstattung, die nun über die Zeit mit Hilfe des Einschlags auf die Betriebsziele hin zu optimieren ist. Hierbei handelt es sich um eine klassische Zuordnungsaufgabe, welche der in Abbildung 1 dargestellten Matrix entspricht.

Bestandesstraten	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6
Jungwuchspflege	25 ha	?	?	?	?	?
Jungdurchforstung	25 ha	?	?	?	?	?
Altdurchforstung	25 ha	?	?	?	?	?
Verjüngungsnutzung	25 ha	?	?	?	?	?
Gesamtbetriebsfläche	100ha	100ha	100ha	100ha	100ha	100ha

P = Periode

Abb. 1: Matrix der Zuordnungsaufgabe bei der Einschlagsoptimierung.

Fig. 1: Matrix of the assigning problem by the optimization of the prescribed cut planning.

Gefragt ist also, wie viel Fläche in jedem Stratum nach einem vordefinierten Programm zu behandeln ist. Mit jeder Stratenfläche sind naturale und ökonomische Kennwerte, wie zum Beispiel der Holzvorrat an vermarktbarem sowie totem Holz und der finanzielle Bestandswert verbunden. Die Lösung der Flächen-Zuordnungsaufgabe erfolgt nun, indem man ausgehend von einem Kernziel eine Zielfunktion aufstellt, die unter Berücksichtigung der anderen Teilziele als Restriktionen, maximiert wird. Hierdurch wird es möglich, mehrere Teilziele mit unterschiedlichen Maßeinheiten bei der Planung optimal zu berücksichtigen. Die Teilziele bilden in Form von Restriktionen Leitplanken (z. B. für die Nachhaltigkeit) innerhalb

derer das Kernziel optimiert werden kann. Neben den von der Betriebsführung gesetzten und beeinflussbaren Zielen bzw. Bewirtschaftungseinschränkungen, fließen in die Optimierung auch nicht oder nur teilweise beeinflussbare Einschränkungen, wie die Risikoanfälligkeit der Bestände oder der Kultursicherungsaufwand als Planungsgrundlagen bzw. -annahmen mit ein.

Als allgemeines Kernziel der Forstwirtschaft kann die nachhaltige und gewinnbringende Bewirtschaftung des Waldes angesehen werden. Mit anderen Worten gesagt, gilt es die Zahlungsströme und damit den als Ertragswert verstandenen Betriebswert, innerhalb des Betrachtungszeitraumes zu maximieren. Der Forstbetrieb wird hierbei als Investitionsobjekt angesehen, welches über den Anlagezeitraum verzinste Erträge erwirtschaften soll. Der optimale Einschlagzeitpunkt lässt sich dann, aufbauend auf der Bodenertragswertformel (FAUSTMANN 1849), anhand einer dem Pressler'schen Weiserprozent (PRESSLER 1859) ähnlichen Grenzrendite herleiten, wobei hier von einem begrenzten Betrachtungszeitraum ausgegangen wird. Sinkt hierbei die interne Verzinsung eines Betriebsstratums unter den vom Besitzer gewählten Kalkulationszinssatz, so hat dieses Stratum seine finanzielle Hiebsreife erreicht und muss eingeschlagen werden, um keine finanziellen Verluste zu erleiden. Für die Kalkulationen wurde der Forstbetrieb als langfristiges Anlageobjekt verstanden, bei dem der Besitzer ähnliche Renditeforderungen wie bei anderen langfristigen Finanzanlagen stellt. Als Kalkulationszinssatz wurde daher 3% gewählt.

Auf Forstbetriebsebene lässt sich das Kernziel der Forstwirtschaft nach folgender finanzmathematischer Formel beschreiben:

$$\text{max. Ertragswert} = \sum_{\text{Stratum}=1}^n \sum_{\text{Periode}=1}^6 \frac{DB_{\text{Stratum, Periode}} \cdot f_{\text{Stratum, Periode}}}{(1+r)^t} - \sum_{\text{Stratum}=1}^n \frac{A_{\text{Stratum}} \cdot F_{\text{Stratum}}}{(1+r)^T}$$

DB = Deckungsbeitrag (um die Ernteaufgaben bereinigte Holzerlöse, Kultur- und Jungwuchspflegeausgaben als negative Werte)

A = Abtriebswert am Ende des Planungszeitraums

F = Stratumfläche am Ende des Planungszeitraums

T = Planungszeitraum

f = dem Stratum zugeordnete Fläche (Entscheidungsvariable)

r = Zinssatz als Dezimalzahl

t = Eingriffszeitpunkt

Dabei bedarf es im Sinne eines strengen Nachhaltigkeitsbegriffs allerdings der bereits erwähnten Leitplanken z. B. in Form von Hiebsatzbeschränkungen oder Mindestvorräten, welche den Fortbestand der naturalen Produktionsmöglichkeiten über die Zeit gewährleisten. Andernfalls könnten in der Finanzoptimierung nicht berücksichtigte und unerwünschte externe Effekte, wie z.B. Kontamination des Grundwassers mit Nitrat eintreten.

Trotz der Gefahren, die bei unvollständiger Beschreibung des Zuordnungsproblems bestehen können, ist der Vorteil einer finanziellen Bilanzierung des forstwirtschaftlichen Handels, welcher sich aus der beschriebenen Herangehens-

weise ergibt, ein großer Gewinn für die Entscheidungsfindung. Aufwendungen und Kosten gesellschaftlicher Ansprüche an den Wald in Form des Naturschutzes oder der Erholungsnutzung werden transparent und stellen in Form der ableitbaren Aufwendungsbeträge die finanziellen Konsequenzen der sozioökonomischen Leistungen für den Waldbesitzer dar.

Dabei fußt die Optimierung der finanzmathematischen Zielfunktion auf zuvor für den Planungszeitraum mit naturalen Wachstumsmodellen abgeleiteten Kennzahlen. Im Forschungsprojekt ENFORCHANGE wurden diese Modelle weiterentwickelt, sodass Veränderungen der naturalen Produktionsbedingungen bei den Prognosen des Waldwachstums berücksichtigt werden können (vgl. Artikel MOSHAMMER et al. 2009). Unter anderem konnten so die durch den Klimawandel möglicherweise verursachten Zuwachsdpressionen quantifiziert werden. Als Prognoseinstrument wurde dabei der Waldwachstumssimulator Silva (PRETZSCH et al. 2000) eingesetzt. Die im Rahmen der betriebsweisen Naturalfortschreibung für drei Klimaszenarien erzeugten Baumlisten wurden anschließend mit dem Voluminierungs- und Sortierungsprogramm BDAT (KUBLIN UND SCHARNAGEL 1988) in vermarktbarer Holzsortimente umgerechnet. Unter Zugrundelegung aktueller Aufarbeitungskosten des Betriebes sowie der durchschnittlichen Holzpreise der letzten fünf Jahre, ermittelt aus den Holzpreisstatistiken des Freistaates Sachsen, wurden die für die Zielfunktion zentralen Deckungsbeiträge der Betriebsstraten sowie die Bestandswerte berechnet.

Für die Lösung des beschriebenen Zuordnungsproblems war es notwendig, aufbauend auf Ansätzen von KNOKE (1999), MOOG UND KNOKE (2003), KNOKE UND MOSANDL (2004), KNOKE UND MOOG (2005) sowie KNOKE UND WEBER (2006) aus dem Bereich des Operation Research, ein Kalkulationsprogramm aufzustellen, welches die umfangreichen Wechselwirkungen zwischen den Zielfunktionsgrößen und den gesetzten Restriktionen hinreichend genau abbilden kann. Das dabei auf Basis einer Excel-Tabellenkalkulation entwickelte Entscheidungsunterstützungssystem mit dem Namen „Forest Optimizer“, bildet anhand der Betriebsstratifizierung ein Flächenfachwerk im Anhalt an COTTA (1815) nach und berechnet die für die Optimierung notwendigen Parameter der Zielfunktion und Restriktionen automatisch. Die Optimierung der Zielfunktion erfolgt mit Hilfe des Excel-Tools „What's Best“ der Firma Lindo Systems. Diese Software beinhaltet die für die Lösung der Zuordnungsaufgabe notwendigen mathematischen Algorithmen.

Neben den Auswirkungen des Klimawandels auf das Waldwachstums, ist auch eine Zunahme der abiotischen wie biotischen Risiken für die forstliche Produktion als sehr wahrscheinlich anzunehmen. Bei der Prognose dieser Risiken steht die forstwissenschaftliche Forschung allerdings noch am Anfang. Zwar gibt es schon Modelle zur Prognose von Sturmereignissen (SCHMIDT et al. 2005) und zur Borkenkäfergradation (SEIDEL et al. 2007), diese sind bisher allerdings sehr stark auf den Einzelfall bezogen. Für die Risikofolgenabschätzung im Projekt wurde daher auf die Überlebenswahrscheinlichkeitsfunktionen nach BEINHOFER (2008) zurückgegriffen. Diese geben Auskunft darüber, wie viel Fläche eines Bestandes im Laufe eines Bestandslebens durch zu-

fällige Ereignisse wie Sturm und andere Kalamitäten betroffen ist. Den Überlebenswahrscheinlichkeiten nach BEINHOFER (2008) liegen dabei Arbeiten von DIETRICH (1986) sowie KNOKE und SEIFERT (2008) zugrunde, welche vorhandene Studien oder Statistiken über die zwangsbedingten Einschläge hinsichtlich der Überlebenswahrscheinlichkeiten von Beständen über dem Alter auswerten. Dieser historische Blick auf die Betriebsrisiken in der Forstwirtschaft ermöglicht es relativ einfach, die aktuellen Risikopotenziale für einen Forstbetrieb abzuschätzen. Für ein Betriebsstratum werden dabei für jede der drei am häufigsten vorkommenden Baumarten anhand des Alters die in der nächsten Planungsperiode (5 Jahre) durch zufällige Ereignisse ausscheidenden Stratenflächenanteile ermittelt. Diese ergeben sich, in dem man von der für das aktuelle Alter gültigen Überlebenswahrscheinlichkeit die Überlebenswahrscheinlichkeit der Folgeperiode abzieht und anschließend durch die aktuelle Überlebenswahrscheinlichkeit teilt. Zwangsbedingte Einschläge bedingen zugleich auch finanzielle Einbußen durch Holzpreisminderungen, geminderte Mengen an vermarktbarem Holz und höhere Aufarbeitungskosten. In der vorliegenden Untersuchung wurde angenommen, dass sich für die zwangsbedingten Einschläge die Holzpreise und vermarktbareren Holzmassen um 20% verringern und zugleich die Aufarbeitungskosten um 20% ansteigen.

3. Ergebnisse

Nach Stratifizierung des aktuellen Forsteinrichtungsdatensatzes hinsichtlich der drei Hauptbaumarten in den Beständen ergab sich für das Teilkollektiv die in Abb. 2 dargestellte Bestandstypenverteilung. Hiernach kommen auf rund 90% der Fläche nadelholzdominierte Bestände vor. Dabei nehmen die Fichtenbestände mit 69% über 2/3 der betrachteten Betriebsfläche ein. In einem zweiten Schritt wurden die Bestandstypen entsprechend den Bestandsaltern in Altersklassenstraten aufgeteilt. Insgesamt ergaben sich auf diesem Weg 49 Bestandstraten für den Forstbetrieb. Betrachtet man die Altersklassenverteilung dieser Straten (vgl. Abb. 3) so fällt auf, dass rund 57% der Bestände in einem Alter über 60 Jahren sind. Aus verwertungstechnischer und finanzieller Sicht befindet sich damit der überwiegende Teil der Bestände in einem hiebsreifen oder annähernd hiebsreifen Alter. Bei einem angesetzten Zinssatz von 3% führte dies im Rahmen einer rein finanziellen Optimierung des Ertragswertes des Betriebs (Variante „Ertragswertmaximierung“) zu einer Endnutzung innerhalb der ersten fünf Jahre auf 72% der Betriebsfläche. In der Praxis wäre die Realisierung dieser Holzmassen natürlich logistisch nicht machbar und würde zugleich die unterschiedlichen Waldfunktionen, mit denen die Waldflächen zum Teil mehrfach belegt sind, gefährden. Dies bedeutet aber, dass durch das in der Praxis notwendige langsamere Vorgehen finanzielle Verluste in Kauf genommen werden müssen. Die Basisvariante „Ertragswertmaximierung“ soll daher nur als Verprobungsmaßstab dienen, um die Effekte verschiedener Restriktionen von denen anderer Einflussgrößen, wie dem Klimawandel, zu trennen. Berechnet man anhand der für unterschiedliche Klimavarian-

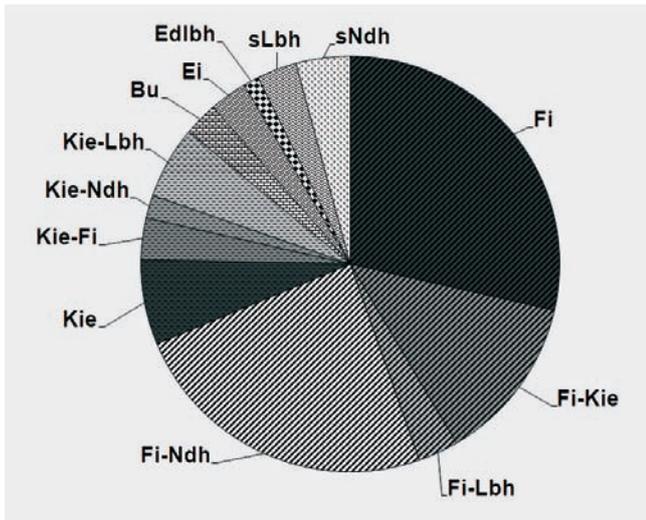


Abb. 2: Bestandstypen des Forstbetriebes Zittau.
 Fig. 2: Stand types of the forest enterprise Zittau.

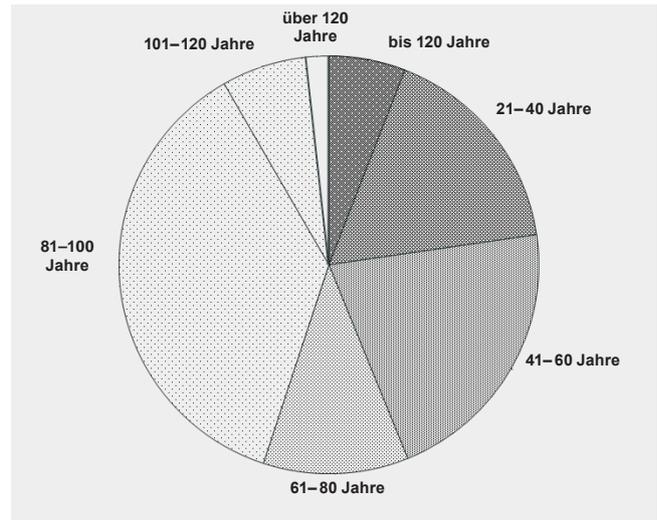


Abb. 3: Altersklassenverteilung des Forstbetriebes Zittau.
 Fig. 3: Age-class distribution of the forest enterprise Zittau.

ten prognostizierten Waldentwicklungen jeweils die Basisvariante „Ertragswertmaximierung“, so ergibt sich das in Abb. 4 dargestellte Bild. Die rein durch den Klimawandel auf das Waldwachstum wirkenden Effekte führen demnach zu vernachlässigbaren Ertragseinbußen. Dies muss allerdings vor dem Hintergrund gesehen werden, dass in der Basisvariante die meisten Bestände bereits gleich zu Anfang genutzt werden und damit der Klimawandel sich hier auch gar nicht auf das Wachstum der meisten Bestände auswirken kann. Für eine eher an der Praxis orientierte Bewirtschaftungsvariante (Variante „Praxis“), in der von Kulturkosten von 2500 €/ha, einem Mindestdeckungsbeitrag von 160 €/ha/Jahr (jährliche Verwaltungsfixkosten) und einem am Zuwachs orientierten Hiebsatz mit 9 Efm/ha/Jahr ausgegangen wird, fallen die Einbußen durch den Klimawandel etwas höher aus (vgl. Abb. 5). Insgesamt relativieren sich aber die ermittelten Einbußen nochmals vor dem Hintergrund, dass aus simulationstechnischen Gründen in den Prognosen des Waldwachstums kein allmählicher (natürlicher) Klimawandel, sondern eine abrupte Klimaumstellung simuliert (vgl. Artikel MOSHAMMER et al. 2009)

werden konnte. In Abbildung 6 sind für drei verschiedene Varianten die Ertragswerte des Betriebes jeweils mit und ohne Risikoeinfluss dargestellt. Für die Basisvariante „Ertragswertmaximierung“ mit dem am zügigsten fortschreitenden Einschlag fällt dabei der Verlust am geringsten aus. Wird für die Variante „Praxis“ der Hiebsatz auf 5 Efm/ha/Jahr gedeckelt, so erhöht sich der durch zufällige Ereignisse bedingte Ertragsausfall im Vergleich zur Variante „Ertragswertmaximierung“ um das 12-fache. Eine Nutzung im Rahmen des Zuwachses von 9 Efm/ha/a führt für die Variante „Praxis“ hingegen nur zu einer Vervielfachung der durch Betriebsrisiken bedingten Ertragseinbußen im Vergleich zur Variante „Ertragswertmaximierung“. Allerdings fallen die anhand der Überlebenswahrscheinlichkeiten abgeleiteten Ertragseinbußen insgesamt relativ gering aus. Die durch den Aufschub der Nutzung über den finanziell optimalen Zeitpunkt hinaus bedingten Ertragseinbußen wirken hier bedeutend stärker. So ist allein mit der Hiebsatzdeckelung auf 5 Efm/ha/Jahr ein Ertragswertverlust von 23% verbunden.

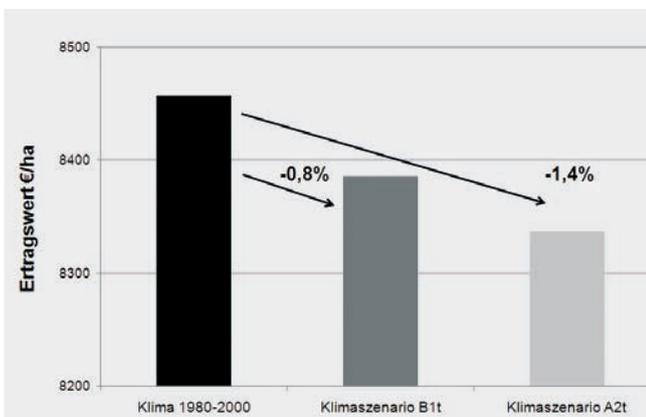


Abb. 4: Finanzielle Einbußen durch den Klimawandel für die Variante Ertragswertmaximierung.
 Fig. 4: Financial yieldlosses caused by climate change for the variant of maximization the net present value of forest enterprise.

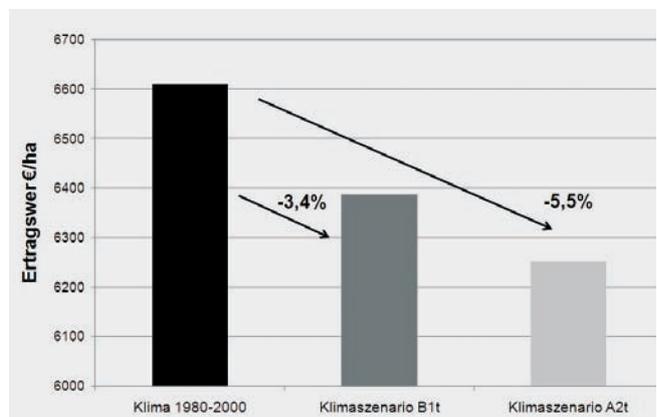


Abb. 5: Finanzielle Einbußen durch den Klimawandel für die Variante Praxis.
 Fig. 5: Financial yieldlosses caused by climate change for the variant Praxis.

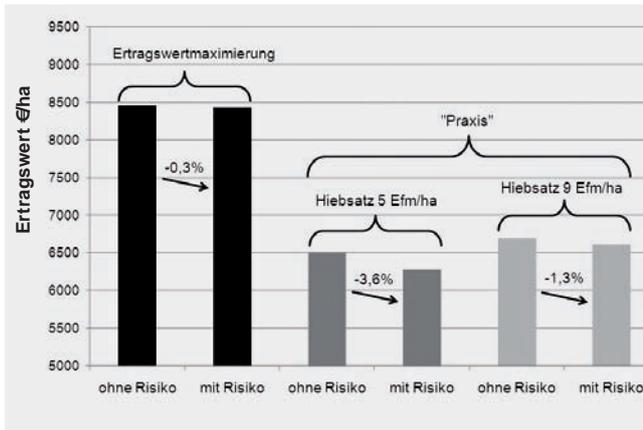


Abb. 6: Einfluss der Überlebenswahrscheinlichkeiten auf den Ertragswert.

Fig. 6: Influence of the survival probability on the net present value.

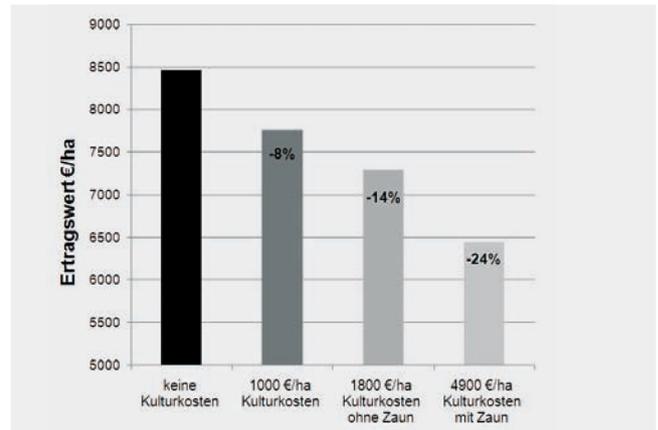


Abb. 7: Einfluss der Kulturkosten auf den Ertragswert.

Fig. 7: Influence of costs for afforestation on the net present value.

Dem Nutzungsaufschub kommt damit die entscheidende Rolle unter den möglichen Ertragseinbußen zu. Bedingt durch hohe Kulturkosten kann es bei der finanziellen Optimierung sogar dazu kommen, dass die Nutzung der Bestände völlig unterbleibt. Der Effekt beruht dabei auf der Tatsache, dass für Folgebestände im Planungszeitraum meist keine Gewinne, sondern nur Kosten (verzinsten Kulturkosten) entstehen und diese die Ertragsverluste durch einen Nutzungsaufschub überwiegen.

Um den Forstbetrieb besser auf den Klimawandel vorzubereiten wird eine Erhöhung des Laubholz- und Mischbaumartenanteils bei der Verjüngung angestrebt. Hierzu sind Pflanz- und bedingt durch den Wildbestand auch Zäunungsmaßnahmen notwendig. Abgeleitet aus dem Verjüngungsziel des Forstbetriebes ergeben sich im Durchschnitt Kulturkosten von 4 900 €/ha für die geschützte Kultur. Könnte auf die Zäunung gänzlich verzichtet werden, verringern sich die Kulturkosten auf 1 840 €/ha. In Abbildung 7 sind die bei unterschiedlichen Kulturkosten erzielbaren Ertragswerte aufgeführt. Im Vergleich zu einer vollständigen Naturverjüngung des Betriebes ohne Kosten, führen die aktuellen Aufwendungen für die Verjüngung zu einem Ertragswertverlust von rund 24%. Der durch die Zäunung verursachte finanzielle Verlust beträgt dabei 28 €/ha/Jahr. Im Vergleich dazu erzielt der Forstbetrieb einen positiven Deckungsbeitrag aus dem Jagdbetrieb von 3,55 €/ha/Jahr. Es wird deutlich, dass die Einnahmen aus der Jagd hier nicht annähernd die Verluste auffangen können, die durch den erhöhten Kultursicherungsaufwand verursacht werden.

4. Schlussfolgerungen

Die Untersuchungsergebnisse des Fallbeispiels zeigen, dass die möglichen Ertragseinbußen durch ein vermindertes Waldwachstum, ausgelöst durch mögliche Klimaveränderungen, unter den aktuellen zwangsbedingten Einschlägen allein gesehen eher gering ausfallen können. In Kombination mit einem weit schwerer wiegenden Nutzungsaufschub über

den finanziell optimalen Zeitpunkt hinaus, können diese aber auch an Bedeutung gewinnen.

Bei der Bewertung des Nutzungsaufschubs darf aber nicht verschwiegen werden, dass bei Wahl eines geringeren kalkulatorischen Zinssatzes, die finanziell optimalen Einschlagzeitpunkte höher und damit die Ertragseinbußen geringer ausgefallen wären. Bedingt durch die höheren Einschlagsalter, wäre aber ebenfalls der Anteil der zwangsbedingten Einschläge gestiegen, sodass der Einfluss des Risikos auf die Ertragslage des Betriebes zugenommen hätte.

Ebenfalls muss darauf hingewiesen werden, dass zwar davon ausgegangen werden kann, dass sich mit dem Klimawandel auch die Überlebenswahrscheinlichkeiten der Baumarten verändern werden, allerdings lässt der derzeitige Wissensstand in der forstlichen Risikoforschung, wie eingangs erläutert, keine verlässlichen Zukunftsprognosen der Überlebenswahrscheinlichkeiten zu. Im vorliegenden Beitrag wurde deshalb nur der Einfluss des aktuellen, aus historischen Daten abgeleiteten Ausfallrisikos untersucht. Die in Zukunft zu erwartenden Ertragsverluste, können daher durchaus von den hier ermittelten abweichen.

Wenngleich ein behutsameres Vorgehen bei der Verjüngung der Waldbestände und dem Waldumbau nicht zuletzt aus Gründen der Nachhaltigkeit im Sinne der Waldfunktionen-sicherung geboten ist, so zeigen die Ergebnisse, dass ein Aufschub der Nutzung neben den Ertragsverlusten auch das Risiko für die Betriebe anwachsen lässt. Für Betriebe mit überwiegend hiebsreifen Beständen, zumal wenn diese wie im untersuchten Betrieb von Fichten dominiert werden, erscheint daher ein eher forciertes Vorgehen günstiger. Ertragsverluste können so vermieden, Risiken abgefangen und Kapital für einen aktiven Waldumbau bereitgestellt werden. Hierbei spielt aber wie gezeigt wurde die Wildbestandsregulierung eine entscheidende Rolle. Erlöse aus dem Jagdbetrieb können die durch einen zu hohen Wilddruck verursachten Kosten meist nicht annähernd decken.

5. Danksagung

Für die Datenbereitstellung bedanken sich die Autoren bei allen Mitarbeitern des ENFORCHANGE-Projekts, insbesondere bei den Kollegen des Teilprojektes Waldwachstum Prof. Dr. H. Pretzsch, R. Moshammer und Dr. T. Rötzer, des Teilprojektes Waldbauliche Umsetzung Dr. R. Eisenhauer und S. Sonnemann sowie der Sachgebietsleiterin Forstbetrieb der Stadt Zittau Frau A. Bültemeier. Das Teilprojekt wurde im Rahmen von ENFORCHANGE (FKZ 03306434L) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF gefördert.

6. Literatur

- BEINHOFER, B. (2008): Berücksichtigung von Risiko in der Waldbewertung. Allg. Forst Z. Waldwirtsch. Umweltvorsorge 17: 918–920.
- BMELV – Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2005): Die Zweite Bundeswaldinventur – BWI² Der Inventurbericht, BMELV, Bonn
- COTTA, H. (1815): Abriß einer Anweisung zur Vermessung, Beschreibung, Schätzung und forstwirtschaftlichen Einteilung der Waldungen als Vorläufer eines darüber herausgegebenen größeren Werkes. Dresden
- DITTRICH, K. (1986): Realistische Zielstrukturen forstlicher Betriebsklassen auf der Grundlage langfristiger Waldentwicklung: Ein Beitrag zur Objektivierung der Nachhaltregelung. Dissertation. Dresden.
- FAUSTMANN, M. (1849): Berechnung des Werthes, welchen Waldboden, sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen. Allg. Forst- u. J. Ztg. 20: 441–455.
- HARTIG, G. L. (1795): Anweisung zur Taxation der Forste, oder zur Bestimmung des Holzertrags der Wälder. Neuaufgabe, Georg Ludwig Hartig Stiftung, Wiesbaden 1996 .
- JUDEICH, F. (1871): Die Forsteinrichtung, Schönfeld's Verlagsbuchhandlung, Dresden, S. 5.
- KNOKE, T. (1999): Zur betriebswirtschaftlichen Optimierung der Vorratshöhe in einem Plenterwald. Forst und Holz, Heft 16: 483–488.
- KNOKE, T.; MOOG, M. (2005): Timber harvesting versus forest reserves - producer prices for open-use areas in German beech forests (*Fagus sylvatica* L.). *Ecological Economics*, Vol. 52, S. 97–110.
- KNOKE, T.; MOSANDL, R. (2004): Integration ökonomischer, ökologischer und sozialer Ansprüche: Zur Sicherung einer umfassenden Nachhaltigkeit im Zuge der Forstbetriebsplanung. *Forst und Holz*, 59. Jg., S. 535–539.
- KNOKE, T.; SEIFERT, T. (2008): Integrating selected ecological effects of mixed Euro-pean beech-Norway spruce stands in bioeconomic modelling. *Ecol. Model.* 210, S. 487–498.
- KNOKE, T.; WEBER, M. (2006): Expanding Carbon Stocks in Existing Forests – A Methodological Approach for Cost Appraisal on the Enterprise Level. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11: 579–605.
- KUBLIN, E.; SCHARNAGL, G. (1988): Verfahrens- und Programmbeschreibung zum BWI-Unterprogramm BDAT. FVA Bad.-Württbg., Freiburg, 87 S.
- MOOG, M.; KNOKE, T. (2003): Zur betriebswirtschaftlichen Bewertung von Einschränkungen der Waldbewirtschaftung. *Forstw. Cbl.* 122: 59–76.
- MOSHAMMER, R.; RÖTZER, T.; PRETZSCH, H. (2009): Analyse der Waldentwicklung unter veränderten Umweltbedingungen – Neue Informationen für die Forstplanung durch Kopplung von Modellen am Beispiel des Forstbetriebes Zittau. *Waldoekologie online* Heft 8 Fig., 1 Tab. Freising, 15.10.2008
- PRESSLER, M. R. (1859): Die forstliche Finanzrechnung mit Anwendung auf Waldwertschätzung und Wirtschaftsbetrieb, Dresden.
- PRETZSCH, H.; BIBER, P.; DURSKEY, J.; POMMERENING, A.; SEIFERT, E.; SEIFERT, T. (2000): Benutzerhandbuch Silva 2.2, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der TU München, München.
- SCHMIDT, M.; BAYER, J.; KÄNDLER, G. (2005): Sturm „Lothar“ – Ansatz einer inventurbasierten Risikoanalyse. FVA – Einblick Nr. 2 August 2005 Jahrgang 9.
- SEIDL, R., BAIER, P., RAMMER, W., SCHOPF, A., LEXER, M.J. (2007): Modelling tree mortality by bark beetle infestation in Norway spruce forests. *ECOL MODEL*, 206, 383–399.
- STANG, S. (2008): Optimierung der Forstbetriebsplanung zur Bewertung von Nutzungseinschränkungen. Allg. Forst Z. Waldwirtsch. Umweltvorsorge 17: 905–907.

Autorenanschriften

Sebastian Stang
Forstliche Versuchsanstalt Baden Württemberg
Abteilung Forstökonomie
Wonnhaldestraße 4, D-79100 Freiburg
Email sebastian.stang@forst.bwl.de

Thomas Knoke
Technische Universität München
Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung
Am Hochanger 13, D-85354 Freising
Email knoke@forst.wzw.tum.de

Forstwissenschaftler und der Wissenstransfer: Erklärungen für unterschiedliche Kommunikationsstile¹

Forest Scientists and Knowledge Transfer: Explanations for Differences in Communication Styles

Bernhard Goodwin, Michael Suda

Abstract

This article covers the questions how forest scientists communicate in different styles and how scientists with different communication styles vary. Four different types of communicational behaviour are found. Scientists with these different styles of communication differ in their academic status and their motives for communication. The perceptions of media effects don't differ between the scientists with different communication styles. A third-person-perception is clearly detectable, but it has no effect on the communicational behaviour of scientists.

Keywords: science communication, third-person-effect, communicational behaviour

Zusammenfassung

Dieser Beitrag setzt sich mit den Fragen auseinander, in welchen unterschiedlichen Stilen Forstwissenschaftler kommunizieren und wie sich Wissenschaftler mit differierenden Kommunikationsstilen unterscheiden. Dabei wird gezeigt, dass die Wissenschaftler in vier Kommunikationstypen eingeteilt werden können. Wissenschaftler mit diesen unterschiedlichen Kommunikationsstilen unterscheiden sich in ihrer Stellung innerhalb der akademischen Welt und ihren Motiven für Kommunikation. Die Vorstellungen über Medienwirkungen unterscheiden sich nicht zwischen den Wissenschaftlern mit unterschiedlichen Kommunikationsstilen. Eine Third-Person-Wahrnehmung kann eindeutig festgestellt werden, diese hat jedoch keinen Einfluss auf das Kommunikationsverhalten.

Schlüsselworte: Wissenschaftskommunikation, Third-Person-Effekt, Kommunikationsverhalten

1. Einleitung

Wissensvermittlung aus der Wissenschaft in die Gesellschaft wird für wichtig erachtet. Dabei handelt es sich um eine normative Entscheidung, die von verschiedenen Akteuren in der Gesellschaft unterschiedlich getroffen werden kann. Aber auch innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft gibt es

keine einheitliche Sichtweise über den Stellenwert der Wissenschaftskommunikation. Diese unterschiedlichen Sichtweisen sind empirischen Untersuchungen zugänglich. Wenn wir den Standpunkt vertreten, dass bestimmte Maßnahmen die Wissenschaftskommunikation günstig beeinflussen könnten, dann bedeutet das nicht, dass wir die oben aufgeführte normative Entscheidung mittragen. Vielmehr wollen wir Wege aufzeigen, wie Forschungstransfer und Wissensvermittlung aus der Wissenschaft in die Gesellschaft gelingen kann, sofern man dies möchte.

Dafür blicken wir in den folgenden Kapiteln auf die bestehenden Erkenntnisse aus der Forschung über Wissenstransfer. Wir erläutern unsere theoretische Herangehensweise an die Untersuchung und stellen Forschungsfragen, welche die vorliegende Studie leiten. Im zweiten Teil des Beitrags erläutern wir unsere Forschungsmethoden und beschreiben die Ergebnisse. Zuletzt werden diese Ergebnisse analysiert und Empfehlungen für die Kommunikation forstwissenschaftlicher Erkenntnisse abgeleitet.

Wissenschaftskommunikation als Gegenstand der Forschung

Die Auseinandersetzung mit der Wissenschaftskommunikation in der bestehenden Forschung ist breit und vielfältig. Hier werden drei Ansätze der wissenschaftlichen Betrachtung von Wissenschaftskommunikation vorgestellt, die aus den jeweiligen Fragestellungen zu unterschiedlichen Erkenntnissen gelangen. Diese Ansätze spiegeln auch die geschichtliche Entwicklung wider, die die Erforschung von Wissenschaftskommunikation genommen hat:

- (1) Popularisierung der Erkenntnisse
- (2) Demokratisierung der Forschung
- (3) Wissenschaftskommunikation als Phänomen

(1) Kommunikation wissenschaftlicher Erkenntnisse als Methode der Popularisierung dieser Erkenntnisse in der Gesellschaft:

Die Fragen nach Möglichkeiten zur Verbesserung der Popularisierung von Wissenschaft führten zu Forschungen im Bereich der „scientific literacy“ – einer Art wissenschaftliche Grundbildung, die von den Bürgern zu erwarten ist². Im Forstbereich kann man die forstlichen Versuchs- und For-

schungsanstalten als einen Ausfluss des Paradigmas von Wissenschafts-Popularisierung sehen: So soll etwa die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft Expertenwissen der Verwaltung zugänglich machen und dabei „den Transfer neuer Erkenntnisse in die forstliche Praxis und die Öffentlichkeit [...] gewährleisten.“ (FORSTORGV 2005, §2 (1), Satz 1). Forscher innerhalb dieses Paradigmas sehen die Wissenschaft in einer Pflicht, die Gesellschaft zu führen (z.B. SNOW 1967). Dabei stören Sichtweisen, die eine sozialwissenschaftliche Deutung von wissenschaftlichen Erkenntnissen nahelegen (BROKS 2006, S. 102).

(2) Berücksichtigung gesellschaftlicher Bedürfnisse in der Forschung als Methode der Demokratisierung von Wissenschaft:

Diese Sichtweise geht davon aus, dass Erkenntnisse, die in der Gesellschaft umgesetzt werden sollen, vorher von den Anwendern gewünscht sein müssen und nicht nur von den Forschern (z.T. ROGERS 2003). Die so genannte Modus-2-Forschung lässt sich in diesen Bereich einordnen. Sie will im Kontext der Anwendung, transdisziplinär in einer heterogenen Struktur unter Einbezug der Betroffenen bestehen und sich damit stark von traditioneller Forschung absetzen (GIBBONS et al. 1994).

(3) Kommunikation zwischen Wissenschaft und anderen gesellschaftlichen Gruppen als ein Phänomen heterogener Gesellschaften:

Um Gruppen in der Gesellschaft zu betrachten, werden Grenzen zu anderen Gruppen analysiert. Für GIERYN ist dabei die zentrale Frage, wie Wissenschaft von den verschiedenen beteiligten Gruppen definiert wird (1995, S. 440). STAR und GIESEMER definieren hier Grenzobjekte, welche die Kommunikation zwischen den Gruppen ermöglichen. Diese können von beiden Seiten der Grenze zwischen den Gruppen verwendet werden: „They have different meanings in different social worlds but their structure is common enough to more than one world to make them recognizable, a means of translation.“ (1989, S. 393). Ein anderer Wissenschaftler, der sich unter Rückgriff auf die Systemtheorie mit der massenmedialen Verbreitung von Wissenschaft beschäftigt, ist KOHRING, der Wissenschaftsjournalismus als gesellschaftliches Subsystem begreift, mit der Funktion, die Ereignisse im Bereich der Wissenschaft zu beobachten und diese dann einer weiteren Öffentlichkeit zugänglich zu machen, wenn sie Folgen für dritte Systeme haben können (2005).

Wenn die Rolle der Wissenschaftler in der Wissenschaftskommunikation erforscht werden soll, so ist es sinnvoll ihre Perspektive einzunehmen ohne sie zu übernehmen. Damit sieht sich der vorliegende Beitrag der unter (3) beschriebenen Herangehensweise verpflichtet, wird dabei aber auch durch die Wissenschaftler mit den anderen Sichtweisen konfrontiert. Besonders mit der zuerst aufgeführten Sichtweise, die die Popularisierung von Wissenschaft in den Mittelpunkt stellt. In der bisherigen Forschung der Rolle von Wissenschaftlern beim Wissenstransfer wurde vor allem eine makroskopische Herangehensweise gewählt. Hans Peter Peters³ unterscheidet drei mögliche Sichtweisen auf die beteiligten

Akteure: (1) Systeme, (2) Gruppen mit Interessenskonflikten und (3) unterschiedliche Kulturen (2007, S. 60f). Die Probleme zwischen Wissenschaftlern und Medien werden so grundsätzlich als strukturelle Probleme gesehen, folgt man dieser makroskopischen Herangehensweise. So folgert zum Beispiel GRABOWSKI: „Verkürzungen und Vereinfachungen, im aktuell arbeitenden Journalismus alltägliche Notwendigkeiten, passen nicht in die Filigranarbeit“ der Wissenschaftler (GRABOWSKI 1982, S. 29 nach KRÜGER 1985, S. 104). Eine mikroskopische Perspektive, die das Verhalten der Kommunikationspartner als Individuen und weniger als Gruppenvertreter betrachtet, wird in der Forschung bisher kaum eingenommen. Diese Perspektive auf den einzelnen Wissenschaftler kann jedoch helfen, das Verhalten von individuellen Forschern zu verstehen, um so Ansätze zu finden, in welchen Bereichen Maßnahmen zur Verbesserung der Wissenschaftskommunikation ansetzen könnten: Sind es die Rahmenbedingungen? Sind es die Ziele und Motive der Wissenschaftler? Oder sind es ihre Vorstellungen über Medien und ihre Wirkung?

Herangehensweise

Um das Kommunikationsverhalten von Wissenschaftlern theoretisch zu erklären, soll hier eine psychologische Perspektive auf dieses Verhalten eingenommen werden. Der Wissenschaftler wird so weniger als Element einer größeren Gruppe betrachtet. Vielmehr sollen die Einstellungen, Motive und Vorstellungen⁴ des einzelnen Wissenschaftlers das Verhalten erklären.

Eine Forschungsrichtung, die sich mit den Vorstellungen über Realität und ihren Folgen für das Verhalten beschäftigt, ist die Theorie der Medienwirkungen durch erwartete Medienwirkungen (GUNTHER & STOREY 2003), eine Fortführung der Attributionstheorie (FÖRSTERLING 2001). Oft wird auch von einer Verhaltenskomponente des Wahrnehmungsphänomens Third-Person-Effekt (DAVISON 1983) gesprochen (SUN, SHEN, & PAN 2008). Der Third-Person-Effekt bezeichnet die robuste Erkenntnis, dass Menschen die Medienwirkungen auf andere Menschen als größer einschätzen als auf sich selbst. Wichtige intervenierende Variablen sind hier die soziale Distanz zu den anderen Menschen als Verstärker des Effekts und die Wünschbarkeit der in Frage stehenden Medienwirkung als abschwächender Einfluss – bis zur Umkehr in einen First-Person-Effekt⁵ (HUCK & BROSIUS 2007). Wenn wir Wissenschaftskommunikation betrachten, können die Vorstellungen der Wissenschaftler über Medienwirkungen die Bereitschaft der Wissenschaftler beeinflussen sich öffentlich zu äußern. Schon in seiner ersten Publikation zum Third-Person-Effekt weist Phillips DAVISON darauf hin, dass Experten besonders anfällig für die Überschätzung des negativen Medien-Einfluss sein können (1989: 8f)⁶. Dies ist auch verständlich, da Experten durch ihren überdurchschnittlich hohen sozioökonomischen Status eine hohe soziale Distanz zur übrigen Bevölkerung haben.

Neben dem Einfluss der Vorstellungen über Medienwirkungen sollen die Einflüsse des sozialen Umfelds und unterschiedliche Motivlagen der Wissenschaftler in die Betrachtung einbezogen werden, um ein Gesamtbild zu zeichnen.

Forschungsfragen und Hypothesen

Ausgehend vom bestehenden Stand der Forschung und den dargelegten theoretischen Überlegungen sollen hier Forschungsfragen formuliert werden, die eine empirische Überprüfung leiten. Dabei sollen das Verhalten der Wissenschaftler, ihre Vorstellungen und die Zusammenhänge zwischen Vorstellungen und Verhalten ins Verhältnis gesetzt werden. Außerdem werden Zusammenhänge zwischen dem Verhalten und dem sozialen Umfeld von Wissenschaftlern sowie ihrer Motive für Kommunikation überprüft.

Forschungsfrage 1: Welche Typen von Wissenschaftlern lassen sich in Bezug auf ihr Kommunikationsverhalten unterscheiden?

Forschungsfrage 2: Wie unterscheiden sich die Kommunikationstypen in Bezug auf ihre Demographie, ihr soziales Umfeld, ihre Vorstellungen über Medienwirkungen und ihre Motive zum Wissenstransfer?

2. Empirische Befunde

Dieser Abschnitt ist in zwei Teile gegliedert. Zuerst werden die hier angewandten Methoden dargestellt. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der quantitativen Studie, die den Hauptteil der Erkenntnis liefert. Daneben wird das Vorgehen in zwei anderen Untersuchungen vorgestellt, die helfen können die quantitativen Zusammenhänge qualitativ zu bewerten. Im zweiten Teil werden ausgewählte Ergebnisse der Studien vorgestellt, die helfen die Forschungsfrage zu beantworten.

Methode

Um das Kommunikationsverhalten der Wissenschaftler beschreiben zu können wurden Studien mit unterschiedlichen methodischen Ansätzen unternommen. In einer ersten Untersuchung wurden Leitfadengespräche mit Akteuren im Bereich der Wissenschaftskommunikation durchgeführt. Dafür wurden 59 Gesprächspartner aus vier Bereichen ausgewählt – die in Klammern angegebenen Kürzel werden bei Zitaten in diesem Text verwendet, um die Äußerung eindeutig zuzuordnen: Forstpraxis (FP), Medien (MD), Politik, Verbände und Verwaltung (PV), sowie Wissenschaft (WS). Die Interviewpartner wurden in einer typisierenden Stichprobe nicht nach dem Kriterium möglichst großer Repräsentativität ausgesucht, sondern sollten ein möglichst breites Spektrum in Bezug auf ihre unterschiedlichen gesellschaftlichen Rollen darstellen. Der Untersuchungszeitraum lag vom Mai bis zum November 2006. Der Leitfaden umfasste Fragen zum eigenen Kommunikationsverhalten, zu den eigenen Vorstellungen über Kommunikation und Medien. Die Gespräche dauerten im Mittel ca. 45 Minuten und wurden vollständig transkribiert. Um Kategorien zu definieren, wurden die Antworten einer qualitativen Inhaltsanalyse nach PHILIPP MAYRING (1997) unterzogen. Dafür wurden die Aussagen thematisch sortiert und innerhalb dieser Themen in verschiedene Kategorien zusammengefasst, die unterschiedliche die Sichtweisen der Gesprächspartner auf verschiedene Aspekte der Wissenschaftskommunikation widerspiegeln. Um die Ergebnisse des qualitativen Forschungsansatzes quantitativ zu erfassen,

wurde eine Befragung unter deutschen Forstwissenschaftlern durchgeführt. Die in diesem Beitrag dargestellten Ergebnisse sind zum größten Teil auf diese Untersuchung zurückzuführen. Die Fragen des Fragebogens umfassten die Bereiche Vorstellungen zu Medien und Medienwirkungen, Kommunikationsverhalten, soziales Umfeld und Demographie der Befragten. Dabei wurde auch auf die Ergebnisse der Interviews zurückgegriffen. In einem Pretest wurden die promovierten Mitglieder der Studienfakultät für Agrarwissenschaften und Gartenbauwissenschaften der TU München angeschrieben mit der Annahme, dass die dortigen Wissenschaftler vergleichbar sind mit den zu untersuchenden Wissenschaftlern.

Die Bestimmung der Grundgesamtheit erfolgte in zwei Schritten: (1) Feststellung der forstlichen Institutionen: Dafür wurde zuerst eine Liste der forstwissenschaftlichen Institutionen zusammengestellt. Quellen hierfür waren die Mitgliederliste der internationalen forstwissenschaftlichen Organisation IUFRO, der Verteiler der Fachpublikation „Forstliche Forschungsberichte München“ und die auf den Webseiten der gefundenen Institutionen veröffentlichten Linklisten. Hinzugefügt wurde die Fachhochschule Erfurt, die erst seit 2007 einen Studiengang Forstwirtschaft hat. Bereinigt wurde die Liste um Institutionen, die selbst nicht wissenschaftlich tätig sind (wie die Forstverwaltungen – nicht aber deren Versuchsanstalten). (2) Feststellung der individuellen Wissenschaftler: Durch eine Internetrecherche wurden sämtliche promovierte oder als Professoren beschäftigte Wissenschaftler an diesen Institutionen ausfindig gemacht. Dadurch sollte sichergestellt werden, dass weitgehend beruflich sozialisierte Wissenschaftler im Mittelpunkt der Studie stehen. Es wurden insgesamt 617 Wissenschaftler per E-Mail angeschrieben und während des Befragungszeitraums vom 29.5.–7.7.2008 bis zu zwei Mal erinnert. Von den angeschriebenen Wissenschaftlern haben 193 den Fragebogen online beantwortet während 12 die beigefügte Datei ausgedruckt und ausgefüllt haben. Der Rücklauf von 205 Fragebögen entspricht 33,2%. Andere Studien in diesem Bereich haben höhere Rücklaufquoten erreicht, allerdings mit Postversand der Fragebögen und Erinnerungen sowie mit einem längeren Befragungszeitraum⁷. Die Stichprobe unterscheidet sich in Ihrer Zusammensetzung bei nachprüfbar demographischen Faktoren nur unwesentlich von der Grundgesamtheit⁸. Einige Wissenschaftler antworteten auf das Anschreiben mit der Aussage, dass sie sich nicht oder nicht mehr als Forstwissenschaftler sehen und deswegen den Fragebogen nicht ausfüllen würden. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die angegebene Rücklaufquote geringer ist, als die tatsächliche Antwortbereitschaft in der Grundgesamtheit. Dies sollte nicht darüber hinwegtäuschen, dass Wissenschaftler, die einen Fragebogen zur Öffentlichkeitsarbeit nicht beantworten wollen, sich systematisch von Wissenschaftlern unterscheiden können, die bereit sind einen solchen Fragebogen zu beantworten.

Ergebnisse

Die Forschungsfrage 1 lautete: „Welche Typen von Wissenschaftlern lassen sich in Bezug auf ihr Kommunikationsver-

halten unterscheiden?“ Um diese Frage zu beantworten, wurden zuerst einige Tätigkeitsbereiche identifiziert in denen Wissenschaftler kommunizieren können. Basis für diese Zusammenstellung waren Selbst- und Fremdbeobachtungen, die in den beschriebenen Interviews gesammelt wurden.

Innerhalb der Leitfadengespräche wurden vier Kommunikationsstile der Wissenschaftler identifiziert. Weil hier neben den Wissenschaftlern auch andere Akteure befragt wurden, handelt es sich um eine Mischung aus Selbst- und Fremdbild der Wissenschaftler, das sich von einem reinen Selbstbild, wie es weiter unten auf Basis einer quantitativen von Wissenschaftlern beschrieben wird, unterscheidet. Die identifizierten Kommunikationsstile waren im Einzelnen:

- Erfolgreiches professionelles Kommunizieren – ein aktiver Umgang mit Massenmedien als Mittel, die eigenen Inhalte in der Öffentlichkeit zu platzieren, auch um eigene Interessen zu vertreten. „Ja, da gibt es natürlich die ausgesprochenen Medienstars. Dann braucht man zum einen natürlich Talent, dann muss man auch den Willen haben und auch ein bisschen Glück, dass man an die richtigen Leute kommt.“^{WS122} „[W]ir waren so begeistert dann von der Sache, weil er [ein Wissenschaftler aus den USA] einfach so einen Drive hatte und so unglaublich mitreißend erzählen konnte, und wirklich die Leute da stimuliert hat.“^{MD028}
- Idealistisches Vermitteln von Wissen – Versuch eigene Inhalte der Gesellschaft zugänglich zu machen, weil diese für wichtig gehalten werden. „Wissenschaft in Richtung Zielrichtung, nicht Selbstzweck, sondern gebunden an bestimmte Veränderungen, also nicht nur die Welt interpretieren, sondern auch verändern.“^{PV208} „Wie will man eine Gesellschaft entwickeln, wenn kein Wissen weitergegeben wird?“^{WS153}
- Höflich-reaktives Verwalten von Kommunikation – Beantworten von Anfragen aus dem Kreis von Anwendern und Gesellschaft, ohne von sich aus aktiv Wissen zu vermitteln. „Wissenschaftliche Veröffentlichungen aus der [Universität]

bekommen wir kaum, wenn man nicht hinfährt oder daran beteiligt ist.“^{FP166} „Es ist einfach so, man [...] gibt das weiter, wenn man denkt, dass es den, an den man es weitergibt, interessiert [...]. Wenn's dich nicht interessiert hat's keinen Sinn dass ich's mach.“^{WS015}

- Rückzug in den Elfenbeinturm – Abwehr von Anfragen aus der Gesellschaft und Konzentration auf die Forschungstätigkeit und die Kommunikation innerhalb der Wissenschaftler-Gemeinschaft. „Es gibt ja viele Leute, Wissenschaftler, die setzen sich in den Elfenbeinturm [...], die forschen eben, weil sie forschen wollen.“^{PV086} „Viele Wissenschaftler sitzen, wie gesagt, noch im Elfenbeinturm.“^{MD196} „[Anwender] sagen, ihr versteht gar nichts von der Praxis, ihr seid in eurem Elfenbeinturm.“^{WS035}

In der standardisierten Umfrage wurden zu diesem Themenbereich mehrere Fragen gestellt. Die wichtigste Frage lautete: „Wenn Sie nun an das vergangene Jahr zurückdenken, wie häufig haben Sie persönlich diese Handlungen im Jahr 2007 durchgeführt?“ Die Befragten konnten für elf Tätigkeitsbereiche angeben, wie häufig diese Handlungen vorgekommen sind. Basis für die Auswahl dieser Tätigkeitsbereiche waren die Aussagen aus den Leitfadengesprächen über verschiedene Formen der Wissenschaftskommunikation. Dabei hatten sie die Möglichkeit eine von fünf Kategorien auszuwählen. Um diese Kategorien in ein numerisches Relativ zu überführen wurden sie in geschätzte Durchschnittswerte überführt, der jeweilige Wert ist in Klammern angegeben: „nie“ (=0), „1–3 Mal“ (=2), „4–6 Mal“ (=5), „häufiger als 6 Mal“ (=9) und „weiß ich nicht“ (= fehlender Wert). Die Ergebnisse dieser Umkodierung werden in Tabelle 1 dargestellt. Nach dieser Umkodierung wurde auf eine Standardisierung der Werte verzichtet, um die Unterschiede in der Streuung der verschiedenen Variablen in die folgenden Analysen mit einzubeziehen, die durch einen z-Transformation der Werte verlorengegangen wären.

Tab. 1: Handlungen der Wissenschaftler unterteilt in verschiedene Tätigkeitsbereiche.

Table 1: Actions of scientists divided into different fields of activity.

Tätigkeitsbereich	Statistische Kennwerte ¹			
	m	s	n	α (n)
Wissenschaftliche Beiträge verfassen	3,39	2,50	200	0,63 (194)
Teilnahme an wissenschaftlichen Kongressen, Symposien oder Tagungen	3,46	2,25	202	
Ergebnisse meiner Forschung online stellen oder meine wissenschaftliche Internetpräsenz pflegen	2,10	2,23	196	
Interviews für Massenmedien geben	1,16	1,74	198	0,75 (194)
Mit Themen selbst an die Massenmedien wenden	1,13	1,62	199	
Beantworten von kurzen Anfragen durch Massenmedien	2,85	2,82	201	
Verfassen von eigenen Beiträgen für ein nichtwissenschaftliches Fachmedium	1,99	2,07	200	
Vorträge für die allgemeine Öffentlichkeit	1,17	1,78	199	0,73 (197)
Direkter fachlicher Austausch mit Politikern, Mitgliedern der Verwaltung oder Verbänden	2,68	2,99	201	
Mitwirken in politischen Beiräten oder bei Anhörungen	1,55	2,46	198	
Vorträge vor Forst-Praktikern halten	2,02	2,48	200	

¹) m: Mittelwert, s: Standardabweichung, n: gültige Werte, α (n): Cronbachs Alpha für die zusammengefassten Variablen mit zugehöriger Anzahl der gültigen Werte für die Berechnung

In einer explorativen Faktorenanalyse⁹ wurden drei Faktoren ermittelt, welche die Antworten in den 11 genannten Bereichen erklären. Um für eine folgende Clusteranalyse jedoch nicht die Varianz der Antworten zu verlieren, wurden aus den Variablen, auf die die Faktorenanalyse hinweist, Indizes gebildet. Dafür wurde für jeden Fall der Mittelwert der gültigen Antworten der entsprechenden Fragen gebildet. Dieses Vorgehen ist nur möglich, wenn die verwendeten Variablenbündel verschiedene Indikatoren einer latenten Variable sind. Durch Cronbachs Alpha als Test für die Eindimensionalität wurde dies überprüft. Zwar sind die berechneten Werte unter der erstrebenswerten Grenze von 0,8 wie sie SCHNELL, HILL und ESSER angeben (1999, S. 147), dies erklärt sich aber vor allem durch die Anzahl der enthaltenen Items, die mit 3–5 eher niedrig ist.

Der erste gebildete Index besteht aus Kommunikationstätigkeiten, die in der Kommunikation innerhalb der wissenschaftlichen Community hohe Relevanz haben. Neben dem Verfassen von wissenschaftlichen Beiträgen und dem Besuchen von wissenschaftlichen Kongressen zählt hierzu auch die Arbeit mit dem Medium Internet. Der Einschluss dieser Variable in den Index ist ein bemerkenswertes Ergebnis, lässt sich aber durch eine unspektakuläre Verhaltensweise erklären: Wenn Wissenschaftler ihre Veröffentlichungen und Vorträge auf ihrer Website stets aktuell präsentieren, dann ist es eingängig, warum die Anzahl der Tätigkeiten in dem Bereich der originären Wissenschaftskommunikation und im Medium Internet zusammenhängen. Die Reliabilität dieses Index ist mit einem Alpha-Koeffizienten von 0,63 die niedrigste der drei Indizes. Die theoretische Erwägung, dass sich alle drei Kommunikationsformen an dasselbe Publikum richten (die wissenschaftliche Gemeinschaft), führt uns jedoch zu dem Entschluss, diesen Index dennoch so zu bilden. Der Mittelwert dieses Index ist 2,99 Tätigkeiten in jeder der drei genannten Bereiche pro Jahr ($s=1,76$, $n=202$).

Der zweite Index besteht aus Tätigkeiten, die sich vornehmlich an die Öffentlichkeit richten. Das schließt einerseits die Kommunikation über Massenmedien mit ein (Interviews, aktive Pressearbeit, Beantworten von Anfragen), beinhaltet aber auch die Vermittlung von Erkenntnissen über nichtwissenschaftliche Fachmedien und Vorträge an die allgemeine Öffentlichkeit. Der Einschluss der Variable Fachmedien folgt empirischen und theoretischen Erwägungen: (1) Der Eigenwert der Variable im Faktor auf dem dieser Index beruht, ist mit 0,50 zwar recht niedrig aber bei den anderen Faktoren ist der Eigenwert wesentlich geringer (0,23 bzw. 0,12). (2) Die Orientierung an eine nur teilweise akademisch gebildete Fachöffentlichkeit ist vergleichbar mit der Orientierung an die allgemeine Öffentlichkeit. Der Mittelwert dieses Index beträgt 1,67 Tätigkeiten in jeder einzelnen der fünf genannten Kommunikationsformen im Jahr 2007 ($s=1,45$, $n=202$).

Zuletzt soll der dritte Index beschrieben werden. Er besteht aus den Kommunikationshandlungen, die sich direkt an die Anwender wissenschaftlicher Erkenntnisse in Politik und Praxis wenden, in Vorträgen, Beiräten und im persönlichen fachlichen Austausch mit Akteuren aus Politik, Verwaltung und Verbänden. Auch dieser Index entsteht durch Mittelung der gültigen Werte jedes Falles in diesen drei Bereichen. Der Mittelwert des gesamten Index beträgt 2,08 Tätigkeiten in

jedem der drei beschriebenen Bereiche für den Zeitraum eines konkreten Jahres, für den die Befragten Angaben machten ($s=2,14$, $n=201$).

Kommunikationsstile der Wissenschaftler

Die Forschungsfrage 1 verlangt eine Klassifizierung der einzelnen Fälle. Das berichtete Kommunikationsverhalten der Wissenschaftler soll in unterschiedliche Typen eingeteilt werden, die im Folgenden als Kommunikationsstile bezeichnet werden. Dafür wurde eine Clusterzentren-Analyse nach HARTIGAN und WONG (1979) durchgeführt. Um die optimale Anzahl an Clustern zu ermitteln wurden verschiedene Clusterzentrenanalysen gerechnet mit je unterschiedlicher Vorgabe der Clusteranzahl. Als Maß für die Qualität einer Clusterlösung wurde die Summe der Fehlerquadratsummen (s^2) innerhalb der Cluster gewählt, das ist die Summe der quadrierten euklidischen Distanzen der Fälle vom Clusterzentrum. Während diese im Vergleich zwischen den Clusterlösungen mit zwei ($s^2_2=1.127,7$), drei ($s^2_3=828,8$) und vier ($s^2_4=679,8$) Clustern deutlich sinkt, können weitere Cluster diesen Kennwert nicht mehr so deutlich verbessern ($s^2_5=576,3$; $s^2_6=495,4$). Deswegen wird eine Clusterzentrenanalyse für vier Clusterzentren weiterverfolgt. Tabelle 2 zeigt die ermittelten Clusterzentren. Zur Benennung der Kommunikationsstile wurden die Clusterzentren für die einzelnen Indizes herangezogen.

Tab. 2: Verschiedene Kommunikationsstile von Wissenschaftlern.

Table 2: Different types of communication behavior of scientists.

Kommunikationsstil	Indizes ¹			Cluster ²	
	WS	OE	PP	n	s ²
(1) Aktive Kommunikatoren	5,05	3,78	6,39	22	194,9
(2) Beratung / Gesellschaft	1,99	2,39	4,01	31	165,5
(3) Peer-Kommunikation	4,81	1,89	1,59	49	155,7
(4) Passive Kommunikatoren	1,95	0,86	0,76	99	163,7
Mittelwert / Summe	2,99	1,67	2,08	201	679,8

¹ Die drei oben beschriebenen Indizes sind WS: Aktivitäten der Wissenschaftskommunikation, OE: Kommunikation mit der Öffentlichkeit & PP: Beratung von Politik und Praxis. Die angegebenen Mittelwerte unterscheiden sich nicht von den oben angegebenen auch wenn sie nur für die in die Cluster-Analyse aufgenommenen Fälle berechnet wurden.

² Zur Beschreibung des Clusters sind hier die Clustergröße (n) und die Varianz als Fehlerquadratsumme innerhalb der Cluster (ss) angegeben.

Die gebildeten Cluster im Überblick:

(1) Aktive Kommunikatoren: Dieser Kommunikationsstil zeichnet sich durch eine hohe Aktivität in allen Bereichen aus. In jeder der drei Bereiche Wissenschaft, Öffentlichkeit, sowie Politik und Praxis hat dieser Kommunikationsstil die höchsten Werte von den vier Kommunikationsstilen. Es werden nur 22 Befragte in dieses Cluster gezählt und dennoch ist die Varianz innerhalb dieses Clusters, verglichen mit den anderen Clustern, am größten. Grund hierfür ist die Tatsache, dass dieses Cluster sämtliche oberen Extremwerte einschließt.

(2) Beratung/Gesellschaft: Dieser Kommunikationsstil unterscheiden sich so gut wie nicht von dem weiter unten unter (4) beschriebenen Kommunikationsstil in Bezug auf ihr Engage-

ment in der Wissenschaftskommunikation. In den beiden anderen Bereichen (Öffentlichkeit und Politik/Praxis) zeigen sie aber ein deutlich engagierteres Verhalten. Mit 31 Fällen wird dieser Kommunikationsstil am zweit seltensten beobachtet und die Varianz der Ausprägungen innerhalb des Clusters ist im Vergleich mittelmäßig.

(3) Peer-Kommunikation: Der andere mittlere Kommunikationsstil umfasst Wissenschaftler, die sich in ihrer Kommunikation vor allem an andere Wissenschaftler wenden. In den anderen beiden Bereichen, Politik und Praxis sowie Öffentlichkeit sind sie weniger aktiv als die Forscher aus den beiden schon beschriebenen Bereichen. Dieser Kommunikationsstil wurde 49 Befragten zugeordnet. Gleichzeitig ist das Cluster mit der geringsten Fehlerquadratsumme am klarsten definiert.

(4) Passive Kommunikatoren: Der letzte Kommunikationsstil ist in vielen Aspekten das Gegenteil des erstgenannten. In jedem der drei clusterbildenden Bereiche der Kommunikation von Wissenschaftlern hat dieses Cluster den niedrigsten Wert der vier vorgestellten Kommunikationsstile. Obwohl es sich bei diesem Kommunikationsstil um das größte untersuchte Cluster handelt, wird eine im Verhältnis geringe Varianz innerhalb des Clusters gemessen. Dies spricht für einen Boden-Effekt in der Messung. Da keine Werte geringer als 0 Handlungen pro Jahr gemessen werden konnten, ballen sich hier die Fälle, mit wenigen Kommunikationsakten.

Einfluss von Demografie und sozialem Umfeld

Die Forschungsfrage 2 wurde wie folgt formuliert: „Wie unterscheiden sich die Kommunikationstypen in Bezug auf ihre Demographie, ihr soziales Umfeld, ihre Vorstellungen über Medienwirkungen und ihre Motive zum Wissenstransfer?“ Zuerst soll hier auf die Demographie und das soziale Umfeld der Befragten eingegangen werden. Im Folgenden sollen die Kommunikationstypen anhand von objektiven Merkmalen der Persönlichkeit und des sozialen Umfelds der Befragten unterschieden werden. Tabelle 4 weist die Mittelwerte von Alter und Dauer der Beschäftigung an der Universität aus. Dazu werden die Anteile von männlichen Befragten, Habilitierten, Beschäftigten an unterschiedlichen Institutionen und der Bezug der Befragten zu drei Hauptströmungen der Forstwissenschaften aufgezeigt. Anhand dieser Merkmale sollen die verschiedenen Kommunikationsstile verfeinert beschrieben werden. Dazu sollen auch Ergebnisse der Fragen nach der Wahrnehmung der eigenen Situation einbezogen werden. Die Ergebnisse hierzu sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

(1) Aktive Kommunikatoren: Die Wissenschaftler, die in diesem Cluster zusammengefasst sind, gehören zu den älteren Befragten, sind wesentlich häufiger Männer, haben zum größten Teil Personalverantwortung und sind überdurchschnittlich häufig habilitiert. Sie sind trotz ihres Alters im Vergleich zu den anderen Wissenschaftlern am kürzesten in der Wissenschaft beschäftigt. Sie haben einen deutlichen Bezug zur Wirtschafts- und Sozialwissenschaft. 41% von ihnen geben an, dass Öffentlichkeitsarbeit zu ihrem offiziellen Aufgabenbereich gehört. Dieses Profil deutet daraufhin, dass es sich hierbei um Abteilungsleiter und Professoren

handelt (deswegen auch der hohe Anteil an Männern), deren Position eine hohe Sichtbarkeit sowohl in der Wissenschaft als auch in Öffentlichkeit, Politik und Praxis mit sich bringt. Blickt man auf ihre Wahrnehmung der eigenen Situation, so schätzen sie ihre Ressourcen für Öffentlichkeitsarbeit als zu gering ein und ihre persönliche Freiheit als hoch. Auch dies deutet auf Wissenschaftler hin, die in ihren Leitungsfunktionen einen relativ hohen Gestaltungsspielraum haben, aber auch zu der Einschätzung gelangt sind, dass die Ressourcen für Öffentlichkeitsarbeit begrenzt sind.

Tab. 3: Beschreibung der Wissenschaftler mit unterschiedlichen Kommunikationsstilen.

Table 3: Different types of communication behavior of scientists.

Demographische Variablen in %	Cluster Kommunikationsstil ¹				
	Aktiv	Berat.	Peers	Passiv	Ges
Alter in Jahren	48,2	48,7	47,1	45,2*	46,5
Männliche Befragte	90,1	87,1	85,7	71,7*	79,6
Wissenschaftler seit (Jahre)	14,9	17,4	18,6	15,3	16,4
Habilitierte Befragte	31,8	22,6	42,9**	16,2**	25,4**
Personalverantwortung	90,1***	58,1	71,4**	36,4***	54,2***
Öffentlichkeitsarbeiter	40,9	41,9	30,6	16,2**	26,4**
Beschäftigte an Universität	36,4	41,4	53,1	61,6*	53,8
Beschäftigte an FH	18,2	20,7	6,1	12,1	12,6
Beschäftigte an sonstiger Einrichtung	45,5	40,0	40,8	26,3*	33,7
Bezug zur Naturwissenschaft	59,1	45,2	67,3	64,6	61,7
Bezug zur Anwendung/ Ingenieurwissenschaft	22,7	61,3*	44,9	35,4	40,3*
Bezug zur Wirtschafts-/ Sozialwissenschaft	45,5*	45,2*	16,3	19,2	25,4**

¹) Cluster: Aktiv: (1) Aktive Kommunikatoren; Berat.: (2) Beratung/Gesellschaft; Peers: (3) Peer-Kommunikation; Passiv: (4) Passive Kommunikatoren; Ges: Wert für alle einem Cluster zugeordneten Fälle.

^{*}) Weist einen auf dem $p < 0,05$ -Niveau signifikanten Unterschied zwischen diesem und den anderen Clustern aus¹⁰. Je nach Art der unabhängigen Variablen wurden Chi²-Tests oder t-Tests durchgeführt. Für die Spalte Ges. wurden Chi²-Tests unter Einbezug aller Cluster bzw. F-Tests durchgeführt. ^{**}) $p < 0,01$ -Niveau hochsignifikant. ^{***}) $p < 0,001$ -Niveau höchstsignifikant.

(2) Beratung/Gesellschaft: Es handelt sich bei den Wissenschaftlern mit diesem Kommunikationsstil um ältere und eher männliche Wissenschaftler, die – gemeinsam mit den Wissenschaftlern im Cluster Peer-Kommunikation – über die meiste Erfahrung als Wissenschaftler verfügen. Ihr Status in der akademischen Gemeinschaft ist durchschnittlich, aber Öffentlichkeitsarbeit ist relativ häufig Teil ihrer Aufgaben. Sie sind relativ selten an Universitäten angestellt und haben sowohl zu den anwendungsorientierten als auch zu den gesellschaftswissenschaftlichen Disziplinen der Forstwissenschaft einen Bezug (d.h. ihre Institution oder ihre Forschung ist zumindest teilweise in diesem Bereich angesiedelt). Durch ihren Kontakt mit der Praxis haben Wissenschaftler in dieser Gruppe Fähigkeiten, die sie auch im Umgang mit einer breiten Öffentlichkeit und der Politikberatung anwenden können.

Die Wahrnehmung ihrer Umwelt unterscheidet sich nicht vom Durchschnitt, gemeinsam mit der anderen Mittelgruppe, die im Folgenden beschrieben wird, sind diese Wissenschaftler zufriedener mit ihrer Ausstattung an Ressourcen.

Tab. 4: Wahrnehmung des sozialen Umfelds der befragten Wissenschaftler mit unterschiedlichen Kommunikationsstilen.

Table 4: Perception of the social environment of the polled scientists with different types of communication behavior.

Angaben der Befragten über ihr Kommunikationsverhalten	Cluster Kommunikationsstil ¹				
	Aktiv	Berat.	Peers	Passiv	Ges
Ressourcen Ö-Arbeit ²	2,59	3,18	3,17	2,52*	2,79
Freiheit (Vorgesetzte) ³	5,86*	5,23	5,51	5,20	5,35
Freiheit (Fördergeber) ³	5,38*	4,66	4,81	4,50	4,71

¹) Cluster: Aktiv: (1) Aktive Kommunikatoren; Berat.: (2) Beratung/Gesellschaft; Peers: (3) Peer-Kommunikation; Passiv: (4) Passive Kommunikatoren; Ges: Wert für alle einem Cluster zugeordneten Fälle.
²) Die Befragten sollten auf einer 7-stufigen-Skala angeben, wie sehr sie der Aussage zustimmen, dass sie ausreichend Ressourcen für Öffentlichkeitsarbeit zur ihrer Verfügung haben von 1: stimme nicht zu bis 7: stimme voll zu.
³) Die Befragten sollten auf einer 7-stufigen-Skala angeben, wie sehr sie sich gegenüber ihren Vorgesetzten bzw. Fördergebern frei fühlen von 1: gar nicht frei bis 7: ganz und gar frei.
^{*}) Weist einen auf dem p<0,05-Niveau signifikanten Unterschied zwischen diesem und den anderen Clustern aus¹¹. Es wurden t-Tests durchgeführt. Für die Spalte Ges. wurden F-Tests durchgeführt.

(3) Peer-Kommunikation: Diese Gruppe ist in Bezug auf Geschlecht und Alter der Befragten nahe am Durchschnitt. Die Wissenschaftler haben die meiste Erfahrung; die höchste Quote an Habilitationen und zu drei Vierteln auch Personalverantwortung. Nur ein Drittel der Befragten gibt an, dass Öffentlichkeitsarbeit zu seinen Aufgaben gehört und auch Beschäftigte einer Fachhochschule sowie Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler sind deutlich unterrepräsentiert. Dies deutet auf Wissenschaftler hin, die in ihrer Karriere eine eindeutige Orientierung zur wissenschaftlichen Gemeinschaft haben und diese auch zu einer höheren Sichtbarkeit in diesem Bereich führt. Deswegen sehen sie sich auch als überdurchschnittlich frei an und bemängeln das Fehlen von Ressourcen für die Öffentlichkeitsarbeit verglichen mit der ersten und der letzten Gruppe weniger.

(4) Passive Kommunikatoren: Dieser Kommunikationsstil unterscheidet sich auch demographisch von den anderen. Es handelt sich um das jüngste Cluster – auch sind die Befragten kürzer in der Wissenschaft als die beiden mittleren Cluster. Hier ist der Frauenanteil höher und Anteil von Wissenschaftlern mit Personalverantwortung oder Habilitation gering. Nur ein Sechstel der Befragten geben an, dass Öffentlichkeitsarbeit zu ihren Aufgaben gehört. Zusammen mit der Tatsache, dass diese Wissenschaftler zu fast zwei Dritteln an der Universität beschäftigt sind, spricht dafür, dass es sich vor allem um Wissenschaftler im akademischen Mittelbau ohne Orientierung zur Wirtschafts- und Sozialwissenschaft handelt, die eine geringe Sichtbarkeit in der Wissenschaftler-Gemeinschaft haben und auch mit Medien, Politik und Praxis noch wenig vernetzt sind. Sie empfinden relativ zu den anderen Gruppen die geringste Freiheit von Drittmittel-Quellen und Vorgesetzten. Bemerkenswert ist, dass sie auf die Frage

nach ausreichenden Ressourcen für Öffentlichkeitsarbeit fast genauso antworten, wie die Befragten im Cluster Aktive Kommunikatoren, sich dabei aber deutlich von den beiden Mittleren Clustern absetzen.

Einfluss der Vorstellungen über Medienwirkungen

Der Third-Person-Effekt wurde im Abschnitt 1.2 unter dem Aspekt der erwarteten Medienwirkungen vorgestellt. Auch in den Interviews mit Wissenschaftlern und anderen Akteuren wurden unterschiedliche Aussagen zu Medienwirkungen gemacht. Manche Wissenschaftler bezweifelten die Wirkung von Berichterstattung: „Ich glaube, dass dieses Aufmacherische immer dazu führt, dass das eine kurzfristige Karriere hat zum Thema und dann wieder vergessen wird.“^{WS132} Andere wiederum betonten den starken Effekt den Medien auf die Bevölkerung hätten: „[Medien haben] einen zu großen [Einfluss] aus meiner Sicht. Aber das kann man [nur] kritisieren aber nicht ändern.“^{WS294} Dabei wird die Bildung als ein wichtiger Einflussfaktor genannt: „Ich weiß jetzt nicht ob's vermessen wäre zu behaupten, dass jemand der 'nen höheren Bildungsstandard hat, vielleicht stärker noch nach anderen Informationsquellen sucht.“^{WS302} Welches Bild ergibt sich nun im Befragtenkollektiv und lassen sich Unterschiede zwischen Wissenschaftlern mit verschiedenen Kommunikationsstilen feststellen?

Tab. 5: Vorstellungen der Wissenschaftler mit unterschiedlichen Kommunikationsstilen über Medienwirkungen.

Table 5: Perceptions of scientists with different types of communication behavior regarding media effects.

Vorstellungen über Medien und deren Wirkung	Cluster Kommunikationsstil ¹				
	Aktiv	Berat.	Peers	Passiv	Ges
Wirkung auf den Befragte ²	3,42	3,56	3,71	3,79	3,69
Wirkung auf Bevölkerung ³	5,41	5,79	5,68	5,61	5,63
Third-Person-Wahrnehmung ³	1,99	2,23	1,95	1,81	1,93

¹) Cluster: Aktiv: (1) Aktive Kommunikatoren; Berat.: (2) Beratung / Gesellschaft; Peers: (3) Peer-Kommunikation; Passiv: (4) Passive Kommunikatoren; Ges: Wert für alle einem Cluster zugeordneten Fälle.
²) Die Befragten sollten auf einer 7-stufigen-Skala einschätzen, wie sehr sie der Behauptung zustimmen, dass Medien auf das Wissen, die Meinungen, das Verhalten wirken und dass diese Wirkung insgesamt sehr stark ist von 1: überhaupt nicht bis 7: voll und ganz. Aus diesen 4 Aussagen wurde ein Index gebildet durch Mittelung der gültigen Werte pro Fall.
³) Dieser Index ist gebildet aus der Differenz der beiden oben dargestellten Indizes. Ein hoher Betrag steht für einen starken Third-Person-Effekt, ein negativer Wert würde einen reversed Third-Person-Effekt bedeuten.

Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den anderen Clustern gefunden¹⁴. Bei den einzelnen Clustern wurden t-Tests zwischen dem jeweiligen Cluster und den übrigen Clustern durchgeführt. Für die Spalte Ges. wurden F-Tests durchgeführt.

Um zu überprüfen, ob ein Third-Person-Effekt bei den befragten Wissenschaftlern vorliegt, wurden mehrere Fragen zur Wirkung von Medien auf den Befragten selbst, andere Wissenschaftler und die Bevölkerung gestellt¹²: Die Befragten sollten die Wirkung von Medien auf das Wissen, die Meinungen und das Verhalten abschätzen sowie angeben, für wie stark sie die Wirkung von Medien insgesamt auf sich selbst, andere Wissenschaftler und die Bevölkerung halten – jeweils auf einer Skala von 1: schwache Wirkung bis 7: starke Wirkung. Diese vier Fragen wurden für jede der drei

Gruppen zu je einem Index zusammengeführt, der mit Cronbachs Alpha von $\alpha=0,87$ (Befragter selbst), $\alpha=0,88$ (Wissenschaftler) und $\alpha=0,75$ (Bevölkerung) als reliabel gesehen werden kann. Die Indizes wurden durch Mittelwertbildung der Werte für alle gültigen Werte eines Falles gebildet. In einem Mittelwert-Vergleich der Indizes wird klar, dass auch die hier Befragten einen deutlichen Third-Person-Effekt zeigen: Die Wirkung auf die Bevölkerung liegt mit einem Mittelwert von 5,63 Skalenpunkten schon am oberen Ende der Skala, während die Wirkung auf den Befragten selbst bei 3,69 Skalenpunkt unterhalb des Skalenmittelpunkts liegt¹³. Eine mögliche Erklärung für den Third-Person-Effekt bei Menschen, die einen hohen Bildungsstand haben, ist, dass der Wissensstand tatsächlich dazu führt, dass diese Menschen weniger den Wirkungen von Medien ausgesetzt sind. Deswegen wurde in unserer Studie der Vergleich mit anderen Wissenschaftlern gewählt um zu überprüfen, ob sich die Befragten selbst auch als weniger beeinflussbar durch die Medien einschätzen – verglichen mit ihren Kollegen. Der Mittelwert des Index für die Wirkung auf andere Wissenschaftler unterscheidet sich wie erwartet nur noch geringfügig von der wahrgenommenen Wirkung auf die Befragten selbst. Er liegt bei 3,83, was nur noch 0,14 Skalenpunkte bzw., 0,12 Standardabweichungen über dem Wert für die Befragten selbst liegt ($t: 2,6; df 185; p_{\text{einseitig}} < 0,01$). Unabhängig von der Entstehung des Wahrnehmungspänomens Third-Person-Effekt werden in Tabelle 5 die Unterschiede in der Third-Person-Wahrnehmung zwischen den unterschiedlichen Kommunikationsstilen aufgezeigt um zu überprüfen, ob die unterschiedlichen Vorstellungen über die Medienwirkung im Zusammenhang mit dem Kommunikationsstil stehen. Dies kann anhand der Datenlage kaum behauptet werden – trotz der Tatsache, dass die Wissenschaftler, die wenig kommunizieren auch die geringste Third-Person-Wahrnehmung haben.

Einfluss der Motive

Zuletzt sollen Motive zur Wissenschaftskommunikation bei den Wissenschaftlern mit verschiedenen Kommunikationsstilen verglichen werden. Im Leitfaden-Interview wurden viele unterschiedliche Motive von Wissenschaftlern genannt, die zu den folgenden Gruppen zusammengefasst wurden. In der Befragung wurde nach den sechs aus der qualitativen Studie abgeleiteten Motiven gefragt. In Tabelle 6 sind die Antworten aus der Befragung zusammengefasst.

- Positives Image Institution – die eigene Institution soll durch Äußerungen in der Öffentlichkeit besser dastehen: „[Ich muss] alles tun was [die Forschungseinrichtung] im guten, besten Licht erscheinen lässt.“^{WS344}
- Bekanntheit Erkenntnisse – die eigenen Erkenntnisse sollen bekannt gemacht werden: „Ich denke, dass manches Wissen wichtig ist [...], weil ich andere darauf aufmerksam machen möchte, dass da vielleicht mal Widersprüche sind oder interessante Dinge.“^{WS042}
- Pflicht zur Vermittlung – die Vermittlung von Wissen ist Teil des Auftrages oder wird so gesehen: „Um offen zu sein, einmal weil ich es muss [gebe ich Wissen weiter]. Natürlich: [unser Projekt] hat die Pflicht zur Öffentlichkeitsarbeit.“^{WS201}

- Welt verbessern – durch die Vermittlung wissenschaftlicher Erkenntnisse soll die Welt verbessert werden: „[Kommunikativ sehr aktive Klima-Wissenschaftler sind] Leute die aus dem Wissenschaftsumfeld kommen und aber auch eine moralische Verpflichtung darin sehen, sich gegen eine Klimaveränderung zu stemmen.“^{WS173}
- Freude an der Äußerung – die Vermittlung von Wissen bereitet den Wissenschaftlern Freude: „[Es gibt den] Drang, dass man eigene Forschungsergebnisse und eigene Erfolge auch dokumentieren möchte, auch für die Nachwelt.“^{MD050}
- Eigene Bekanntheit – durch die Vermittlung von Wissen soll die Bekanntheit der Forscher gesteigert werden: „Ich finde es geht da auch ganz häufig um Macht, um Ansehen und meistens nicht um die Mehrung der Wahrheit oder die Wahrheitsfindung.“^{WS106}

Tab. 6: Motive der Wissenschaftler mit unterschiedlichen Kommunikationsstilen.

Table 6: Motives of scientists with different types of communication behavior.

Motive für Kommunikation ¹	Cluster Kommunikationsstil ²				
	Aktiv	Berat.	Peers	Passiv	Ges
Positives Image Institution	5,36	5,61*	5,24	4,84*	5,12
Bekanntheit Erkenntnisse	5,14	4,90	5,13	4,68	4,87
Pflicht zur Vermittlung	5,05	4,97	5,10	4,58*	4,82
Welt verbessern	4,65	3,77	4,48	3,96	4,13
Freude an der Äußerung	4,36*	3,68	3,31	3,05*	3,36**
Eigene Bekanntheit	3,27	3,10	3,60	3,22	3,30

¹⁾ Die Befragten sollten auf einer 7-stufigen-Skala einschätzen, wie sehr sie dem jeweiligen Motiv für die eigene Person zustimmen würden von 1: überhaupt nicht bis 7: voll und ganz.
²⁾ Cluster: Aktiv: (1) Aktive Kommunikatoren; Berat.: (2) Beratung / Gesellschaft; Peers: (3) Peer-Kommunikation; Passiv: (4) Passive Kommunikatoren; Ges: Wert für alle einem Cluster zugeordneten Fälle.
^{*)} Weist einen auf dem $p < 0,05$ -Niveau signifikanten Unterschied zwischen diesem und den anderen Clustern aus¹⁵. Es wurden t-Tests durchgeführt. Für die Spalte Ges. wurden F-Tests durchgeführt. **) $p < 0,01$ -Niveau hochsignifikant.

Insgesamt stimmen die Befragten dem Motiv am meisten zu, Wissenschaftskommunikation zu betreiben, um die öffentliche Darstellung der eigenen Institution positiv zu beeinflussen. Das gilt insbesondere für Wissenschaftler, die sich beratend an Öffentlichkeit und Anwender richten, während Wissenschaftler mit niedriger Kommunikationsaktivität dem weniger zustimmen. Wissenschaftler mit einer hohen Kommunikationsaktivität innerhalb der wissenschaftlichen Community haben eine ausgeprägtes Motiv darin die Bekanntheit ihrer Erkenntnisse sichern. Die gleichen Gruppen stimmen der eigenen Pflicht zur Vermittlung und dem Anspruch die Welt zu verbessern stärker zu. Unterhalb des Skalenmittelpunkts liegt die durchschnittliche Zustimmung zur Äußerung, dass die Vermittlung von Erkenntnissen Freude bereite, allerdings unterscheiden sich die Wissenschaftler mit großer Aktivität (relativ mehr Freude an der Vermittlung) und jene mit geringer Aktivität (relativ weniger Freude an der Vermittlung) deutlich. Das Ziel die eigene Bekanntheit zu steigern, rangiert unter den geäußerten Motiven auf dem letzten Platz. Dies ist sicherlich zum Teil sozialer Erwünschtheit geschul-

det, trotz einer vorsichtigen Formulierung der Aussage („Die Öffentlichkeit sollte auch die Person hinter dem Forschungsergebnis kennen lernen können.“)

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Wissenschaftler mit unterschiedlichen Kommunikationsstilen zwar durchaus in manchen Punkten unterscheiden, während sie sich in anderen zum Teil auch überraschend ähnlich sind. Im folgenden Abschnitt werden diese Ergebnisse analysiert um Schlüsse für die Praxis der Wissenschaftskommunikation im Forstbereich und die weitere Erforschung der Vermittlung von Erkenntnissen zu ziehen.

3. Schlüsse aus den Ergebnissen

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse zusammengefasst und dienen als Basis für Empfehlungen zur forstlichen Wissenskommunikation. Dazu werden die Befunde vor dem Hintergrund der bestehenden Forschung und der beschriebenen theoretischen Annahmen diskutiert, dabei soll auch deutlich werden, welcher Wissensfortschritt durch diese Studie geleistet werden konnte. Im zweiten Teil des Abschnitts werden auf der Basis dieser Analyse Empfehlungen herausgearbeitet. Diese Empfehlungen sollen helfen, Wissenskommunikation zielgerichteter gestalten zu können. Außerdem werden einige Forschungsdesiderata genannt, die sich aus dieser Studie ergeben.

Zusammenfassung der Befunde

Eingangs haben wir die Feststellung getroffen, dass empirisch nicht entschieden werden kann, wie Wissenschaftler kommunizieren sollen. Es wird jedoch von innerhalb und außerhalb der Wissenschaft diese Forderung erhoben. Unter diesen Umständen ist besonders die Betrachtung der Gruppe interessant, die wir hier als Passive Kommunikatoren bezeichnet haben – jene knapp 50% der Wissenschaftler, die innerhalb aller identifizierten Kommunikationsfelder nur unterdurchschnittlich aktiv sind. Sie entsprechen dem Bild der Wissenschaftler im Elfenbeinturm, wie es auch von Gesprächspartnern in den Leitfadengesprächen geäußert wurde. Wir konzentrieren unsere Analyse auf diese Gruppe der Wissenschaftler.

Eine erste Erklärung für ihr geringes Engagement in der Wissenschaftskommunikation kann an einer negativen Rückkopplung liegen: Wer wenig kommuniziert, hat eine geringe öffentliche Sichtbarkeit – wer wenig sichtbar ist, wird seltener angefragt und kommt so auch seltener dazu, sich öffentlich zu äußern. Diese These wird durch die Antworten auf die Fragen zur Motivation unterstützt, die alle geringer ausfallen als bei den übrigen Gruppen. Das Problem einer Verstärkung der Mitgliedschaft in dieser Gruppe ist auch im Zusammenhang mit dem Gender-Aspekt von Bedeutung, denn der Frauenanteil dieser Gruppe ist besonders hoch.

Betrachtet man die Stellung der Wissenschaftler mit geringer Kommunikationsneigung, kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass es sich hier um Mitglieder des universitären Mittelbaus handelt. Da nur promovierte Wissenschaftler befragt wurden und die durchschnittliche Dauer des wissenschaftlichen Arbeitens bei diesen Wissenschaftlern mit

15 Jahren sich nicht wesentlich von den übrigen Befragten unterscheidet, kann davon ausgegangen werden, dass in dieser Gruppe nicht nur „frischpromovierte“ Post-Doc-Wissenschaftler zu finden sind, sondern auch Wissenschaftler mit langjähriger Erfahrung wie manche Oberassistenten und Privatdozenten an den Universitäten.

Die Disziplinen von Wissenschaftlern mit einer geringen Neigung zu kommunizieren sind häufiger im naturwissenschaftlichen Bereich zu finden. Dies lässt sich unter anderem damit erklären, dass Wissenschaft in den anderen Bereichen sehr viel stärker einen tatsächlichen Kontakt mit Anwendern forstwissenschaftlicher Erkenntnisse oder anderen gesellschaftlichen Gruppen erfordert. Diese These wird auch durch die Tatsache gestützt, dass die Wissenschaftler, die stärker kommunizieren auch häufiger offiziell den Auftrag dazu haben. Hier sei auch an die Äußerung einer Wissenschaftlerin aus den Leitfadengesprächen erinnert, die betonte, Öffentlichkeitsarbeit zu machen, „weil ich es muss.“^{WS201}

Ein weiterer interessanter Zusammenhang zeigt sich zwischen der Aktivität in der Kommunikation und der Bewertung der eigenen Ressourcen für Öffentlichkeitsarbeit: Die Gruppen mit einer mittleren Aktivität und einer Schwerpunktsetzung entweder auf die Kommunikation innerhalb der Wissenschaft oder die Kommunikation mit Anwendern, Politik und Öffentlichkeit waren zufriedener als die insgesamt aktiven und die passiven Kommunikatoren. Eine stärkere Bemänglung der eigenen Ressourcen für Öffentlichkeitsarbeit kann hier bei den passiven Wissenschaftlern als Rechtfertigung für die geringe eigene Aktivität dienen, während die starken Kommunikatoren möglicherweise tatsächlich häufig an Grenzen stoßen. Diese Betrachtung sollte nicht den Blick auf die Tatsache verstellen, dass die Ausstattung mit Ressourcen für Öffentlichkeitsarbeit von allen Gruppen kritisch gesehen wird und im Mittelwert unterhalb des Skalenmittelpunkts liegt.

In dieser Untersuchung wurden kaum Unterschiede zwischen den Vorstellungen der Wissenschaftler mit verschiedenen Kommunikationsstilen bezüglich der Wirkung von Medien gefunden. Allerdings ließ sich der Effekt einer Third-Person-Wahrnehmung eindeutig replizieren – Hinweise dafür gab es schon in den Leitfadengesprächen, wie beispielsweise diese Äußerung eines Wissenschaftlers: „Wir leben in einer Mediengesellschaft, das weiß man ja. Das heißt, Medien haben einen ganz gigantischen Einfluss. Einen viel größeren, als früher.“^{WS294} Ein Zusammenhang zwischen der Third-Person-Wahrnehmung mit dem Kommunikationsverhalten konnte allerdings nicht nachgewiesen werden.

Empfehlungen für die forstliche Wissenschaftskommunikation

Ausgehend von der Analyse und den Befunden unserer Untersuchung lassen sich einige Empfehlungen für die forstliche Wissenschaftskommunikation entwickeln. Diese Empfehlungen gehen davon aus, dass eine Ausweitung der forstlichen Wissenschaftskommunikation gewünscht ist und sollen helfen dieses Ziel zu erreichen.

Zuerst fällt auf, dass aus Sicht der befragten Wissenschaftler die Ausstattung mit Ressourcen für Öffentlichkeitsarbeit zu gering ausfällt. Wenn die Wissenschaft mehr Ressourcen für

die Öffentlichkeitsarbeit benötigt, so muss sie selbst darauf achten, in Verhandlungen mit Geldgebern diese einzufordern oder sie kann Ressourcen aus anderen Bereichen umschichten. Letzteres erfordert eine normative Entscheidung zuungunsten anderer Aufgaben der Wissenschaft. Fördergeber können indes darauf achten, dass Projektanträge ausreichend Ressourcen für Öffentlichkeitsarbeit kalkulieren¹⁶. In diesen Bereich fällt auch die Empfehlung, Wissenschaftler innerhalb von Projekten – aber auch in den Planstellen der Forschungsinstitutionen – häufiger offiziell mit Öffentlichkeitsarbeit zu betrauen. Dies muss nicht durch die entsprechende Widmung ganzer Stellen geschehen. Die zur Verfügung stehenden Stellenprozente können auch auf viele Wissenschaftler verteilt werden.

Die Analyse der Daten legt nahe, dass ein intensiverer Kontakt mit den Mitgliedern der Forstpraxis auch mit intensiveren Kontakten zur allgemeinen Öffentlichkeit zusammenhängt. Gerade Wissenschaftler, die bisher wenig Aktivität im Kommunikationsbereich haben, können durch eine Schwerpunktsetzung im Wissenstransfer zu Anwendern forstlichen Wissens einen Einstieg in eine verstärkte Aktivität erreichen. Eine andere Alternative ist die Konzentration auf die Kommunikation innerhalb der wissenschaftlichen Community. Denn beide Gruppen mittlerer Kommunikationsaktivität können – ohne die einzelnen Wissenschaftler zu überfordern – nachhaltig eine Vernetzung mit der Gesellschaft aber auch der restlichen wissenschaftlichen Gemeinschaft leisten.

Wenn für die Mitglieder des langjährigen Mittelbaus Perspektiven geschaffen werden, die sie ermutigen, sich kommunikativ zu betätigen, können ihre Potenziale besser genutzt werden. Junge Wissenschaftler können von ihren Vorgesetzten stärker in Kommunikation eingebunden werden – auch gegen die Widerstände von Ansprechpartnern aus Politik und Medien, die häufig lieber den „Herrn Professor“ sehen wollen als die „Frau Doktor“.

Mit dieser Darstellung unserer Ergebnisse steht die Forschung zur individuellen Betrachtung von Wissenschaftlern und ihrer Wissenschaftskommunikation noch an ihrem Anfang. Eine vertiefte Auswertung der vorliegenden Daten ist ein erster notwendiger Schritt, der hier unterbleiben musste. In weiteren Studien sollten die Vorstellungen zur Öffentlichkeit differenzierter abgefragt werden um komplexere Zusammenhänge zu finden. Auch könnten andere Methoden (Inhaltsanalyse und Beobachtung) vertiefte Erkenntnisse ermöglichen. Ein experimentelles Forschungsdesign würde helfen, Ursache und Wirkung in den Zusammenhängen zuzuordnen müsste aber mit Widerstreben durch die untersuchten Wissenschaftler rechnen. Zuletzt wäre ein Vergleich mit anderen Disziplinen interessant, um die Ergebnisse in der Forstwissenschaft in einen breiteren Kontext zu stellen.

Anmerkungen

1 Der vorliegende Artikel hat von den wertvollen Hinweisen der Gutachter Bertram Scheufele und Michael Pregernig profitiert. Die Forschungsarbeit wurde ermöglicht durch eine Zuwendung des BMBF im Rahmen des Forschungsprogramms Forschung für Nachhaltigkeit.

- 2 Eine typische Frage lautet hier beispielsweise: „Die Sonne dreht sich um die Erde. Richtig oder falsch?“ Der Anteil der befragten Europäer, die diese Frage falsch beantwortet ist 26,1 Prozent. (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2001, S. 18)
- 3 Hans Peter Peters verantwortet viele Studien in diesem Bereich (PETERS et al. 1994; PETERS et al. 2008; PETERS & HEINRICH 2005; PETERS & KRÜGER 1985). Ein neuerer Beitrag zum Thema kommt von Senja Post (KEPLINGER & POST 2007; POST 2008).
- 4 Der Begriff „Vorstellungen“ soll hier für kognitive Repräsentationen der Wirklichkeit stehen. In dieser Studie geht es dabei vor allem um die Annahmen der Wissenschaftler über die Arbeitsweise und die Wirkung von Kommunikation.
- 5 Der First-Person-Effekt ist ein umgekehrter Third-Person-Effekt. Dabei schätzen die Befragten die Wirkung von Medien auf sich selbst höher ein, als auf andere.
- 6 Diese These wird inzwischen auch auf die erwarteten Medienwirkungen übertragen (HUH & LANGTEAU 2007).
- 7 So beispielsweise 52% (KRÜGER 1985, S.17) oder 43% (PETERS et al. 2008, S.204).
- 8 Die Unterschiede deuten darauf hin, dass Wissenschaftler mit einem höheren Status eine etwas geringere Antwortbereitschaft hatten (Angaben in %): Geschlecht: Frauen_{GG}=17,0; Frauen_{SP}=20,3; Institution: Uni_{GG}=53,8; Uni_{SP}=54,0; FH_{GG}=12,0; FH_{SP}=12,5; Akademischer Grad: Habil_{GG}=28,0; Habil_{SP}=25,2
- 9 Für die statistischen Berechnungen in diesem Beitrag wurde das freiverfügbare Statistik-Programm „R“ verwendet (R DEVELOPMENT CORE TEAM 2008).
- 10 Hier werden die Grenzen von Signifikanztests deutlich: (1) Bei der Stichprobe handelt es sich um eine Vollerhebung – Unterschiede zwischen Grundgesamtheit und Stichprobe und Grundgesamtheit sind sicherlich nicht zufällig, sondern entstehen durch Selbstauswahl der Teilnehmer (Verweigerung/Nichtverweigerung). (2) Dass vornehmlich das Cluster 2 sich signifikant von den übrigen unterscheidet liegt nicht zuletzt an seiner großen Fallzahl. Aus diesen Gründen wird auf eine genauere Dokumentation der Werte (n, df, t, F, chi²) verzichtet. (Zu dieser Thematik auch LEVINE, WEBER, HULLETT, SUN PARK & MASSI LINDSEY 2008; LEVINE, WEBER, SUN PARK & HULLETT 2008)
- 11 Siehe Anmerkung 10.
- 12 Der Third-Person-Effekt beschreibt dabei immer die Differenz zwischen der wahrgenommenen Wirkung auf den Befragten selbst und der wahrgenommenen Wirkung auf Dritte. Um die soziale Distanz der Befragten zur Gruppe der Dritten zu variieren wurde sowohl nach der wahrgenommenen Wirkung auf Wissenschaftler (geringere soziale Distanz) als auch auf die Bevölkerung insgesamt (größere soziale Distanz).
- 13 Bei einer mittleren Standardabweichung von 1,07 Skaleneinheiten ist der Unterschied 1,82 Standardabweichungen – der t-Wert eines gepaarten t-Test beträgt 19,0 was bei 192 Freiheitsgraden und der Alternativ-Hypothese $\Delta m \leq 0$ einen höchstsignifikanten Unterschied bedeuten würde.
- 14 Siehe Anmerkung 10.
- 15 Siehe Anmerkung 10.
- 16 Dies wird auch zunehmend von Fördergebern gefordert.

Literatur

- BROKS, P. (2006): *Understanding Popular Science*. Open University Press, Maidenhead: 182 S.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2001): *Wissenschaft und Technik im Bewusstsein der Europäer*. Generaldirektion Forschung, Brüssel: 54 S.
- FÖRSTERLING, F. (2001): *Attribution: an introduction to theories, research and applications*. Psychology Press, Hove: 242 S.
- FORSTORG V (2005): *Verordnung über die Organisation der staatlichen Forstverwaltung des Bayerischen Staatsministeriums für Landwirtschaft und Forsten*. In: *Bayerisches Gesetz und Verordnungsblatt Nr. 12/2005*: 217–219.
- GIBBONS, M. E., LIMOGES, C., NOWOTNY, H., SCHWARTZMAN, S., SCOTT, P., TROW, M. (1994): *The new production of knowledge: the dynamics of science and research in contemporary societies*. Sage Publ., London: S.180
- GIERYN, T. F. (1995): *Boundaries of science*. In S. Jasanoff (Hrsg.), *Handbook of science and technology studies*. Sage, Thousand Oaks: 393–443.
- GRABOWSKI, K. H. (1982): *Strukturelle Probleme des Wissenschaftsjournalismus in aktuellen Massenmedien: eine soziologisch-kommunikationswissenschaftliche Untersuchung*. Studienverlag Brockmeyer, Bochum: 333 S.
- HARTIGAN, J. A., WONG, M. A. (1979): *A K-means clustering algorithm*. *Journal of the Royal Statistical Society (Series C: Applied Statistics)* 28: 100–108.
- HUCK, I., BROSIUS, H.-B. (2007): *Der Third-Person-Effekt – Über den vermuteten Einfluss der Massenmedien*. *Publizistik*, 52 (3), 355–374.
- KEPPLINGER, H. M., POST, S. (2007): *Die Klimaforscher sind sich längst nicht sicher*. *Die Welt* (25.9.2007): S. 3.
- KOHRING, M. (2005): *Wissenschaftsjournalismus: Forschungsüberblick und Theorieentwurf*. 2. Auflage. UVK, Konstanz: 339 S.
- KRÜGER, J. (1985): *Wissenschaftsberichterstattung in aktuellen Massenmedien aus Sicht der Wissenschaftler*. Ergebnisse einer Befragung der Professoren der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz. Unveröffentlichte Magisterarbeit an der Johannes-Gutenberg-Universität, Mainz.
- LEVINE, T. R., WEBER, R., HULLETT, C. R., SUN PARK, H., MASSI LINDSEY, L. L. (2008): *A Critical Assessment of Null Hypothesis Significance Testing in Quantitative Communication Research*. *Human Communication Research* 34: 171–187.
- LEVINE, T. R., WEBER, R., SUN PARK, H., HULLETT, C. R. (2008): *A Communication Researchers' Guide to Null Hypothesis Significance Testing and Alternatives*. *Human Communication Research* 34: 188–209.
- MAYRING, P. (1997): *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken*. 6. durchges. Aufl. Dt. Studien-Verl., Weinheim: 135 S.
- PETERS, H. P. (2007): *The science-media interface: interactions of scientists and journalists*. In M. Claessens (Hrsg.), *Communicating European Research 2005*. Proceedings of the conference, Brussels, 14–15 November 2005. Springer, Dordrecht (NL): 53–58.
- PETERS, H. P. et al. (1994): *Kontakte zwischen Experten und Journalisten bei der Risikoberichterstattung: Ergebnisse einer empirischen Studie*. Institut für Publizistik, Westfälische Wilhelms-Universität, Münster: 68 S.
- PETERS, H. P., BROSSARD, D., DE CHEVEIGNÉ, S., DUNWOODY, S., KALLFASS, M., MILLER, S., et al. (2008): *Interactions with the Mass Media*. *Science* 321: 204–205.
- PETERS, H. P., HEINRICHS, H. (2005): *Öffentliche Kommunikation über Klimawandel und Sturmflutrisiken. Bedeutungskonstruktion durch Experten, Journalisten und Bürger*. Forschungszentrum Jülich, Jülich: 221 S.
- PETERS, H. P., KRÜGER, J. (1985): *Der Transfer wissenschaftlichen Wissens in die Öffentlichkeit aus der Sicht von Wissenschaftlern*. Ergebnisse einer Befragung der wissenschaftlichen Mitarbeiter der Kernforschungsanlage Jülich. Kernforschungsanlage Jülich, Jülich: 88 S.
- POST, S. (2008): *Klimakatastrophe oder Katastrophenklima? Die Berichterstattung über den Klimawandel aus Sicht der Klimaforscher*. Reinhard Fischer, München: 209 S.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2008): *R: A language and environment for statistical computing*. Wien: R Foundation for Statistical Computing.
- ROGERS, E. M. (2003): *Diffusion of innovations*. 5. Aufl. Free Press, New York, NY: 551 S.
- SCHNELL, R., HILL, P. B., ESSER, E. (1999): *Methoden der empirischen Sozialforschung*. 6. völlig überarbeitete und erweiterte Aufl., R. Oldenbourg Verlag, München, Wien: 535 S.
- SNOW, C. P. (1967): *Die zwei Kulturen: literarische und naturwissenschaftliche Intelligenz*. Klett, Stuttgart: 103 S.
- STAR, S. L., GRIESEMER, J. R. (1989): *Institutional ecology, 'translations' and boundary objects: amateurs and professionals in Berkeley's Museum of Vertebrate Zoology, 1907–39*. *Social Studies of Science* 19: 387–420.
- SUN, Y., SHEN, L., PAN, Z. (2008): *On the Behavioral Component of the Third-Person-Effect*. *Communication Research*, 35 (2): 257–278.

Autorenanschriften

Bernhard Goodwin
Technische Universität München
Lehrstuhl für Wald- und Umweltpolitik
Am Hochanger 13, D-85354 Freising
Telefon +49 8161 71-4628
Email goodwin@forst.tu-muenchen.de

Michael Suda
Technische Universität München
Lehrstuhl für Wald- und Umweltpolitik
Am Hochanger 13, D-85354 Freising
Telefon +49 8161 71-4625
Telefax +49 8161 71-4623
Email suda@forst.tu-muenchen.de

Forstwissenschaften und die Globale Governance des Waldes

Forestry Sciences and Global Forest Governance

Melanie Morisse-Schilbach, Stefan Werland

Abstract

Societal and political environments determine research agendas, networks and epistemic identities within the scientific and academic realm. In the case of forestry, it is argued, these environments are increasingly negotiated and discussed (“framed”) within inter- and transnational environmental politics (such as biodiversity, climate change). This paper explores in which way and to what extent processes of “global forest governance” impair German forestry sciences. It describes shifts of forestry issues from the local and national towards inter- and transnational levels by focusing on changing actor constellations (emergence of powerful non-forestry actors like NGOs, transgovernmental bureaucracies and epistemic communities) on the one hand and changing political discourses (from local to global forest discourses) on the other. This paper shows that forestry sciences seem to be marginalized in global forest governance processes. Furthermore, data from questionnaires and interviews indicate that within the German forestry sciences community, these shifts are not yet fully acknowledged as significant processes for forest politics in general and for the scientific community in particular. Finally, it proposes strategies to facilitate the lock-in of forestry-related scientific knowledge for the global governance of forests.

Keywords: Global governance, knowledge society, epistemic communities, forestal system of thoughts, inter- and transnational forestal politics, NGOs

Zusammenfassung

Forschungsagenden von Wissenschaften, ihre institutionalisierten Netzwerke und gemeinsamen Grundannahmen werden durch das jeweilige soziale und politische Umfeld geprägt. Dieses Umfeld wird im Falle der Forstwissenschaften zunehmend durch inter- und transnationale Politikprozesse (wie bspw. zur Biodiversität oder zum Klimawandel) geprägt. Der Beitrag beschäftigt sich mit der Frage, auf welche Art und Weise und wie intensiv eine solche „globale Governance des Waldes“ die deutschen Forstwissenschaften beeinflusst. Er beschreibt eine signifikante Verschiebung im Umfeld der Forstwissenschaften von der lokalen bzw. nationalen in Richtung der inter- und transnationalen Ebene. Dies wird zum einen anhand von Veränderungen in den Akteurskonstellationen deutlich (Entstehung einflussreicher nichtforstli-

cher Akteure wie NGOs, zwischenstaatliche Bürokratien und epistemische Gemeinschaften). Zum anderen scheint sich der politische Diskurs zu verändern (von einem lokalen Forst- zu einem globalen Walddiskurs). Beide Veränderungen haben Konsequenzen: Es wird deutlich, dass die Forstwissenschaften innerhalb dieser globalen Prozesse lediglich eine Randstellung einnehmen. Interessanterweise werden innerhalb der Gemeinschaft der deutschen Forstwissenschaften diese Veränderungen (noch) nicht als signifikant für die Forstpolitik im Allgemeinen und die Wissenschaft im Besonderen wahrgenommen. Dies zeigt sich anhand der Auswertung einer Umfrage in der deutschen Forstwissenschaftsgemeinschaft und von Interviews mit in der internationalen Waldpolitik involvierten politischen Akteuren. Der Beitrag schließt mit Vorschlägen für eine engere Einbeziehung forstwissenschaftlichen Wissens in die globale Wald-Governance.

Stichwörter: Global Governance, Wissensgesellschaft, epistemische Gemeinschaften, Forstliches Wissenssystem, Inter- und Transnationale Waldpolitik, NGOs

1. Einleitung

Nicht nur die standörtlichen Umweltbedingungen des Waldes wie Klimawirkungen, Schadstoffdepositionen oder Nährstoffverfügbarkeit ändern sich und stellen damit eine Herausforderung für Forstwirtschaft und Forstwissenschaften gleichermaßen dar. Auch das gesellschaftliche und politische Umfeld, durch das der Umgang mit Wald diskutiert und reguliert wird, ist im Wandel begriffen. Forstwirtschaft und Forstwissenschaften sind von diesen Veränderungen unmittelbar betroffen. Traditionell ist Waldpolitik auf der nationalstaatlichen und (in Deutschland) föderalen Ebene angesiedelt und wird von forstlichen Akteuren und deren Belangen geprägt. Mit der Thematisierung von Wald in zwischenstaatlichen Verhandlungen seit den frühen 1990er Jahren gewinnen Verhandlungen in und durch internationale Institutionen Einfluss auf die Rahmenbedingungen eines solchen lokalen forstlichen Handelns.¹ Gleichzeitig nutzen nichtforstliche Akteure wie Umweltorganisationen die internationale Politik ebene, um walddpolitische Regelungen, und damit die Bedingungen forstlichen Handelns vor Ort mittelbar zu beeinflussen. Schließlich agieren Zertifizierungsorganisationen als transnationale Akteure jenseits staatlicher Politik und wirken mittels privater Normsetzung auf die forstliche Praxis ein.

Der Mehrzahl dieser neuen Akteure (Internationale Institutionen, Nichtregierungsorganisationen (NGOs), transnationale Zertifizierungsagenturen) ist gemein, dass sie nicht zum Kreis der traditionellen forstlichen Akteure zählen und damit auch nicht zu den klassischen Abnehmern forstwissenschaftlicher Expertise.

Der Beitrag fragt nach den Konsequenzen dieser Entwicklungen für den Transfer forstwissenschaftlicher Erkenntnisse in walddrelevante Politikprozesse. In einem ersten Schritt wird das in der politikwissenschaftlichen Teildisziplin Internationale Beziehungen (IB) prominent vertretene Analysekonzept „epistemische Gemeinschaften“ vorgestellt. Das Konzept stellt die jenseits des Staates („globale Governance“) zu beobachtende zunehmende Verwobenheit von Wissenschaft und wissenschaftlichem Wissen mit gesellschaftlichen und politischen Handlungssphären, respektive ihre politische Relevanz ins Zentrum. Im weiteren Verlauf wird zu zeigen sein, inwiefern eine solche epistemische Gemeinschaft in der globalen Wald-Governance existiert und inwiefern die Forstwissenschaften hier wirkmächtig sind. Globale Governance oder auch „globales Regieren“ meint in diesem Zusammenhang im Kern die Verlagerung von Politikprozessen von nationalstaatlichen Regelsetzungsinstanzen hin zu einer multizentristischen Normsetzung, in der neben Regierungen auch nichtstaatlichen Akteuren wie NGOs, internationalen Organisationen und deren Bürokratien, Zertifizierungsagenturen sowie transnational agierenden Wissen(schaft)sgemeinschaften eine größere Beachtung zukommt. Neben regulativen Maßnahmen zählt die Diskursgestaltung, d.h. die Herstellung von Verständnissen und Wertevorstellungen darüber, wie Probleme wahrgenommen, definiert und bearbeitet werden soll(t)en, zu den Bestandteilen eines solchen entgrenzten und entterritorialisierten Handlungsfeldes. Im darauf folgenden Abschnitt werden das forstliche Wissenssystem und das System globaler Governance des Waldes beschrieben. Dabei werden veränderte Akteurskonstellationen einerseits sowie – damit einhergehend – sich verschiebende Diskurse über das Verständnis von Wald andererseits dargestellt. Der vierte Abschnitt dokumentiert anhand zentraler Ergebnisse einer Befragung in den deutschen Forstwissenschaften, inwiefern die Wissenschaft sich auf diese veränderten gesellschaftlichen und politischen Handlungsumfelder eingestellt hat, d.h. inwiefern sie diese Prozesse (shifts) für ihre eigenen Forschungsagenden für relevant hält, wie sie die Prozesse wahrnimmt und in wie weit sie sich in solchen Prozessen jenseits des Staates bereits vernetzt hat. Der Beitrag schließt mit Überlegungen zum Transfer forstwissenschaftlicher Erkenntnisse in die globale Governance des Waldes.

2. Wissenschaft, wissenschaftliche „Ideen“ und Global Governance: Der Einfluss epistemischer Gemeinschaften²

Im Zeitalter der so genannten „Wissensgesellschaft“ ändert sich die Rolle von Wissenschaft nachhaltig, so die These von Weingart und anderen Wissenssoziologen (WEINGART 2001). Zwei Befunde sind hier vor allem interessant: Zum einen ist

dies die „Verwissenschaftlichung“ von Gesellschaft. Unter diesen Begriff werden Ausbreitungstendenzen wissenschaftlicher Erkenntnisse in immer breitere Schichten von Politik und Gesellschaft zusammengefasst. Wissenschaft ist nicht mehr im Elfenbeinturm (der Universitäten) verortet. Vielmehr findet sie Adressaten jenseits ihrer eigenen Profession. Zum anderen ist eine „Politisierung“ von Wissenschaft zu konstatieren. Damit wird in erster Linie die Nutzbarmachung wissenschaftlichen Wissens für die Legitimierung politischen Handelns betont.

In beiden Facetten einer solchen „Vergesellschaftung“ von Wissenschaft geht es sowohl für einzelne Wissenschaftsgemeinschaften als auch für die Institution Wissenschaft offenbar um Positionsveränderungen in der Gesellschaft wie auch um neuartige institutionelle Verbindungen zur politischen Ebene (Grenzorganisationen, Hybridgemeinschaften), mit der Konsequenz, dass Unterscheidungen („Grenzen“) der verschiedenen Systeme („Wissenschaft“ und „Politik“) verwischen oder zumindest durchlässiger werden (KÜPPERS et al. 1978; GUSTON 1999, 2001). Wissenschaft wird offenbar zunehmend (gewollt oder ungewollt) zu einem Mitgestalter von Politik. Dies wird besonders auf der inter- und transnationalen Ebene von Politik und Gesellschaft deutlich: Das Aufstellen (verbindlicher) Regeln zum (friedlichen) Zusammenleben von Gesellschaften geschieht immer häufiger und politikfeldübergreifend auf Ebenen jenseits des Staates; gerade in „technischen“ Sachfeldern wie Umweltschutz, Rüstungskontrolle oder Finanzmärkten beziehen politische Akteure wissenschaftliches Wissen (knowledge) in den Prozess der Entscheidungsfindung faktisch und/oder formal mit ein.

Was macht wissenschaftliche „Ideen“ für die Politik attraktiv? Nach Weingart zeichnen sich wissenschaftliche „Ideen“ im Vergleich zu anderen Wissensformen durch ihren Sonderstatus aus: sie lassen sich weniger wie etwa weltanschauliches, religiöses, Alltagswissen oder ideologisches Wissen spezifischen Gruppierungen, Klassen bzw. Schichten zuordnen. Damit ist gemeint, dass sie jenseits materieller oder immaterieller Interessen, lokalen oder historischen Bedingungen bestehen, mithin aus einer „sozialen Distanz“ entstehen (WEINGART 2003: 7). Durch diesen von Gesellschaftskonflikten scheinbar freien Kontext erhalten wissenschaftliche „Ideen“ den Nimbus von Autorität und, damit verbunden, ein hohes Maß an Vertrauen und Reputation, in Politik und Gesellschaft gleichermaßen.

In den IB ist dieses Bild von den (Natur)Wissenschaften, ihrem Sonderstatus und ihrer Legitimität, in das analytische Konzept der „epistemischen Gemeinschaften“ eingegangen. Epistemische Gemeinschaften sind nach HAAS (1992) vor allem transnational agierende Netzwerke von Experten und anderen Wissensakteuren mit einem speziellen (Fach)Wissen, die einen gemeinsamen Satz an normativen und prinzipiengeleiteten Vorstellungen haben, gemeinsame Kausalvorstellungen besitzen, geteilte Auffassungen von Validität haben und ähnliche Vorstellungen bzw. Strategien über die Notwendigkeit einer Einflussnahme auf Politik aufzeigen. Laut Haas bestehen diese Gemeinschaften aber nicht notwendigerweise nur aus (Natur-)Wissenschaftlern oder Fachleuten, die dieselben methodologischen Techniken zur Gewinnung und Anwendung von Wahrheit(en) verwenden. Haas

wählt eine breitere Definition und beschreibt epistemische Gemeinschaft allgemein als Denkgemeinschaften (thought collectives), die prinzipiell nicht von der Wissenschaft abhängig sein müssen. Dazu zählen u.a. Mitglieder transgouvernementaler Bürokratien, etwa die Sekretariate der Unterorganisationen der Vereinten Nationen wie UNESCO oder UNEP³, Mitglieder des bürokratischen Apparates der Europäischen Kommission oder anderer internationaler Organisationen. Epistemische Gemeinschaften unterscheiden sich von „reinen“ Wissenschaftsgemeinschaften dadurch, dass sie in letzter Konsequenz und über einen bestimmten Zeitraum „politische Absichten“ verfolgen („purposefulness“), während bei letzteren das Bindeglied allein die method(olog)ische Relevanz des Wissens ist („methodology“) (ANTONIADES 2003: 26). Ihre Qualität als epistemische Gemeinschaft erreichen solche Netzwerke vor allem über ihr Fachwissen, die Kommunikation untereinander über feste (institutionalisierte) Kanäle und die gemeinsamen kausalen, normativen und prinzipiengeleiteten Grundvorstellungen (belief systems). Dabei haben sie den Anspruch Konsenswissen, nicht jedoch absolute Wahrheiten zu generieren. Dies macht sie z.B. gegenüber Interessengruppen unterscheidbar: Epistemische Gemeinschaften greifen auf ein gemeinsames Verständnis von Ursache und Wirkung zurück und ziehen sich – werden sie mit Anomalien oder Unstimmigkeiten in ihren Auffassungen konfrontiert – aus dem politischen Prozess zurück. Sie sind nicht an politischen Verhandlungsergebnissen (outcomes) per se interessiert. Interessengruppen (i.S.von pressure groups) hingegen sind langfristig auf das politische Ergebnis fokussiert und bleiben auch dann eng in dem Prozess verwoben, wenn ihnen zugrunde liegende Überzeugen sich als „falsch“ erweisen; das Verkünden von (selektiven) „Wahrheiten“ ist vielmehr Teil ihres „politischen Spiels“. Für epistemische Gemeinschaften hingegen ist die Suche nach neuen Erkenntnissen und Informationen der Antrieb für stetig wachsende epistemische Zusammenarbeit; nur temporär gelangt deren Weitergabe als Ziel auf die Tagesordnung von Politik. Politikfelder, bei denen epistemische Gemeinschaften in der Rahmensetzung und der Identifizierung „richtiger“ Politik mitgewirkt haben, sind unter anderem die Politik zur Verhinderung und Kontrolle der Verbreitung von Nuklearwaffen oder die Ozonschutzpolitik.⁴

3. Forstliches Wissenssystem und die globale Governance des Waldes

Der Wald stellt traditionell ein der Landwirtschaft nahe stehendes, auf Ressourcensicherung angelegtes und auf der Ebene des Nationalstaates bzw. im Falle der Bundesrepublik Deutschland der Bundesländer verortetes Politikfeld dar. Die politische Zuständigkeit für den Wald liegt beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV)⁵ sowie auf Ebene der Bundesländer bei den entsprechenden Landesministerien.⁶ Die dominante Stellung der für Landwirtschaft zuständigen Ministerien sichert forstlichen Akteuren (neben den genannten Ministerien und der Forstverwaltung sind dies insbesondere die organisierten Interessenvertretungen der Waldbesitzer und der Forstwirtschaft)

einen zentralen Einfluss im traditionellen forstlichen Politikfeld (HOFMANN 2002). Aus der Genese von Forstwissenschaften und Forstverwaltung mit ihrer Prämisse der langfristigen Rohstoffsicherung durch die Einführung einer „geregelten Forstwirtschaft“ ergab sich in der historischen Entwicklung eine enge Verbindung von Staat (Ministerien und Forstverwaltung), Forstwirtschaft und Forstwissenschaften, die einen relativ unproblematischen Transfer forstwissenschaftlicher Expertise zu politischen Entscheidungsträgern ermöglichten; sie stehen in einer quasi-symbiotischen Beziehung zueinander. Zusammengefasst kann diese Symbiose mit dem Begriff „forstliches Wissenssystem“ (MORISSE-SCHILBACH & WERLAND i. E.) umschrieben werden.

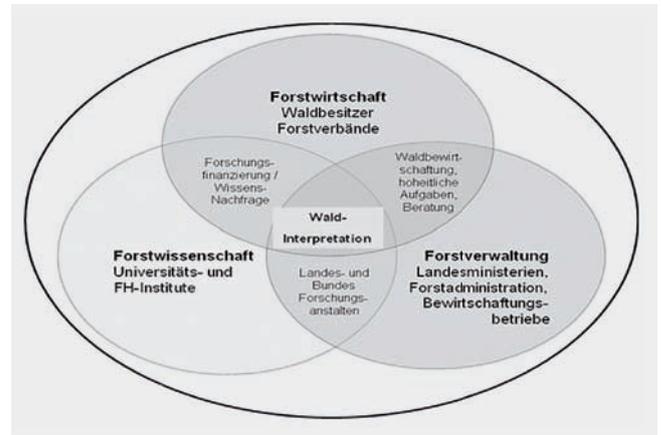


Abb. 1: Das forstliche Wissenssystem (Quelle: MORISSE-SCHILBACH/WERLAND, i. E.).

Fig. 1: The forestal system of thoughts (Source: MORISSE-SCHILBACH/WERLAND, i. E.).

Die Akteursgruppen dieses geschlossenen Wissenssystems sind, beispielsweise durch gemeinsame Ausbildungsgänge oder Forschungsk Kooperationen, eng untereinander vernetzt (vgl. auch Abb. 8). Darüber hinaus wirkt als Bindeglied eine gemeinsame Waldinterpretation (verstanden als normativer und prinzipiengeleiteter Satz an Glaubensvorstellungen), nach der Wald primär als zu bewahrende und zu optimierende Ressource verstanden wird (vgl. hierzu auch Kap. 4). Das hieraus resultierende forstliche Prinzip der Mengennachhaltigkeit erfuhr im Laufe der Zeit unterschiedliche Erweiterungen: gesellschaftliche Belange wie Erholung und lokale Schutzfunktionen des Waldes wurden mit in Betracht gezogen und mit dem obersten Ziel der Holzproduktion in Einklang zu bringen versucht – exemplarisch in Konzepten wie der Kielwassertheorie oder der „multifunktionalen Waldwirtschaft“. Diese Ansprüche an den Wald wurden, wenn auch aus der Gesellschaft heraus geäußert, bislang als forstliche Belange verstanden und dementsprechend an forstliche Akteure herangetragen.

Im Unterschied zum traditionellen Politikfeld findet sich der Wald auf der inter- und transnationalen Ebene in forstfremden Kontexten wieder. Der Staat spielt hier zwar weiterhin eine zentrale Rolle, gleichzeitig treten jedoch neue Akteure auf unterschiedlichen politischen Ebenen auf und beeinflussen Waldpolitik und damit (un)mittelbar forstliches Handeln. So gelangte mit der Umwelt- und Entwicklungskonferenz der

Vereinten Nationen im Jahre 1992 (UNCED) der Wald als eigenständiges Politikfeld auf die internationale politische Ebene.⁷ Allerdings führte das in den zwischenstaatlichen Verhandlungen zu einer Waldkonvention vorherrschende Problemverständnis, nachdem Wald als lokale bzw. nationale Ressource angesehen und weniger im Kontext globaler Zusammenhänge behandelt wird, dazu, dass ein Mehrwert einer internationalen Kooperation nicht gesehen wurde. Unter diesen ungünstigen Kosten-Nutzen-Verhältnissen waren insbesondere walddreiche Entwicklungsländer wie Brasilien und Malaysia nicht gewillt, ihre Souveränität über eigene Ressourcen durch eine verbindliche internationale Konvention infrage stellen zu lassen (vgl. DIMITROV 2006). Die blockierte Waldkonvention und der sich daraus ableitende Prozess des Waldforums der Vereinten Nationen wurde von diesen Staaten intensional als Bremsinstrument genutzt, um eine wirksame globale Waldpolitik zu verhindern. Als nicht-intendierter Effekt führte dies jedoch letztlich zu einer Verlagerung der zwischenstaatlichen Waldpolitik zu den rechtlich verbindlichen UN-Umweltkonventionen: Sowohl die Biodiversitätskonvention der UN (CBD) mit ihrem Wald-Arbeitsprogramm als auch die Klimarahmenkonvention, u.a. mit dem IPCC-Bericht zu ‚Land Use, Land Use Change and Forestry‘, befassen sich explizit mit dem Wald (vgl. auch: MORISSE-SCHILBACH & WERLAND 2006). In dieser nichtintendierten Nebenfolge zeigt sich die Bedeutung des „framings“ von Problemen für ihre politische Bearbeitung: Internationale Waldpolitik wurde (ungewollt) von einem landwirtschaftlich geprägten, d.h. ressourcenorientierten Politikfeld zu einem Umweltpolitikfeld, das sich stärker an ökologischen Kriterien orientiert wie Abb. 2 schematisch zeigt.

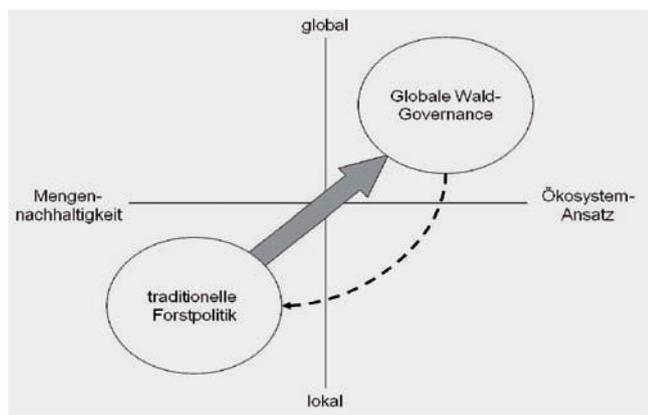


Abb. 2: Die Verschiebung des Wald-Politikfeldes (Quelle: WERLAND 2008, verändert).

Fig. 2: The shift of forest policy (Source: WERLAND 2008, modified).

Wirkmächtig ist eine solche Verschiebung vor allem auf indirekter Art. Auch wenn die ursprünglichen Schutzgedanken der Biodiversitätskonvention im Laufe der Verhandlungsrunden durch nationalstaatliche Interessen überformt wurden – was das weitestgehende Ausbleiben direkter Wirkungen wie verbindlichen Zielsetzungen (Flächenanforderungen für Naturschutzzwecke) und Verhaltensstandards erklärt – zeigen sich indirekte Wirkungen einer solchen Verschiebung. Diese äußern sich beispielsweise in einer höheren Legitimität von

Umweltakteuren wie dem Bundesumweltministerium oder Umwelt-NGOs auch in der nationalen Waldpolitik. Dabei werden internationale Vereinbarungen zunehmend zur Rechtfertigung nationaler walddrelevanter Politiken wie der Strategie zur Biologischen Vielfalt herangezogen.

Die folgenden beiden Abschnitte beschreiben die Verschiebungen des Politikfeldes Wald und die Konsequenzen für die Forstwissenschaften genauer. Dabei wird zum einen eine Veränderung in den Akteurskonstellationen konstatiert, zum anderen eine Verschiebung von politischen Diskursen.

Veränderte Akteurskonstellationen

In der Globalen Wald-Governance verschiebt sich der Ort der Normgenerierung von der nationalstaatlichen Ebene zu einer multizentristischen Normsetzung. Der walddpolitische Akteurskreis umschließt nicht länger vorwiegend Landwirtschaftsministerien der Bundes- und Länderebene, sondern ebenso internationale Organisationen wie die Vereinten Nationen (UN) sowie deren Unterorganisationen und Programme (z.B. FAO, UNEP). Deren Sekretariate, als transgouvernementale Bürokratien verstanden, organisieren Verhandlungen und legen Tagesordnungen fest; sie definieren die Dringlichkeit einzelner Probleme mit und können bestimmte Aspekte betonen oder ausblenden. Dabei stützen sie sich vor allem auch auf wissenschaftliche Expertise: So gelangte der Klimawandel auf Initiative von Meteorologen und Atmosphärenwissenschaftlern auf die politische Agenda, der Erhalt der globalen Biodiversität auf Initiative von Biologen und Ökologen. Die von den jeweiligen Wissenschaftlern konstatierten Probleme wurden zunächst durch wissenschaftliche Konferenzen und aus diesem wissenschaftlichen Kontext heraus geäußerte öffentlichkeitswirksame Aufrufe an „die Politik“, sich des Problems anzunehmen, vorangetrieben.⁸ In beiden Fällen fanden die Wissenschaften in transgouvernementalen Bürokratien, hier insbesondere dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen, aufmerksame Beobachter, die ihre Erkenntnisse in politische Handlungskontexte umzuwandeln verstanden. Im Verbund mit Umwelt-NGOs wie dem WWF oder der IUCN bildeten Wissenschaftler und (Umwelt-)Bürokratien effektive epistemische Gemeinschaften (für den Fall der Biodiversität vgl. SUPLIE 1995). Das durch diese Expertennetzwerke vorangetriebene Wissen („wissenschaftliche Ideen“) verweist nicht nur auf die bloße Existenz eines Problems („Klimaänderung“, „Verlust von Arten“), sondern beinhaltet häufig bereits implizit auch Kausalmechanismen (atmosphärische CO₂-Konzentration und Strahlungshaushalt) sowie normative Vorstellungen darüber, wie angemessenes Verhalten der betroffenen Akteure aussehen sollte. Die walddrelevanten Klimarahmen- und Biodiversitätskonvention etwa verweisen mit ihren je spezifischen Problemdefinitionen explizit („globales Klimasystem“, „globaler Artenschwund“) auf die internationale Politikebene. Wald wird einem „globalen Problemwissen“ zugeführt. Darüber hinaus werden Themen bestimmten Problemfeldern zugeordnet und damit die relevanten Akteure definiert. Im Gegensatz zu den „neuen“, durch epistemische Gemeinschaften hervorgebrachten und auf der globalen Ebene verorteten Problemfeldern Biodiversität und Klima, findet sich im Politik-

feld Wald keine vergleichsweise wirkmächtige forstliche epistemische Gemeinschaft (DIMITROV 2003). Wald gelangte zwar im Windschatten der Klimadiskussion auf die internationale Agenda, jedoch fanden die zwischenstaatlichen Verhandlungen nicht unter der Ägide des UN-Umweltprogramms statt, sondern wurden maßgeblich von der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) geprägt. Entsprechend wurden die Verhandlungsdelegationen vorwiegend durch die nationalstaatlichen Landwirtschaftsministerien angeführt. Unter diesen Vorzeichen wandten sich auch die Umwelt-NGOs, die im Bereich von Klima und Biodiversität zentrale Akteure waren, zunehmend von der Idee einer eigenständigen Waldkonvention ab, so dass im Bereich des Waldes keine entsprechende epistemische Gemeinschaft entstanden ist. Vermutlich hat sich nicht zuletzt auch aus diesem Grunde kein explizites internationales Regime zum Schutz der Wälder entwickelt.

Auf nationaler Ebene spiegelt sich diese Verschiebung, zumindest in Deutschland, wider. Im Allgemeinen werden Staaten in internationalen Verhandlungen durch Delegationen vertreten, die von den jeweils zuständigen Fachministerien mit ihren unterschiedlichen Ressortinteressen und Fragestellungen, ergänzt durch die diplomatische Expertise der Außenministerien, angeführt werden. Im Falle Deutschlands sind dies in der internationalen Waldpolitik vor allem und zunehmend die nationalen Umweltministerien, die damit zu zentralen Akteuren und neuen potentiellen Abnehmern forstwissenschaftlicher Erkenntnisse werden (Interview BM2, BM3, BM8). Die dem Forstsektor und den Forstwissenschaften traditionell näher stehenden Landwirtschaftsministerien sind dagegen in diesen neuen internationalen walddrelevanten Prozessen kaum vertreten. Wie die Interviews mit politischen Akteuren zeigen, kann für den Fall der Bundesrepublik zudem von einem Auseinanderdriften der forstpolitischen Akteure der Bundesebene, insbesondere des in internationalen Prozessen involvierten BMELV einerseits und den Landesministerien mit ihren Forstverwaltungen andererseits ausgegangen werden. Dies führt zu einer zunehmenden Inkongruenz der Bezugssysteme forstpolitischer Akteure auf Bundes- und Landesebene (vgl. auch: HOFMANN 2002). Mit den ministeriellen Zuständigkeiten verschieben sich auch die Einflussmöglichkeiten nichtstaatlicher Akteure auf die nationalstaatliche Positionsformulierung im Vorfeld von Konferenzen – forstliche Akteure verlieren durch ihre geringeren Zugangschancen zum zunehmend federführenden Umweltministerium relativ zu genuinen Umweltakteuren an Einfluss.

Umwelt-NGOs und andere transnationale Netzwerke versuchen nicht nur Verhandlungspositionen der Staaten im Vorfeld von Konferenzen zu beeinflussen, sondern auch direkten Einfluss auf die Verhandlungen selbst auszuüben; sie werden von politischen Akteuren dabei durchaus als relevante Akteure anerkannt (Interview BM3). Sie treten einerseits als alternative Wissensanbieter gegenüber der Politik auf, stellen aber andererseits auch potentielle Abnehmer forstwissenschaftlicher Erkenntnisse bzw. potentielle Kooperationspartner dar. So besitzen beispielsweise NGOs in einigen internationalen Verhandlungen Rederecht. Wissen und Positionen werden durch Nebenveranstaltungen zu internationalen Konferenzen („side events“) an politische Ent-

scheidungssträger vermittelt und somit politische Überzeugungsarbeit geleistet. Im Kontext internationaler Umwelt-Wald-Verhandlungen treten insbesondere Umwelt- und Menschenrechts-NGOs als Anbieter von Wissen auf; Vertreter des Forst- und Holzsektors sind in diesen Prozessen dagegen ebenso unterrepräsentiert wie die Forstwissenschaften (Interview BM3).

Nichtstaatliche Akteure beschränken sich jedoch nicht allein auf die Beeinflussung internationaler Verhandlungen und staatlicher Verhandlungspositionen, sondern treten zunehmend als eigenständige Normsetzer jenseits zwischenstaatlicher politischer Prozesse, mit anderen Worten als transnationale „private“ Akteure, auf: Als Reaktion auf das Scheitern der zwischenstaatlichen Waldkonvention wurde 1993 der Forest Stewardship Council (FSC) gegründet. Die Initiative zu dieser explizit nichtstaatlichen Institution ging zwar von Umwelt- und Menschenrechts-NGOs, unter anderem WWF, Rainforest Alliance und Greenpeace aus, jedoch fanden sich auch Gewerkschaften sowie einzelne privatwirtschaftliche forstsektorale Akteure als Unterstützer des FSC. Dessen Strategie besteht darin, als private Normsetzungs-Institution einen eigenen Mechanismus zu etablieren, durch den „globale, themenspezifische Normen und Regeln gesetzt und aufrechterhalten werden“ (PATTBERG 2005). Dabei verweisen die „Criteria and Principles“ des FSC auf internationale Konventionen wie die UN-Biodiversitätskonvention (Principle Nr. 1) und nutzen diese als Bezugspunkt ihrer Normsetzung. Die Generalversammlung als höchste Normsetzungsinanz setzt sich aus drei gleich gewichteten Kammern zusammen. Forstliche Akteure sind dabei ebenso wie Umweltakteure und Vertreter sozialer Belange repräsentiert. Diese Form eines Öffnens des bisher geschlossenen forstlichen Wissenssystems führte bei dessen Vertretern interessanterweise jedoch nicht zu einer Neupositionierung in sich verändernde politische und gesellschaftliche Umgebungen. Stattdessen kam es zu der Befürchtung, forstfremde Akteure könnten als „selbsternannte Richter“ in einem Feld agieren, in denen sie über kein adäquates Wissen verfügen (GULBRANDSEN 2004: 92) – und letztlich zur Gründung des PEFC als eigenem, forstsektoralen Zertifizierungssystem.

Ein neues Problemverständnis über den Wald

Die beschriebenen Veränderungen in der Akteurskonstellation zeigen, dass auf inter- und transnationale Ebene ein neues Politikfeld entstanden ist, das sich in zentralen Aspekten von der traditionellen Waldpolitik unterscheidet. Bei der Konstitution dieses Politikfeldes spielten Normen und Prinzipien wie z. B., dass Wald primär als zu bewahrender Teil eines globalen Ökosystems zu beachten oder eine breite gesellschaftliche Partizipation an walddrelevanten Prozessen sicherzustellen sei (vgl. FLITNER & GARRELT 2008) sowie das Aufkommen eines „globalen Walddiskurs“ (KLEINSCHMIT et al. 2007) eine zentrale Rolle; über sie werden Problemdefinitionen, relevante Akteure, Zugangschancen und damit auch Wissensanforderungen definiert. Wald wird in diesen neuen Prozessen vorwiegend als Teil einer globalen Umweltpolitik verstanden. Entsprechend stammen die relevanten Akteure nicht länger vorwiegend (oder sogar ausschließlich) aus dem

forstlichen Wissenssystem: Neben der Umweltadministration werden nichtstaatliche und nicht originär forstliche Akteure wie Zertifizierungsorganisationen und Umwelt-NGOs wirkmächtiger bei der Herstellung von Diskursen. Das Problemverständnis von Wald hat sich entsprechend verschoben: Im Gegensatz zur traditionellen Forstpolitik beruht inter- und transnationale Waldpolitik auf einem „globalisierten“ und an ökologischen Systemen ausgerichteten Waldbild, woraus sich ein Ebenenproblem forstwissenschaftlicher Expertise ergibt (vgl. GEORES 2003): Wald wird in diesem Zusammenhang weniger als nationale oder lokale Ressource verstanden, sondern zunächst als Teil globaler Systeme behandelt. Beispielhaft führte die Erkenntnis, dass rund 25% der globalen CO₂-Emissionen auf die Abholzung von Wäldern zurückzuführen seien dazu, dass Maßnahmen zur „Reduktion von Emissionen aus Entwaldung und Schädigung von Wäldern“ („Reducing Emissions from Deforestation and Degradation“, REDD) Einzug in die internationalen Klimaverhandlungen gehalten haben.

4. Die deutschen Forstwissenschaften und die globale Governance des Waldes⁹

Innerhalb des Systems der Forstwissenschaften ist in den letzten Jahren eine durchaus kritische Diskussion über die Zukunft der Forstwissenschaften entbrannt. Die Möglichkeiten zur Reaktion auf veränderte politische Rahmenbedingungen stellen dabei einen zentralen Diskussionspunkt dar.¹⁰ Allerdings scheint diese Tendenz zur kritischen Hinterfragung der Disziplin und ihrer Entwicklung sich weitestgehend auf den sozial- bzw. politikwissenschaftlichen Arm der Forstwissenschaften zu beschränken – während er in weiten Teilen der „Kerndisziplinen“ bislang auf geringe Resonanz stößt.¹¹ Die von uns verfolgte Argumentation bezieht sich insbesondere auf diejenigen Bereiche der Forstwissenschaften, die sich durch einen Anwendungsbezug auszeichnen und somit „ein wesentliches Charakteristikum des Faches selbst“ (AMMER 2008: 150; vgl. auch: WINKEL & MEMMLER 2008) aufweisen – und wie sie auch im Rahmen des ENFORCHANGE-Projekts vertreten sind.

Die so verstandenen Forstwissenschaften weisen zwar im Verbund mit den traditionellen forstlichen Akteuren zentrale Merkmale (auch transnational agierender) epistemischer Gemeinschaften auf.¹² Gleichzeitig fehlt – wohl aus ihrer disziplinären Genese heraus – die Intention i. S. von ANTONIADES (2003) explizit geäußerte „neue“ politische Projekte aus einer gemeinsamen Überzeugung heraus anzustoßen wie sie die globalen epistemischen Umwelt-Gemeinschaft(en) von Biodiversität und Klima offenbar auszeichnet. Durch ihre, aus der historischen Genese der Disziplin erklärbare institutionelle und affirmative Nähe zum traditionellen Forstsektor – der bei der Herstellung globaler Biodiversität- und Klimadiskussion (und damit mittelbar globaler Waldpolitik) keine signifikante Rolle spielt – scheint es, dass die Forstwissenschaften die Rolle einer solchen epistemischen Gemeinschaft nicht ausfüllen (können).

Das Erkenntnisinteresse der Befragung in den deutschen Forstwissenschaften lag darin, zu ergründen, wie die Wis-

senschaft im Gefüge des globalen Waldregierens verortet ist bzw. sich selbst verortet. Dafür wurde ein anonymisierter Fragebogen entwickelt. Dabei ging es zunächst darum, forstwissenschaftliche Forschung zu charakterisieren (Forschungsagenden) und zu untersuchen, in wie weit sich neue Fragestellungen, die sich aus der Verschiebung des Politikfeldes ergeben, in der forstwissenschaftlichen Forschungsagenda widerspiegeln. Die Wahrnehmung der Verschiebung des Politikfeldes wurde versucht mit der Frage nach den Abnehmern forstwissenschaftlicher Forschungsergebnisse zu erfassen. Weiterhin wurde gefragt, in wie weit die Forstwissenschaften zentrale Merkmale epistemischer Gemeinschaften – interdisziplinäre und transnationale Vernetzung sowie Beteiligung an internationalen Verhandlungen – aufweisen.

Forstwissenschaftliche Agenden und die globale Governance des Waldes

Ein Waldverständnis, das sich am „traditionellen forstlichen Paradigma“ des „lokalen Ressourcenwaldes“ orientiert, hat sich in internationalen Kontexten als problematisch herausgestellt – exemplarisch ablesbar an der gescheiterten Waldkonvention sowie dem blockierten Waldforum der UN. In den deutschen Forstwissenschaften – so das Ergebnis der Befragung – scheint das globale Waldverständnis bislang keine hohe Relevanz zu haben (Abb. 3).



Abb. 3: Welche Aspekte von „Wald“ beeinflussen Ihrer Meinung die Agenda der Forstwissenschaften? (Summen der Nennungen)

Fig. 3: In your opinion which aspects of „forest“ do have an impact on the agenda of forestry science? (Number of responses)

Mit Holzgewinnung und Wald als Energielieferant bestimmen weiterhin Ressourcenaspekte des Waldes die forstwissenschaftliche Forschungsagenda. In der Bewertung folgen die Gefährdung des Waldes durch den Klimawandel, der Waldumbau und die Technisierung der Forstwirtschaft. Mit der Schutz- und Erholungsfunktion sowie dem lokalen Naturschutz schließen sich drei explizit lokale Funktionen des Waldes als Einflussfaktoren auf die forstwissenschaftliche Forschungsagenda an. Damit bestätigt sich zunächst das

traditionelle forstliche Paradigma, das Wald primär als eine Ressource mit lokalen Funktionen ansieht, die durch gezielte menschliche Eingriffe zu erhalten bzw. zu optimieren sei. Forstwissenschaftliche Erkenntnisse lassen sich somit nach wie vor als eine spezifische, anwendungsorientierte Wissensform zum Erhalt und zur Optimierung der (in erster Linie ökonomisch verstandenen) Ressource Wald beschreiben. Eine Durchschau der Forschungsprojekte des BMBF-Förderschwerpunkts „Nachhaltige Waldwirtschaft“ unterstreicht diese Wahrnehmung;¹³ hier stehen spezifische Waldbaustrategien und Verwertungszusammenhänge der Forst- und Holzkette im Mittelpunkt forstwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung. Erkenntnisse, die auf einer solchen Forschungsagenda aufbauen, laufen demnach Gefahr, im trans- und internationalen Prozess der Entstehung neuer „Ideen“ zum Wald (Agenda-setting), in dem „globales Problemwissen“ gefragt ist, als irrelevant wahrgenommen zu werden. Die spezifischen Erkenntnisinteressen forstwissenschaftlicher Forschung scheinen demnach ungeeignet, zu dieser sich „internationalisierenden Problemdefinition“ von Wald beizutragen.

Die Verteilung der Antworten auf die einzelnen Antwortkategorien (Abb. 4) unterstreicht einerseits diesen Befund: Die Holzgewinnung wurde von 81% der Befragten als „wichtig“ oder „sehr wichtig“ und lediglich von 2% als „weniger wichtig“ bewertet – und kann damit als Kernbestandteil forstwissenschaftlicher Forschung angesehen werden. Andererseits zeigt die Gewichtung der im Fragebogen vorgegebenen globalen Aspekte und Funktionen von Wald – Wald als Teil des globalen Ökosystems, Kohlenstoffsequestrierung, Zertifizierung von Forstwirtschaft und Holzprodukten, Erhalt der globalen Biodiversität-, dass rund 40% der Befragten diesen Funktionen jeweils einen „großen“ bis „sehr großen“ Einfluss zuordneten. Diese globalen Aspekte und Funktionen scheinen zumindest von einer Gruppe der deutschen Forstwissenschaftler wahrgenommen zu werden. Ob sich daraus ein Paradigmenwechsel innerhalb forstwissenschaftlicher Forschungsagenden andeutet und globale Wald-Funktionen mittelfristig ebenso zu einem Kernbestand der Forstwissenschaften werden wie bislang die Holzproduktion und Holzsicherung, müsste durch eine mehrjährige Befragungsreihe weiter untersucht werden.

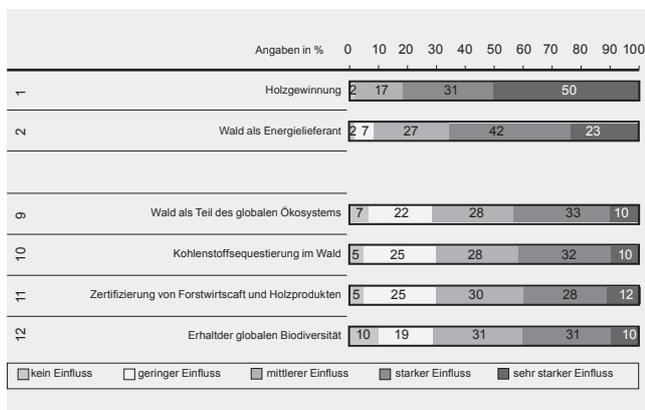


Abb. 4: Welche Aspekte von „Wald“ beeinflussen Ihrer Meinung die Agenda der Forstwissenschaften? (nach Antwortkategorie)

Fig. 4: In your opinion which aspects of “forest” do have an impact on the agenda of forestry science? (categories of answers)

Forstwissenschaften und die Akteure der globalen Wald-Governance

Wie weiter oben beschrieben findet Waldpolitik im Kontext der globalen Wald-Governance in einer Vielzahl unterschiedlicher Foren, Verhandlungen und Prozessen statt. Das Waldforum der Vereinten Nationen (UNFF) sowie die europäische Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe (MCPFE) als Beispiele für diese Prozesse, sind in weiten Teilen der deutschen Forstwissenschaften jedoch unbekannt, so ein weiteres Ergebnis der Studie. Gleichzeitig gab die überwiegende Anzahl der Befragten an, Umweltprozesse der internationalen und der EU-Ebene zu kennen. Dies spricht einerseits für eine wahrgenommene Ineffektivität des Waldforums (und damit geringen Bedeutung für die Forschung), andererseits deutet sich eine allgemein größere Rolle der internationalen Umweltkonventionen an. Angesichts der Verortung im forstlichen Wissenssystem nicht überraschend, waren den wenigsten Forstwissenschaftlern die Novellierungen von Bundes- und Landeswaldgesetzen unbekannt.

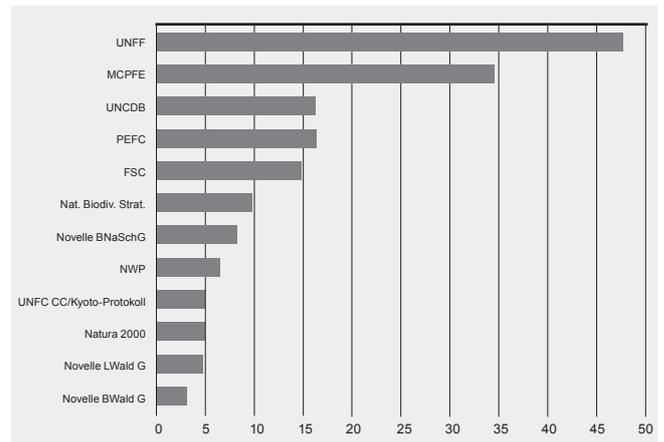


Abb. 5: „Dieser Prozess ist mir unbekannt.“

Fig. 5: “This process is unknown to me.”

Vergleicht man nun die wahrgenommenen Prozesse der inter- und transnationalen Waldpolitik mit der Einschätzung darüber, wie relevant eigene Forschung an welchem Ort ist, relativiert sich das Bild einer zunehmenden Bedeutung internationaler umwelt(wald)politischer Prozesse für die eigene Forschung: Die deutsche Forstwissenschaften vermuten einen hohen Einfluss ihrer Expertise insbesondere in den anwendernahen Bereichen (Abb.6). Die Betrachtung der Antwortkategorien „hoher Einfluss“ und „sehr hoher Einfluss“ zeigt, dass der insgesamt stärkste Einfluss forstwissenschaftlicher Expertise neben dem Bereich der Bundes- und Landeswaldgesetzgebung bei den Zertifizierern PEFC und FSC vermutet wurde, wobei dem PEFC ein deutlich höherer forstwissenschaftlicher Einfluss zugeordnet wird. Darauf folgt mit Natura2000 und der Europäischen FFH-Richtlinie ein weiterer lokal relevanter Prozess – der Bezüge zur Biodiversitätskonvention der UN aufweist. Allerdings wird dieser Konvention selbst interessanterweise der geringste forstwissenschaftliche Einfluss zugeordnet.

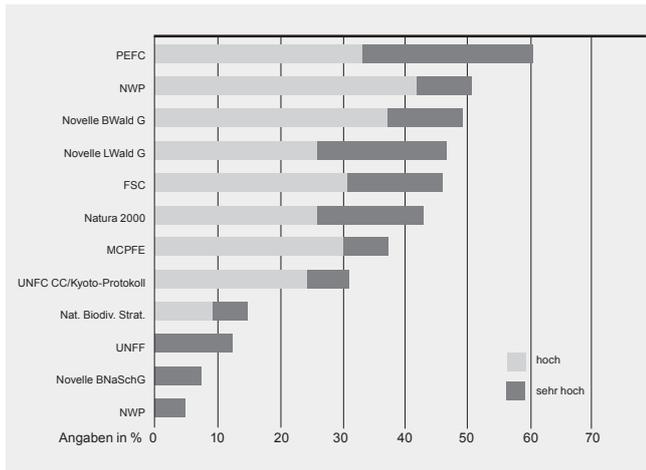


Abb. 6: Wie hoch schätzen Sie den Einfluss forstwissenschaftlicher Expertise auf diese Prozesse ein? (Antworten der Kategorien „hoch“ und „sehr hoch“)

Fig. 6: How do you estimate the extent to which forestry expertise influences these processes? (answers in the categories "high" and "very high")

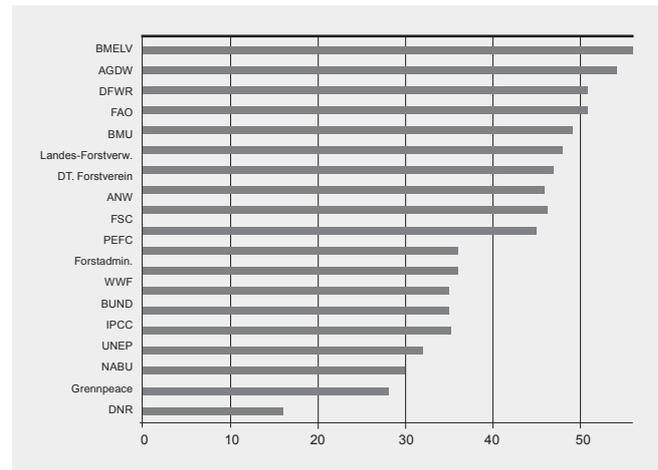


Abb. 8: Wer ist Ihres Wissens Abnehmer forstwissenschaftlicher Expertise?

Fig. 8: According to your experience who are the consumers of forestal expertise?

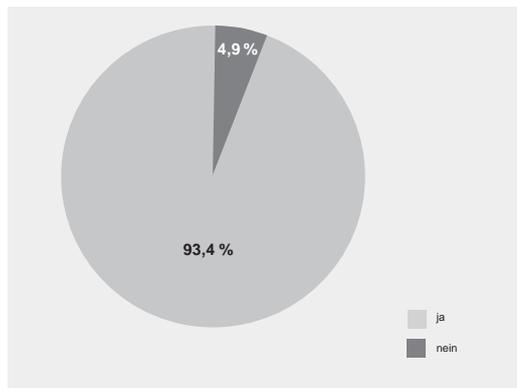


Abb. 7: Unterhalten Sie bzw. Ihre Organisation Kooperationsbeziehungen mit gesellschaftlichen oder staatlichen Akteuren („Anwendern“)?

Fig. 7: Do you respectively your organization maintain relationships of cooperation with societal or governmental actors („user“)?

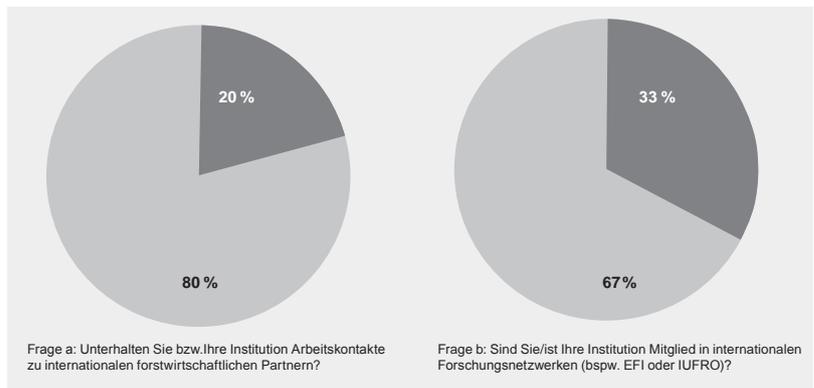


Abb. 9: Internationale und interdisziplinäre Kooperation der Forstwissenschaften.

Fig. 9: International and transnational cooperation within forestry science.

Der Einfluss forstwissenschaftlichen Wissens wird demnach insbesondere in für den Forstsektor umsetzungsrelevanten Prozessen als hoch eingeschätzt. Dieser Fokus der Forstwissenschaften auf konkrete Anwender und anwendungsorientiertes Forschen spiegelt sich auch im hohen Grad ihrer Kooperation mit Anwendern wider (Abb. 7). Die Untersuchung der „globalen Wald-Governance“ hat gezeigt, dass sich der waldpolitische Akteurskreis über das traditionelle, bislang abgeschottete forstliche Akteursfeld ausgedehnt hat. Die Befragung der Forstwissenschaftler über die ihnen bekannten Abnehmer ihrer Forschungsergebnisse ergab jedoch, dass die Zweiteilung im Sinne des forstlichen Wissenssystems, d.h. in forstliche und nichtforstliche Akteure fortbesteht: nationale forstliche Akteure, vor allem BMELV, AGDW, DFWR werden am stärksten als Abnehmer forstwissenschaftlicher Expertise angesehen. An vierter Stelle findet sich mit der FAO eine internationale Organisation, die landwirtschaftlich-forstlich geprägt ist und damit als internationalisierter Bestandteil des forstlichen Wissenssystems aufgefasst werden kann. Mit Ausnahme des Bundesumweltminis-

teriums sowie des Bundesamtes für Naturschutz finden sich damit in der oberen Hälfte ausschließlich forstliche Akteure, während Umwelt-Akteure, insbesondere Umwelt-NGOs und internationale Umwelt-Bürokratien, kaum als Abnehmer forstwissenschaftlicher Expertise wahrgenommen werden.¹⁴

Die Forstwissenschaften als „politischer Akteur“ in der globalen Wald-Governance?

In der politikwissenschaftlichen Forschung wird der „Akteur“ Wissenschaft und werden insgesamt Wissensakteure als epistemische Gemeinschaft bezeichnet, wenn sie zumindest zeitweise als politische Akteure auftreten. Darüber hinaus zeichnet sich eine Wissenschaftsgemeinschaft vor allem auch durch eine trans- und interdisziplinäre Kooperationskultur aus. Zu letzteren Aspekten zeigte die Befragung eine starke Vernetzung der Forstwissenschaften: 80% der Befragten gaben an, Arbeitskontakte mit forstwissenschaftlichen Institutionen im Ausland zu besitzen, 67% gaben an, Mitglied in internationalen Forschungsnetzwerken zu sein. (Abb. 9)

Auch das Merkmal der Interdisziplinarität spiegelt sich in den Ergebnissen wider: 97% der Befragten kooperieren mit Wissenschaftlern anderer Disziplinen, insbesondere mit Umweltwissenschaftlern (66,1%), Biologen (61%) sowie Wirtschaftswissenschaftlern (55,9%). Allerdings bleibt die „politische Arbeit“ jenseits des Staates – das zentrale Merkmal einer epistemischen Gemeinschaft – offenbar marginal. Lediglich 5% der Befragten hatten bereits als Delegationsmitglied oder Beobachter an internationalen (wald)politischen Prozessen teilgenommen, davon 2% als Mitglied einer Verhandlungsdelegation. (Abb. 10).

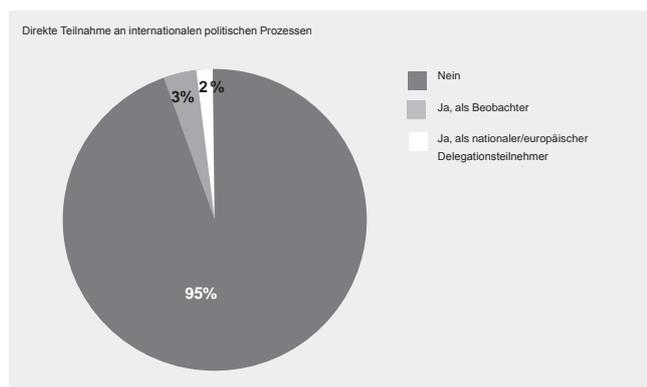


Abb. 10: Teilnahme an internationalen waldpolitischen Verhandlungen.

Fig. 10: Participation in international negotiations in forestal policy.

Darüber hinaus gaben 7% der Befragten an, an der nationalen Positionsformulierung zu internationalen Verhandlungen beteiligt gewesen zu sein. Diese Einschätzung eines relativ geringen Einflusses der Forstwissenschaften wurde in den Interviews mit politischen Entscheidungsträgern weitestgehend bestätigt.¹⁵

Insgesamt hat die Befragung gezeigt, dass die globale Wald-Governance in den deutschen Forstwissenschaften zwar durchaus wahrgenommen wird, sich dies bislang jedoch weder im harten Kern anwendungsorientierter Forschung, d. h. den Forschungsagenden, noch im Abnehmerkreis forstwissenschaftlicher Expertise i. S. einer „politischen Arbeit“ entlang des Konzepts epistemischer Gemeinschaften widerspiegelt. Die Forstwissenschaften scheinen sich weiterhin an den traditionellen Waldfunktionen und damit an forstlichen Akteuren zu orientieren. Dies kann zu weiten Teilen mit der historischen Genese der Forstwissenschaften und des Forstsektors erklärt werden, führt jedoch zu spezifischen Wissensformen, die sich in inter- und transnationalen Prozessen als problematisch erwiesen haben: damit wurden die Forstwissenschaften schon frühzeitig im inter- und transnationalen Kontext marginalisiert (Interview BM3). Erst in den letzten Jahren zeigt sich vereinzelt forstwissenschaftliches (politisches) Engagement in Kontexten jenseits des Staates und jenseits eines engen forstlichen Waldverständnisses.¹⁶ Gleichzeitig weisen die Forstwissenschaften – beispielsweise mit dem European Forest Institute (EFI) oder der International Union of Forest Research Organizations (IUFRO) – eine hohe grenzüberschreitende Vernetzung und damit ein zentrales Merkmal transnational agierender wissenschaftlicher Gemeinschaften auf.

5. Zum Transfer forstwissenschaftlicher Erkenntnisse in die globale Wald-Governance: Einige Thesen

Vor dem Hintergrund der veränderten Rahmenbedingungen einer globalen Wald-Governance (wirkmächtige forstfremde Akteure, primär umweltwaldpolitischer Diskurs) scheint sich ein zunehmender, vor allem auch politischer (relativer) Bedeutungsverlust der Forstwissenschaften abzuzeichnen: Die Forstwissenschaften sind nicht länger die einzige für das Politikfeld Wald zuständige Disziplin, sondern werden zunehmend mit „konkurrierenden“ Wissenschaftsdisziplinen und alternativen Wissenanbietern wie beispielsweise Umwelt-NGOs konfrontiert. Offenbar geht mit der konstatierten Verschiebung des Politikfeldes aber keine signifikante Öffnung des forstlichen Wissenssystems einher. Vielmehr lässt sich in letzter Zeit, u. a. im Zuge wieder ansteigender Holzpreise sowie der zunehmend ökonomischen Ausrichtung vieler Forstverwaltungen, ein Wiederaufleben der ressourcenorientierten Waldpolitik beobachten, so dass eine Dualität der nationalen Forstpolitiken entsteht. Die Hinwendung weiterer Teile der Forstwissenschaften zum „Cluster Forst und Holz“ weist in eine entsprechende Richtung. Dabei werden durch die zunehmende Ausrichtung der forstwissenschaftlichen Forschung an privatwirtschaftlichen Belangen – etwa im Rahmen der Forest Technology Platform – einerseits Forschungsmittel generiert, gleichzeitig werden aber auch Befürchtungen einer zu starken Einengung der Forschungsthemen und neuer Abhängigkeiten der Forstwissenschaften vernehmbar. Entsprechende Befürchtungen werden zwar in der Disziplin – insbesondere aus dem Bereich der Forstpolitikwissenschaft – durchaus geäußert (vgl. WINKEL & MEMMLER 2008), die Resonanz auf diese kritischen Betrachtungen in der Gesamtdisziplin ist allerdings noch nicht abzusehen. Bislang scheint sich eine Öffnung der Forstwissenschaften für inter- und transnationale wald(umwelt)relevante Prozesse und Fragestellungen nur auf einen kleinen Teil der Gesamtdisziplin zu beschränken¹⁷ – wohingegen die verstärkte Hinwendung zum Cluster Forst und Holz eher wie eine Strategie der Abschottung vor den neuartigen, globalen Veränderungen wirkt.

Zugespielt formuliert könnten sich die Forstwissenschaften durch diese Strategie Gestaltungsmöglichkeiten im Politikfeld Wald verbauen, das immer stärker von forstfremden Akteuren bestimmt wird: „konkurrierende“ epistemische Gemeinschaften haben Problemdefinitionen und primäre Handlungsebenen von und über den Wald bestimmt. Aus diesem Problem-„framing“ auf der internationalen Ebene ergibt sich ein Wandel von Akteurskonstellationen im Politikfeld, der zu geringeren Zugangschancen für die Forstwissenschaften geführt hat. Die Forstwissenschaften und das forstliche Wissenssystem sind hier nicht als epistemische Gemeinschaft in Erscheinung getreten, da ihnen im Kontext globalisierter Wald(umwelt)Politik das „politische Projekt“ (purposefulness) fehlt.

Neben dieser Problemdiagnose offenbart die globale Governance des Waldes Ansatzpunkte für die Forstwissenschaften, ihre Erkenntnisse in neue Kontexte einzubringen. Insbesondere im Umweltbereich ist die Effektivität globaler Politik zu weiten Teilen vom Vorhandensein komplementärer „bot-

tom-up“-Institutionen abhängig (YOUNG 1999). Bei der Implementierung internationaler Normen und Regeln gewinnt spezifisches Wissen, beispielsweise über Monitoring (spezifische C-Speicherkapazitäten oder Anpassungsstrategien) demnach an Relevanz (Interview BM1, BM3). Insofern bietet z.B. die Implementierungsphase internationaler Waldpolitik i.S. von „policy windows“ die Gelegenheit, in den „neuen“ Politikprozess einerseits und in die globale(n) ökologische(n) epistemische(n) Gemeinschaft(en) andererseits hinein zu wirken. Mit ihrer hohen internationalen Vernetzung weisen die Forstwissenschaften bereits ein institutionelles Merkmal epistemischer Gemeinschaften auf. Spezifisches Implementierungswissen wird von politischen Entscheidungsträgern insbesondere im Kontext der Entscheidungsfindung, etwa im Vorfeld der Vertragsstaatenkonferenzen (Interview BM 3) sowie im Prozess der Umsetzung internationaler Vereinbarungen (Interview BM1) nachgefragt. Für die Forstwissenschaften als Akteur in der globalen Wald-Governance erscheint es aus diesem Grunde sinnvoll, sich gegenüber nichtforstlichen Akteuren wie Umwelt-Ministerien, NGOs und internationalen Umwelt-Bürokratien zu öffnen. Dies würde möglicherweise jedoch bedeuten, sich aus der symbiotischen und scheinbar exklusiven Beziehung zum Forstsektor zu lösen.

Anmerkungen

- 1 Fragen des Tropenwald-Schutzes wurden bereits seit Mitte der 1980er Jahre auf der internationalen Ebene thematisiert, jedoch bildete sich erst im Kontext der Rio-Konferenz (UNCED) 1992 eine globale Waldpolitik heraus, die sich auch mit borealen Wäldern der gemäßigten Breiten befasste.
- 2 Wir danken Christin Linße für Literatursichtung und Zusammenfassung zu den „epistemischen Gemeinschaften“.
- 3 United Nations Environment Program.
- 4 In den IB wird die Rolle epistemischer Gemeinschaften kritischer gesehen als hier aus Platzgründen verkürzt skizziert. Vor allem die Funktion, als Vermittler, „ehrlicher Makler“ und Ideengeber zwischen divergierenden Politiken zu fungieren, wird zunehmend angezweifelt. Auch ist die Mitgliedschaft in diesen Gemeinschaften unklar. So ist fraglich, ob NGOs Teil von epistemischen Gemeinschaften sind (bzw. sein können) oder zu den Interessengruppen gezählt werden (müssen). Dazu vgl. exemplarisch TOKE (1999), ANTONIADES (2003), DUNLOP (2000). Schließlich ist das analytische Konzept nicht frei von Zweifeln. Ein alternatives Konzept, das die Rolle u.a. von Wissenschaften beschreibt, diese aber stärker in Verbindung zu anderen nichtstaatlichen, genuin politischen Akteuren wie z.B. NGOs bringt, ist das der transnational advocacy networks (KECK/SIKKINK 1998).
- 5 Dieses führte bis 2001 noch die Bezeichnung Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.
- 6 Auf Ebene der Bundesländer findet sich allerdings keine klare Trennung zwischen Umwelt- und Landwirtschaftsressorts, da diese Zuständigkeiten in Landesministerien i.d.R. zusammengefasst sind.
- 7 Dies geschah bemerkenswerterweise im Windschatten der Diskussion um den Klimawandel und wurde von Umweltakteuren der Industriestaaten vorangetrieben (HUMPREYS 1996).
- 8 Für den Klimawandel sei beispielhaft auf die Weltklimakonferenz in Toronto 1988, für die Biodiversität auf das National Forum on BioDiversity 1986 verwiesen.
- 9 Dieser Abschnitt fasst die Ergebnisse einer Befragung der deutschen Forstwissenschaften zusammen. Dazu wurden im Juli 2007 155 Forstwissenschaftler, die zu diesem Zeitpunkt in Projekten des BMBF-Förderschwerpunkts „Nachhaltige Waldwirtschaft“ tätig waren, mit Hilfe eines Fragebogens befragt. Die Rücklaufquote betrug 39,4%. Da in einer Reihe von Fragen die Einschätzung einzelner Forstwissenschaftler erhoben wurde, spiegeln die Ergebnisse nicht zwangsläufig exakt quantifizierbare Daten wider. Vielmehr bilden sie das Selbstbild der Forstwissenschaften ab.
- 10 Vgl. das Sonderheft „Zukunft der Forstwissenschaften“ (Heft 8/9 2008) der Allgemeinen Forst- und Jagdzeitung.
- 11 So der Tenor bspw. auf dem deutschen Forstpolitikertag 2008 in Dresden.
- 12 Als zentrale Merkmale sei hier auf die geteilten normativen und prinzipiengeleiteten Grundlagen (forstliches Paradigma), die gemeinsamen Kausalvorstellungen und Validitätsauffassungen sowie auf die transnationale Vernetzung (Kap. 4.3) der Forstwissenschaften verwiesen.
- 13 Einzusehen unter: <http://nachhaltige-waldwirtschaft.de> [15.07.2008]
- 14 Interessanterweise werden mehr Kooperationen mit der forstfremden Zertifizierungsagentur FSC, als mit der aus dem Wissenssystem Forst entstandenen PEFC angegeben.
- 15 Als einzige Ausnahme wurde von den interviewten politischen Entscheidungsträgern auf ein forstwissenschaftliches Universitätsinstitut verwiesen, das als in internationalen Prozessen aktiv beschrieben wurde.
- 16 Dieses Engagement jedoch stammt bemerkenswerterweise nicht aus dem „Kern“ der Disziplin, den Naturwissenschaften, sondern aus ihrem politikwissenschaftlichen Arm.
- 17 Eine Ausnahme stellt der politikwissenschaftliche Arm der Disziplin dar, in dessen Untersuchungen sich Prozesse der globalen Wald-Governance finden. Inwieweit es dieser Sub-Disziplin gelingt, Diskurse im „Kern“ der Forstwissenschaften zu beeinflussen, kann zu diesem Zeitpunkt noch nicht abgesehen werden.

Literatur

- AMMER, C. (2008): Brauchen wir zum Erhalt der Forstwissenschaften eine wissenschaftstheoretische Debatte? Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 179 (8/9): 149–153.
- ANTONIADES, A. (2003): Epistemic Communities, Epistemes and the Construction of (World) Politics. Global Society 17 (1): 21–38.

- DIMITROV, R. (2003): Knowledge, Power and Interests in Environmental Regime Formation. *International Studies Quarterly* 47: 123–150.
- DIMITROV, R. (2006): Science and International Environmental Policy. Regimes and Nonregimes in Global Governance. Rowman and Littlefield, Lanham (Md. u.a.): 207 S.
- DUNLOP, C. (2000): Epistemic Communities: A Reply to Toke. *Politics* 20 (3): 137–144.
- FLITNER, M., GARRELTZ H. (2008): Die Bedeutung des Ökosystemaren Ansatzes der CBD für den Schutz der Biodiversität in Wäldern. *Natur und Landschaft* 83 (4): 150–153.
- GEORES, M. (2003): The Relationship between Resource Definition and Scale: Considering the Forest. In: Dosak, N., Ostrom E. (Hg.): *The Commons in the New Millennium. Challenges and Adaptation*. MIT Press Cambridge (Mass.) [u.a.]: 77–98.
- GULBRANDSEN, L. (2004): Overlapping Public and Private Governance: Can Forest Certification Fill the Gaps in the Global Forest Regime? *Global Environmental Politics* 4 (2): 75–99.
- GUSTON, D.H. (1999): Between politics and science: Assuring the integrity and productivity of research. Cambridge University Press, Cambridge (Mass.).
- GUSTON, D.H. (2001): Boundary Organizations in Environmental Policy and Science: An introduction. *Science, technology and Human Values* 26: 399–408.
- HAAS, P. M. (1992): Introduction: epistemic communities and international policy coordination. *International Organization* 46 (1): 1–35.
- HOFMANN, F. (2002): Globale Waldpolitik in Deutschland. Eine Untersuchung über die Wirkungen internationaler Regime in föderalen Strukturen. Freiburg im Breisgau. [http://www.freidok.uni-freiburg.de/volltexte/522/pdf/Dissertation_Frank_Hofmann.pdf, letzter Zugriff: 31.7.2007].
- HUMPHREYS, D. (1996): *Forest Politics: The Evolution of International Cooperation*. Earthscan, London.
- KECK, M., SIKKINK, K. (1998): *Activists beyond borders. Transnational Advocacy Networks in International Politics*. Cornell University Press, Ithaca, New York.
- KLEINSCHMIT, D. et al. (2007): Globaler medialer Walddiskurs – Beispiel für eine deliberative Öffentlichkeit? *Politik und Umwelt, Sonderheft Politische Vierteljahresschrift* 39. VS-Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden: 430–451.
- KÜPPERS, G. et al. (1978): *Umweltforschung – die gesteuerte Wissenschaft*. Suhrkamp, Frankfurt/M: 293 S.
- MORISSE-SCHILBACH, M., WERLAND, S. (2009.): Zum Einfluss der Inter- und Transnationalisierung des Politischen auf die Interpretationswelt(en) von Wissenschaft: Das Beispiel Forstwissenschaften. In: Thomas Groh und Jörn Lorenz (Hrsg.): *Interpretatio mundi: Wie deuten die Wissenschaften ihre Welt?* Dresden: TUDpress/Thelem (i. E.).
- MORISSE-SCHILBACH, M., WERLAND, S. (2006): Zum Verhältnis von Forschung und Praxis in den Internationalen Beziehungen. Die Relevanz der IB-Forschung für gesellschaftliche Akteure am Beispiel der internationalen Politik zum Schutz der Wälder (Dresdner Arbeitspapiere Internationale Beziehungen Nr. 16). Dresden: 41 S.
- PATTBERG, P. (2005): What Role for Private Rule-Making in Global Environmental Governance? Analysing the Forest Stewardship Council (FSC), in: *International Environmental Agreements. Politics, Law and Economics* 5 (3): 175–189.
- SUPLIE, J. (1995): Streit auf Noahs Arche. Zur Genese der Biodiversitätskonvention WZB, Forschungsschwerpunkt Technik, Arbeit, Umwelt, Berlin: 88 S.
- TOKE, D. (1999): Epistemic Communities and Environmental Groups. *Politics* 19 (2): 97–102.
- WEINGART, P. (2001): Die Stunde der Wahrheit? Zum Verhältnis von Wissenschaft zu Politik, Wirtschaft und Medien in der Wissensgesellschaft. Vellbrück Wissenschaft, Weilerswist: 397 S.
- WEINGART, P. (2003): *Wissenschaftssoziologie*. Transcript, Bielefeld: 176 S.
- WERLAND, S. (2008): Global Forest Politics – Bringing Forestry Science (Back). *Forest Policy and Economics*, doi:10.1016/j.forpol.2008.07.002.
- WINKEL, G., MEMMLER, M. (2008): Zukunftsfähige Forstwissenschaften? Eine Plädoyer für eine Neuorientierung. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 179 (8/9): 141–148.
- YOUNG, O. (1999): *Governance in World Affairs*. Cornell University Press, Ithaca [u.a.]: 224 S.

Autorenanschriften

Melanie Morisse-Schilbach,
Technische Universität Dresden
Institut für Politikwissenschaft
Lehrstuhl für Internationale Politik
August-Bebel-Straße 19, D-01219 Dresden
Telefon +49 351 463-35803
Email melanie.morisse-schilbach@tu-dresden.de

Stefan Werland
Forschungsstelle für Umweltpolitik(FFU)
Freie Universität Berlin
Inhnestraße 22, D-14195 Berlin
Telefon +49 30 838-54494
Email werland@zedat.fu-berlin.de