



FVA-einblick⁺

1/2008

Wald und Klima



Baden-Württemberg

FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT

FVA-einblick+
1/2008

Wald und Klima

Impressum

ISBN 978-3-933548-96-2

ISSN 1614-7707

Jahrgang 12

Herausgeber

Prof. Konstantin Frhr. von Teuffel,
Direktor der Forstlichen Versuchs-
und Forschungsanstalt Baden-
Württemberg (FVA)

Adresse

Wonnhaldestr. 4
D-79100 Freiburg
Telefon: (07 61) 40 18 – 0
Fax: (07 61) 40 18 – 3 33
fva-bw@forst.bwl.de
www.fva-bw.de

Redaktion

Frank Brodbeck
Steffen Haas
Marco Reimann
Jürgen Schäffer
Thomas Weidner
Diana Weigerstorfer

Aufbereitung der Grafiken

Steffen Haas

Gestaltung

Thomas Weidner
(sowie Fotografie Umschlag, Seite
8, 21 - 23, 26, 54 - 59)

Auflage

2. verbesserte und überarbeitete
Auflage mit 500 Exemplaren

Die Redaktion behält sich das sinn-
währende Bearbeiten vor. Die Bei-
träge müssen nicht die Meinung
des Herausgebers wiedergeben.

Freiburg i. Brsg., Juli 2008

Vorwort



Liebe Leserinnen und Leser,

die Verunsicherungen in unserer Gesellschaft im Hinblick auf die weitere Klimaentwicklung mit ihren Auswirkungen ist groß. Spätestens seit der Veröffentlichung des vierten Sachstandsberichtes des UN-Umweltrates IPCC im Jahr 2007 gibt es die Gewissheit, dass die Jahresdurchschnittstemperaturen auch in den nächsten Jahrzehnten ansteigen werden. Allein dieses Prognoseergebnis, wengleich die verschiedenen Szenarien noch in einem weiten Temperaturrahmen von vergleichsweise optimistischen 1,1°C bis hin zu einer mittleren Erwärmung um 6,4°C im Extremfall streuen, macht deutlich, dass wir in jedem Fall mit Veränderungen beziehungsweise Anpassungsprozessen rechnen müssen.

Es muss festgestellt werden, dass der Einfluss des Menschen auf diese Entwicklung des Klimas ein wissenschaftlicher Fakt ist. Daher kann nur durch eine konsequente Klimapolitik die Erderwärmung langfristig abgebremst werden. Die dringend erforderliche Kehrtwende in der Klimapolitik kann nur bei stringentem, weltweit abgestimmten politischen Handeln gelingen. Aber auch die Klimapolitik in Baden-Württemberg muss sich dieser Herausforderung stellen und zu Lösungen beitragen.

Der Klimawandel wird auch für unsere naturnahe Waldwirtschaft und die Waldökosysteme in Baden-Württemberg Auswirkungen haben. Wälder können sich nur relativ langsam an Veränderungen ihrer Umweltbedingungen anpassen. Ein Baumleben umfasst mehrere menschliche Generationen, die Anpassungsfähigkeit geht mit zunehmendem Alter zurück. Auch Verschiebungen ganzer Waldökosysteme mit der klimatischen Entwicklung – zum Beispiel nach Norden oder in höhere Bergregionen – vollziehen sich langsam.

Kein Wunder, dass die Förster im Lande die aktuellen Klimaprognosen mit großer Sorge beobachten. Weiter ansteigende Temperaturen, sinkende Niederschläge in der Vegetationszeit, die Zunahme katastrophaler Extremereignisse, wie Orkane oder Dürreperioden, und ein höherer Druck durch Schädlinge werden sich gravierend auf unsere Wälder auswirken. Betroffen sind in Baden-Württemberg 1,36 Mio. Hektar Waldfläche (38 Prozent der Landesfläche) und rund 230.000 Waldbesitzer. Betroffen ist ferner das gesamte Cluster „Forst und Holz“. In Baden-Württemberg werden in diesem Cluster rund 5,3 % des Bruttoinlandproduktes pro Jahr umgesetzt und rund 140.000 Menschen finden hier Beschäftigung. Betroffen ist aber auch die gesamte Bevölkerung. Intakter Wald ist Daseinsvorsorge. Nur gesunde Wälder mit einem ausreichenden Anpassungsvermögen gewährleisten die vielfältigen Waldfunktionen.

Viele für forstpolitische Entscheidungen notwendige Informationen zum Klimawandel sind leider noch nicht ausreichend abgesichert oder überhaupt verfügbar. Die Wissenschaft ist hier gefordert. An der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA) in Freiburg wurde inzwischen ein interdisziplinäres Schwerpunkt-Forschungsprojekt auf den Weg gebracht, das innerhalb eines Zeithorizonts von drei Jahren Antworten auf einige dieser Fragen liefern soll. Zusätzlich werden eine Reihe von Fachfortbildungen zu ersten Ergebnissen aus der Klimafolgenforschung für Praktiker durchgeführt. Mit dem vorliegenden Kompendium stellt die FVA den bisherigen Stand des Wissens vor.

Wie wird das Klima in Baden-Württemberg zum Beispiel in fünfzig Jahren sein, auf welchen Waldstandorten haben wir dann zukünftig mit einem für uns ungewohnten, höheren Trockenheitsrisiko zu rechnen, können sich unsere Baumarten ausreichend an die veränderten Bedingungen anpassen oder müssen wir andere Herkünfte, andere Baumarten als bisher stärker in Betracht ziehen? Wie sieht ein gezieltes Risikomanagement gegen neue biotische und abiotische Gefahren für den Wald aus? Diese und andere wichtige Fragen sind nicht aus dem Stegreif zu beantworten. Den Abgesang auf einzelne Baumarten, zum Beispiel der Fichte anzustimmen, oder eine pauschale Reduzierung der Holzvorräte zu fordern, dafür ist es noch zu früh.

Nicht unterschätzen sollte man auch die politische Positionierung der Waldwirtschaft in Bezug auf die Kohlendioxid-Senkenfunktion von nachhaltig bewirtschaftetem Wald und den daraus gewonnenen Holzprodukten oder beim Thema Bioenergie.

Bei allen Chancen und Risiken, Ängsten und Unsicherheiten, die sich mit dem Thema Klimawandel verbinden, scheint es auch eine neue gesellschaftliche Wertschätzung des Waldes, der Waldbesitzer und der Menschen, die im und für den Wald arbeiten, zu geben.

Stuttgart, im März 2008



Peter Hauk MdL
Minister für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg

Autoren

Dr. Petra Adler, FVA, Abt. Forstökonomie

Axel Albrecht, FVA, Abt. Waldwachstum

Jürgen Bayer †, FVA, Abt. Biometrie und Informatik, Leiter des GIS-Bereichs

Dr. Bernhard Bösch, FVA, Abt. Biometrie und Informatik

Veronika Braunisch, FVA, Abt. Wald und Gesellschaft

Dr. Frank Brodbeck, FVA, Abt. Waldnutzung

Dr. Horst Delb, FVA, Abt. Waldschutz

Helge von Gilsa, Ministerium Ländlicher Raum, Referat für Waldbau, Forsteinrichtung, Waldschutz und Jagd (55), Referatsleiter

Karin Grebhan, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Meteorologisches Institut

Prof. Dr. Marc Hanewinkel, FVA, Abt. Biometrie und Informatik

Dr. Christoph Hartebrod, FVA, Abt. Forstökonomie, Abteilungsleiter

Dr. Sebastian Hein, FVA, Abt. Waldwachstum

Dr. Gerald Kändler, FVA, Abt. Biometrie & Informatik, Abteilungsleiter

PD Dr. Ulrich Kohnle, FVA, Abt. Waldwachstum, Abteilungsleiter

Prof. Dr. Christoph Kottmeier, TH Karlsruhe, Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK), Institutsleiter, sowie Süddeutsches Klimabüro, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Prof. Dr. Helmut Mayer, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Meteorologisches Institut, Institutsleiter

Dr. Hans-Gerd Michiels, FVA, Abt. Waldökologie

Dr. Yvonne Morgenstern, FVA, Abt. Boden und Umwelt

Dr. Ralf Petercord, FVA, Abt. Waldschutz

Dr. Heike Puhmann, FVA, Abt. Boden und Umwelt

Dr. Dirk Schindler, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Meteorologisches Institut

Dr. Matthias Schmidt, Nordwestdeutsche FVA, Sachgebiet Informatik & Wachstumsmodellierung

Dr. Hansjochen Schröter, FVA, Abt. Waldschutz, Abteilungsleiter

Holger Veit, FVA, Abt. Waldschutz

Dr. Klaus von Wilpert, FVA, Abt. Boden und Umwelt, Abteilungsleiter

Inhalt

Klimaentwicklung erkennen

- Vom 4. IPCC-Sachstandsbericht zu regionalen Aussagen für Baden-Württemberg
von *Christoph Kottmeier* 6
- KLARA, KLIWA, WETTREG - Klimaszenarien und ihre Auswirkung auf Baden-Württemberg
von *Bernhard Bösch und Petra Adler* 12

Sturmrisiko besser verstehen

- Risiko und Klimawandel
von *Marc Hanewinkel* 16
- Klimawandel und Stürme über Europa – eine Literaturübersicht
von *Axel Albrecht, Dirk Schindler, Karin Grebhan, Ulrich Kohnle und Helmut Mayer* 20
- Ein einzelbaumspezifisches Sturmschadensmodell: Grundlagen, Ergebnisse, Anwendung
von *Ulrich Kohnle, Matthias Schmidt, Jürgen Bayer † und Gerald Kändler* 24

Folgegefahren abschätzen lernen

- Trockenstressrisiko für die Waldbestände in Baden-Württemberg
von *Heike Puhmann, Yvonne Morgenstern und Klaus von Wilpert* 28
- Forstinsekten im Klimawandel – alte Bekannte mit neuem Potenzial?
von *Ralf Petercord, Holger Veit, Horst Delb und Hansjochen Schröter* 36
- Potenzielle Auswirkungen des Klimawandels auf boreal-montane Vogelarten
von *Veronika Braunisch* 40

Waldbau überdenken und anpassen

- Waldbau und Klima – was tun?
von *Helge von Gilsa* 44
- Dynamisierte Einstufung der Baumarteneignung als Grundlage für die waldbauliche Planung
von *Hans-Gerd Michiels* 46
- Waldbauliche Handlungsmöglichkeiten angesichts des Klimawandels
von *Ulrich Kohnle, Sebastian Hein, und Hans-Gerd Michiels* 52

Zur Abmilderung beitragen

- Die Rolle des Waldes im CO₂-Haushalt des Landes Baden-Württemberg
von *Christoph Hartebrodt* 56
- Abmilderung des Klimawandels durch Forstwirtschaft? Nutzung von Bioenergie in Baden-Württemberg
von *Frank Brodbeck* 60

Vom 4. IPCC-Sachstandsbericht zu regionalen Aussagen für Baden-Württemberg

von Christoph Kottmeier

Der 4. Sachstandsbericht AR4 (Assessment Report) des International Panel for Climate Change (IPCC) hat 2007 mit eindringlichen Aussagen das Problem der Klimaveränderung bewusst gemacht und Aufsehen in Politik und Gesellschaft hervorgerufen. Der IPCC analysiert und bewertet die wissenschaftliche Literatur bezüglich der physikalischen Grundlagen der Klimaveränderung (IPCC 2007a), der Klimaauswirkungen, Anpassung und

Verletzlichkeit (IPCC 2007b) und der Minderungs- und Dämpfungsstrategien des Klimawandels (IPCC 2007c).

Der Kenntnisstand zum Klimawandel seit dem 3. Sachstandsbericht 2001 (TAR) hat sich beträchtlich verbessert und führt zu der sehr wahrscheinlichen („very high confidence“) Schlussfolgerung, dass seit 1750 die menschlichen Aktivitäten eine globale Erwärmung bewirkt haben, die durch den zusätzlichen

sogenannten Strahlungsantrieb von +1,6 Watt pro Quadratmeter (W/m^2) mit einem Unsicherheitsbereich von +0,6 bis +2,4 W/m^2 dargestellt werden kann. Der Strahlungsantrieb ist ein durch Modelle berechenbares Maß für die Klimaänderung, das sinnvoll die Erwärmung in der unteren Atmosphäre und an der Erdoberfläche sowie die Abkühlung in der Stratosphäre oberhalb von ca. 12 km Höhe kennzeichnet.

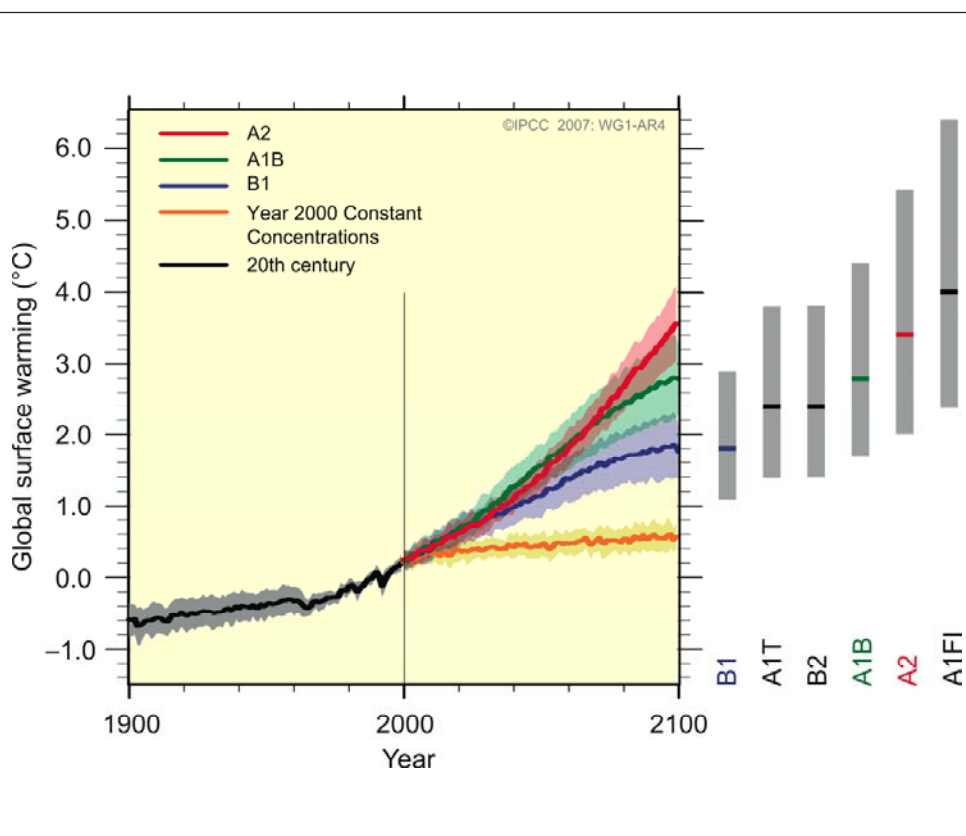


Abb. 1: Entwicklungen globaler Temperaturen in Bodennähe (ausgezogene Linien) als Mittel über alle Klimamodelle für die Emissionsszenarien A2, A1B und B1 relativ zum Zeitraum 1980–1999. Die Streubereiche zeigen die ± 1 Standardabweichung der IPCC-Modelle für Jahresmittelwerte. Die Linie in Orange zeigt das Ergebnis für festgehaltene Konzentrationen auf dem Stand von 2000. Die grauen Balken rechts zeigen das wahrscheinlichste Ergebnis für das Jahr 2100 und Streubereiche unter Einbeziehung weiterer Modelle und Annahmen. (IPCC 2007d)

Treibhausgase, Aerosole und die Sonnenstrahlung

Wesentlich für die Temperaturzunahme verantwortlich sind die sogenannten Treibhausgase, vor allem Kohlendioxid (Anstieg von 290 ppm vor der Industrialisierung auf über 370 ppm heute), Methan und Distickoxid, die allein sogar einen Strahlungsantrieb von +2,3 W/m^2 bewirkt haben sollen. Die ebenfalls veränderlichen Schwebeteilchen in der Atmosphäre haben offensichtlich dämpfend gewirkt und zwar über ihre direkte Strahlungswirkung ($-0,5 W/m^2$) und Einflüsse auf die Wolkenbedeckung ($-0,7 W/m^2$). Die Wirkung der Aerosole gehört nach wie vor zu den nicht sicher bestimmbareren Effekten. Neben den Treibhausgasen tragen beispielsweise auch Änderungen der Sonnenstrahlung und vulkanogene Aerosole zu natürlichen Klimaänderungen bei und können die zukünftige Klimaentwicklung beeinflussen.

Klimaszenarien

Die Szenarienrechnungen für das zukünftige Klima sind nicht als Vorhersagen aufzufassen, wie sie täglich für das Wetter möglich sind, sondern beschreiben wahrscheinliche Zustände des Klimasystems (Atmosphäre, Ozean, Eis,

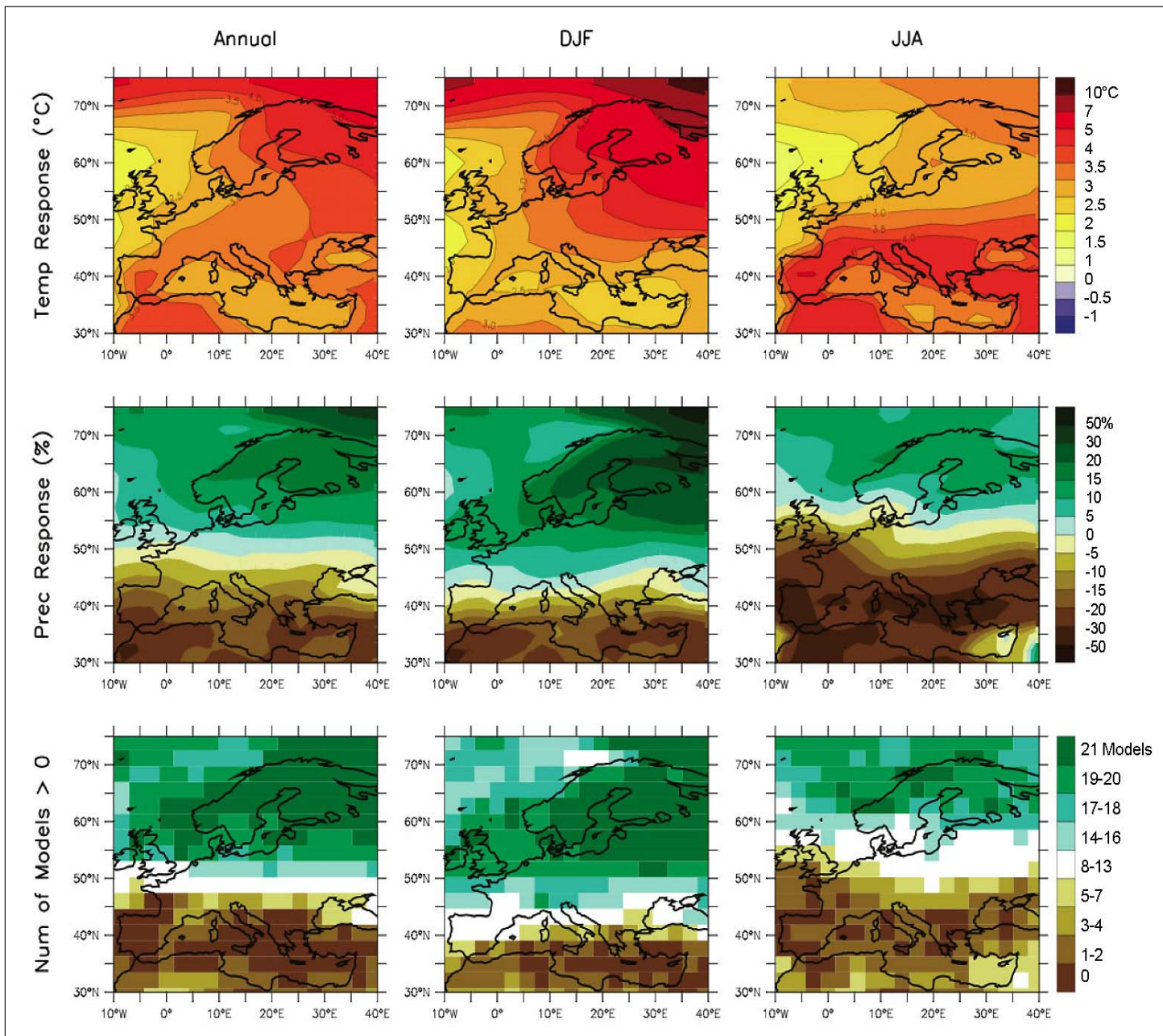


Abb. 2: Temperatur- und Niederschlagsänderungen der MMD-A1B Simulationen in Europa.
Obere Reihe: Jahresmittel, Dezember-Februar und Juni-August-Mittel der Temperatur als Differenz zwischen 1980 bis 1999 und 2080 bis 2099, als Mittel über 21 Modelle.
Mittlere Reihe: wie Temperatur, aber relative Niederschlagsänderung.
Untere Reihe: Anzahl der Modelle mit Zunahme des Niederschlags.

Boden, Vegetation) unter geänderten Randbedingungen, insbesondere der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre. Solche Klimamodelle beinhalten ebenfalls wetterähnliche Abläufe, also z. B. wandernde Hoch- und Tiefdruckgebiete, können aber nur statistisch über die Mittelwerte und Schwankungsmaße für Zeiträume von Jahrzehnten interpretiert werden. Eine Unterscheidung zwischen z. B. 2040 und 2045 ist dabei nicht möglich und Kurven der zeitlichen Entwicklungen repräsentieren gleitende Mittelwerte über mindestens 20 Jahre.

IPCC-Ergebnisse globaler Modelle

Die einzige physikalisch basierte Darstellung zukünftiger Klimaentwicklungen auf der globalen und der regionalen Skala ist durch Klimamodelle gegeben. Die Aussagen im AR4 des IPCC beruhen zu einem großen Teil auf Szenarienrechnungen mit globalen Klimamodellen, die weltweit an verschiedenen Forschungszentren entwickelt worden sind. Solche globale Modelle werden ständig verfeinert, wobei derzeit eine Maschenweite



von ca. 110 km wegen des großen Rechenaufwandes nicht unterschritten wird. Damit wird ganz Deutschland nur durch wenige Gitterzellen abgedeckt und es können nur generelle Entwicklungen beschrieben werden, während vielfältige Details nicht scharf dargestellt werden. Im Folgenden werden die Entwicklungen einiger wichtiger Klimavariablen wie Temperatur und Niederschlag gezeigt.

Die Szenarienrechnungen (Abb.1) geben einheitlich eine globale Erwärmung wieder, die bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts noch relativ langsam um insgesamt 1,4 °C (im Mittel der Modelle) erfolgt und danach bis zum Ende des Jahrhunderts je nach Emissionsszenario intensiviert wird oder abflacht. Die Ergebnisse schwanken dann mehr und mehr auch zwischen den Modellen (Abb. 1, Streubalken rechts) bei gleichen Emissionsannahmen.

Vom IPCC wurden verschiedene Familien von Emissionsszenarien entwickelt (IPCC Special Report On Emission Scenarios, SRES), die charakteristische Entwicklungen beschreiben:

A1: Die A1-Szenariofamilie beschreibt Emissionen in einer zukünftigen Welt raschen ökonomischen Wachstums, mit einer wachsenden Weltbevölkerung bis 2050 und leichter Abnahme danach, sowie einer schnellen Einführung neuer und emissionseffizienter Technologien. Aus der weiteren Untergliederung nach zukünftiger Energieerzeugung wird oft das Szenario A1B verwendet, das eine Mischung zwischen der Nutzung fossiler Brennstoffe und regenerativer Energie beschreibt.

A2: Das A2-Szenario beschreibt eine sehr heterogene Welt, mit kontinuierlich wachsender Bevölkerung und regional differenzierter ökonomischer Entwicklung.

B1: Die Annahmen gelten für eine konvergierende Welt mit Bevölkerungswachstum ähnlich wie in A1, aber mit raschen Veränderungen innerhalb der ökonomischen Strukturen hin zu einer Dienstleistungs- und Informationsökonomie, die weniger Rohstoffe benötigt und saubere und effiziente Technologien verbindet.

B2: Die B2 Szenariofamilie gilt für eine Welt mit überwiegend lokalen Lösungen der ökonomischen, sozialen und umweltbezogenen Probleme bei langsamerem Bevölkerungswachstum als bei A2, mittlerem Wirtschaftswachstum und differenzierten technologischen Lösungen.

Globale Prognose

Die SRES-Szenarien berücksichtigen keine besonderen Klimaschutzmaßnahmen, wie sie von den Vereinten Nationen in der Rahmenvereinbarung zum Klimawandel oder im Kyoto Protokoll vorgeschlagen wurden.

Die globalen Temperaturverteilungen zeigen nach den Modellergebnissen bis 2100 besonders starke Erwärmung um 6-8 °C in der Arktis und geringere Erwärmung von 1-2 °C in den Tropen. Die Atmosphäre über den Kontinenten erwärmt sich mehr als über den Ozeanen.

Die Niederschläge werden globalen Modellen zufolge wahrscheinlich in mitt-

leren bis hohen nördlichen Breiten zunehmen. In den meisten Gebieten werden Niederschlagsschwankungen sehr wahrscheinlich größer. Die Schnee- und Meereisbedeckung auf der Nordhemisphäre wird weiter abnehmen.

Regionale Ausschnitte aus globalen Modellen

Im vierten IPCC-Bericht wird auch auf regionale Ausschnitte globaler Modelle eingegangen, die beim sogenannten MMD-Datensatz (Multi Model Data) 21 Modelle für das häufig zugrunde gelegte Szenario A1B umfassen.

Die Temperatur- und Niederschlagsänderungen im Mittel der Modelle werden für Europa in Abbildung 2 gezeigt. Die stärkste Temperaturzunahme mit mehr als 6 °C findet im Winter im nördlichen Atlantik, in Skandinavien und Osteuropa statt. Im Sommer tritt die größte Erwärmung mit bis 4 °C in den Ländern um das Mittelmeer herum auf.

Eine Niederschlagszunahme um bis zu 30 % ergibt sich im Winter in ganz Nord- und Mitteleuropa bis zu den Pyrenäen und Alpen bei 45 °N, im Sommer in Nordeuropa bis etwa 55 °N. Hierdurch ergibt sich für Deutschland eine sommerliche Abnahme und eine winterliche Zunahme des Niederschlags. Die Unterschiede zwischen den Modellen sind in diesem Übergangsbereich groß und einige Modelle zeigen sogar einen entgegengesetzten Trend. Die Aussagen sind dabei in Mitteleuropa unsicherer als im Mittelmeerraum und Skandinavien.

Regionale Klimamodelle

Da die globalen Klimamodelle mit ihrer groben Maschenweite die tatsächlichen Vorgänge in der Atmosphäre wenig detailliert wiedergeben, werden seit einigen Jahren zunehmend auch regionale Klimamodelle entwickelt und eingesetzt. Hierbei wird bisher mit einem verfeinerten Gitter von ca. 50 km Maschenweite ein Teilgebiet eines globalen Modells dargestellt. Aus vielen Messungen ist bekannt, dass die Temperatur- und Niederschlags-

verhältnisse regional stark schwanken. Beispielsweise finden sich im süddeutschen Mittelgebirgsraum zwischen Hochlagen des Schwarzwaldes und dem Rheintal Unterschiede des Jahresniederschlags zwischen 600 mm und 1800 mm. Durch regionale Klimamodelle werden Einflüsse von Gebirgen, unterschiedlichen Böden und Landnutzungen realistischer als in globalen Modellen berücksichtigt. Die Ergebnisse werden aber auch deutlich durch die immer benötigten Randwerte des antreibenden globalen Modells geprägt. Sind die Variablen globaler Modelle unsicher, wie es für alle Größen des Wasserkreislaufs gilt, so werden diese Fehler in Regionalmodellen nicht kompensiert. Das von der Europäischen Union geförderte Programm PRUDENCE (Christensen et al. 2007b) hatte das Ziel, mit Regionalmodellen die Klimaentwicklung in Europa zu untersuchen. Die Auflösung lag bei ca. 50 km.

Wie bei den globalen Modellen zeigt sich auch hier im Winter eine zunehmende Häufigkeit von Regentagen und mittlerer Winterniederschläge. Nahezu alle Modelle zeigen Schwankungsbereiche mit positiven Werten, so dass der Befund

sehr wahrscheinlich ist. Der mittlere Niederschlag an Regentagen und sein 90 %-Perzentilwert sind ebenfalls überwiegend größer als im Vergleichszeitraum. Die Starkniederschläge, ausgedrückt über die 5- und 50-Jahre Wiederkehrperioden eintägigen Regens und fünftägiger Regenperioden, ändern sich dagegen im Winter uneinheitlich, mit leichter Tendenz zu zunehmender Häufigkeit (Abb. 3).

Im Sommer dagegen nimmt die Häufigkeit von Regentagen und der mittlere Sommerniederschläge bei allen Modellen, im Mittel um 15 bis 40 %, deutlich ab. Der mittlere Niederschlag an Regentagen und sein 90 %-Perzentilwert sind deutlich positiv. Das heißt, dass die selteneren Regenereignisse intensiver sein dürften. Dies zeigt sich auch bei den 5- und 50-Jahre Wiederkehrperioden eintägigen Regens und fünftägiger Regenperioden, die mit Ausnahme der Hadley-Center-Modelle deutlich zunehmen.

Regionalmodelle

Auch bei 50 km Auflösung wie beim PRUDENCE-Programm werden viele

Vorgänge in der Atmosphäre noch grob vereinfachend dargestellt. Wichtige Prozesse wie etwa die Wolken- und Niederschlagsbildung, die Strahlungswirkung von Gasen und Aerosolen, die Austauschvorgänge an der Erdoberfläche und die Windsysteme in bergigem Gelände werden durch lokale Einflüsse geprägt (Kunz und Kottmeier 2005), so dass eine weiter verbesserte Auflösung angestrebt wird. Langfristige Simulationen des Jetzklimas (letzte 30 Jahre) und Szenarienrechnungen bis zum Jahr 2100 liegen bereits mit 10 km Auflösung vom Modellsystem REMO und mit 18 km Auflösung durch Rechnungen mit CLM-CR vor. Über die Ergebnisse der REMO-Simulationen und statistischer Klimamodellierung im Programm KLWA wird gesondert in diesem Heft berichtet. Das 2007 anlaufende Forschungsprogramm „Herausforderung Klimawandel“ des Landes Baden-Württemberg hat es sich zum Ziel gesetzt, die regionalen Klimaänderungen mit besonderem Schwerpunkt der Änderungen des Niederschlags in kleinen und mittleren Einzugsgebieten, der Sturmhäufigkeit und die Klimaentwicklung der nächsten Zeit bis 2020 detailliert zu un-

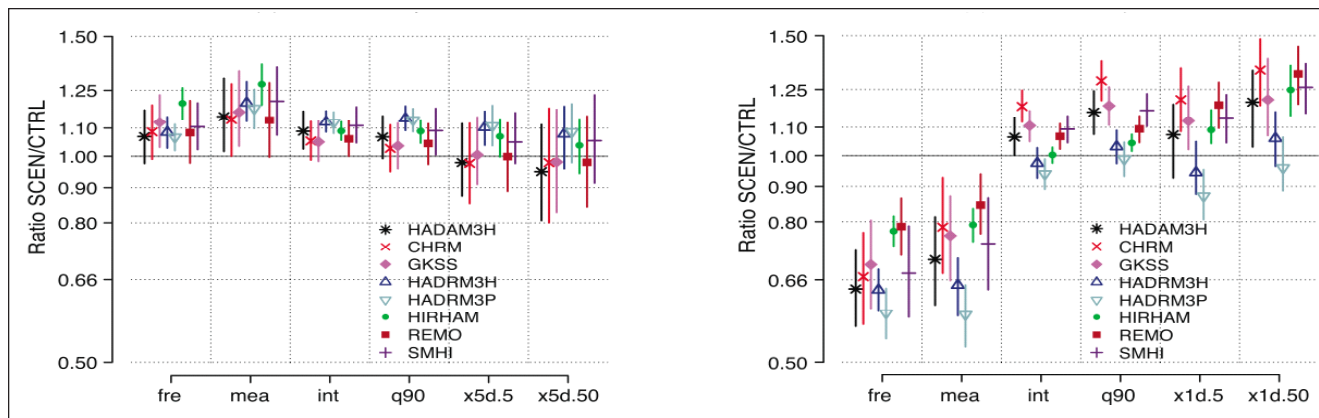


Abb. 3: Änderungen des flächengemittelten Niederschlags (Verhältnis 2071–2100 zu 1961–1990 für A2 Emissionszenario) der PRUDENCE-Simulationen in Mitteleuropa (5°E–15°E, 48°N–54°N) im Winter (Dez. - Feb., oben) und im Sommer (Juni - Aug., unten). fre = Häufigkeit von Regentagen; mea = mittl. 3-Monatsniederschlag; int = mittl. Niederschlag an Regentagen; q90 = 90 % Perzentil von int; x1d.5 und x1d.50 = 5- u. 50-Jahre Wiederkehrperiode eintägigen Regens; x5d.5 und x5d.50 = 5- u. 50-Jahre Wiederkehrperiode fünftägiger Regenperioden. Für jedes der acht Modelle sind die Fehlerbalken des 95% Konfidenzintervalls aufgrund Stichprobenunsicherheit angegeben (nach Frei et al., 2006). Modelle sind das Hadley Centre Atmospheric Model (HadAM3H), das Climate High Resolution Model (CHRM), die Klimaversion des 'Lokalmodells' (CLM; heute COSMO-CLM), das Hadley Centre Regional Model (HadRM3H und HadRM3P), die Kombination des High-Resolution Limited Area Model (HIRLAM) und des ECHAM4-GCM (HIRHAM), das Regionalmodell REMO, und das Rossby Centre Regional Atmosphere-Ocean model (RCOA). (Christensen et al. 2007b)

tersuchen, um daraus auf die Veränderung in der Biosphäre, von Hochwasserereignissen und von Infektionskrankheiten schließen zu können. Hierzu werden am Institut des Verfassers Regionalmodelle mehrfach genestet betrieben, um von der globalen Skala in mehreren Schritten auf kleine Gebiete skalieren zu können. Dabei wird eine Auflösung bis zu einem oder wenigen Kilometern angestrebt.

Im Folgenden wird an zwei Beispielen dargestellt, welche Detailschärfe von solchen Simulationen zu erwarten ist.

Modellvergleiche Niederschlag

Im Forschungsprogramm „Herausforderung Klimawandel“ des Landes Baden-Württemberg steht zunächst die Modellvalidierung für den Zeitraum bekannten Klimas (1971 – 2000) im Vordergrund, bevor hochauflösende Szenarierechnungen für die Zukunft durchgeführt werden. Mit der Validierung anhand von Messdaten wird beabsichtigt, Modelldefizite zu erkennen und, falls möglich, zu beheben.

Ein Beispiel für solche Vergleiche ist der Jahresgang des mittleren monatlichen Niederschlags in Abbildung 4 (Feldmann et al. 2008) dargestellt. Es zeigt sich, dass in den Wintermonaten vor allem das

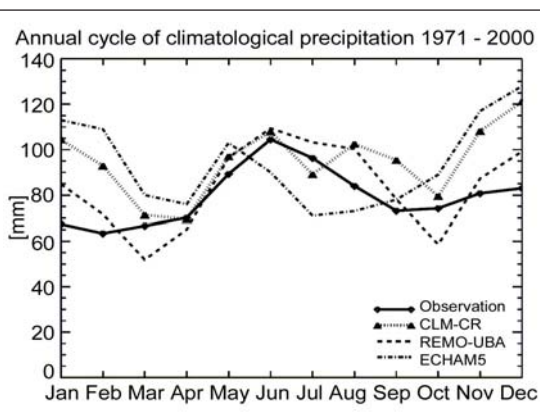


Abb. 4: Jahresgang des mittleren monatlichen Niederschlags in Südwest-Deutschland (1971-2000). Ausgezogene Kurve: Beobachtungen; Unterbrochene Linien: CLM, REMO und ECHAM5. (Feldmann et al. 2008)

globale Modell ECHAM 5, aber auch die Regionalmodelle REMO-UBA (nur im Dezember und Januar, 10 km Auflösung) und CLM-CR (18 km) den beobachteten Niederschlag (Schwarb et al. 2001) deutlich überschätzen. Sie bewirken eine Korrektur in der richtigen Richtung, fallen aber insgesamt zu gering aus. Offensichtlich sind hierfür Schwächen des antreibenden Globalmodells verantwortlich. In den Sommermonaten ist die Übereinstimmung der Regionalmodelle mit den Messungen deutlich besser und beide Regionalmodelle korrigieren den zu geringen Sommerniederschlag des Globalmodells sinnvoll.

Sturmsimulationen

Vor allem Sturmzyklonen mit extremen Windgeschwindigkeiten und Niederschlägen sind nach den Daten einer großen Gebäudeversicherungsgesellschaft im Land Baden-Württemberg für 62 % der wetterbedingten Schäden verantwortlich. Sie entstehen im Regelfall bereits über dem Atlantik und erreichen von Westen kommend Mitteleuropa. Für das Simulationsgebiet regionaler Klimamodelle bedeutet das, dass solche Sturmzyklonen über die Randwerte in das Modellgebiet hineinwandern. Die Fähigkeit des globalen Modells, solche großräumigen Tiefdruckgebiete entstehen und sich entwickeln zu lassen, bestimmt die Häufigkeit und Intensität von Winterstürmen auch im Regionalmodell. Kleinräumiges Extremwetter, vor allem durch konvektive Wettersysteme, muss dagegen durch regionale Modelle im Inneren des Modellgebiets realistisch ausgelöst werden.

Auch für die größeren Tiefdruckgebiete zeigt sich der Vorteil der Regionalisierung (Abb. 5) deutlich. Die Mittelgebirge zeichnen sich aufgrund der Geschwindigkeitsverstärkung bei der Bergüberströmung deutlich ab. Die Geschwindigkeiten können dadurch in den Hochlagen orkanartig werden und um das Dreifache höher als in Tallagen ausfallen.

Eine Zunahme der Sturmhäufigkeit zeichnet sich globalen Modellen zufolge besonders in Nordeuropa einschließlich

der deutschen Küstenregionen ab. Der im Sommer bereits jetzt schwachwindige Mittelmeerraum wird demnach auch im Winter weniger Stürme zeigen. Süddeutschland im Übergangsbereich dazwischen könnte verhältnismäßig wenig Änderung erleben. Erste Analysen der COSMO-CLM Szenarierechnungen zeigen für die nächsten Jahrzehnte eine leichte Zunahme des Mittelwertes, aber keine signifikante Änderung der Häufigkeit hoher Windgeschwindigkeiten. Diese Ergebnisse sind noch als vorläufig zu betrachten und werden zur Zeit durch weitere Modellrechnungen überprüft.

Ausblick

Der 4. Sachstandsbericht des IPCC hat dem Problem des Klimawandels besonders große Publizität in der Öffentlichkeit verschafft. Die daraus resultierenden Fragen danach, was in einzelnen Regionen und Orten zu erwarten ist, kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht gesichert beantwortet werden. Globale und regionale Klimamodelle müssen vorrangig mit Daten für das gut dokumentierte derzeitige Klima verifiziert werden, um darauf aufbauend belastbare Prognosen erstellen zu können. Globale Modelle müssen für das europäische Gebiet insbesondere sowohl hinsichtlich der Häufigkeiten von Zirkulationstypen mit Niederschlag, der Zyklonenklimatologie und der horizontalen Wassertransporte am westlichen Einströmrand verifiziert werden.

Regionale Modelle sollten in der Lage sein, die regionalen Klimabesonderheiten und insbesondere die frontgebundenen und die konvektiven Niederschläge realitätsnah wiederzugeben. Erhebliche Fortschritte in dieser Richtung werden zur Zeit im Programm „Herausforderung Klimawandel“ für Baden-Württemberg durch Validierung der Modelle und die Erhöhung ihrer räumlichen Auflösung unternommen. Kleinräumige Wetterphänomene wie Gewitter, Tornados und Hagel können derzeit in regionalen Klimamodellen noch nicht explizit simuliert werden und erfordern vereinfachte Be-

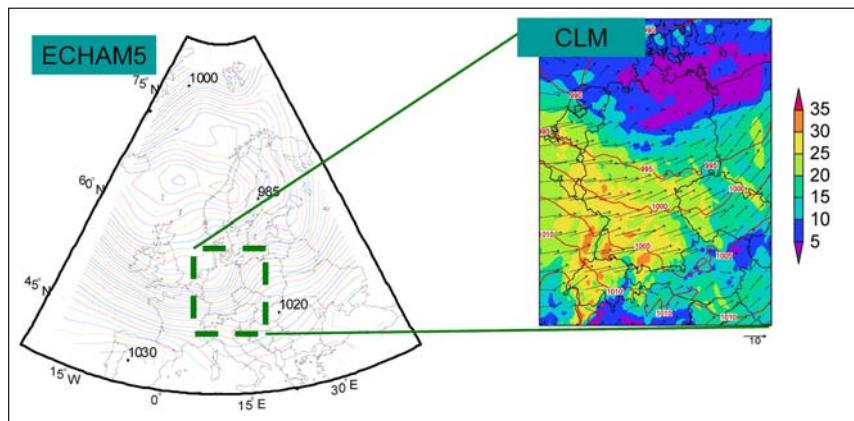


Abb. 5: Linke Seite: Die Simulation eines hypothetischen Sturms im globalen Klimamodell ECHAM 5 mit 1,85 Grad Auflösung, was ca. 200 km entspricht.

Rechte Seite: COSMO-CLM mit 0,088 Grad Auflösung. Die Farbskala des rechten Bildes gibt die Windgeschwindigkeiten des Sturms in m/s wieder. (Kunz et al. 2008)

handlungen. Da ihr Einfluss groß sein kann, sind solche kleinräumigen Vorgänge und ihre Modelldarstellung durch ausführliche Messprogramme zu verbessern, so wie es beispielsweise 2007 für den Mittelgebirgsraum im Großexperiment COPS (Convective and Orographically induced Precipitation Study) realisiert wurde (Wulfmeyer et al. 2008).

Die Klimafolgenforschung erfordert eine engere Kooperation zwischen Wis-

senschaftlern verschiedener Disziplinen und Politik, betroffenen Verbänden, Industrieunternehmen, Verwaltungen und Bürgern, wobei die denkbaren Szenarien hinsichtlich ihrer Folgen und der Vorsorgemaßnahmen eingehend zu untersuchen sind.

In Ergänzung zu anderen laufenden oder bereits durchgeführten Forschungsprogrammen wurde hierzu unlängst ein Süddeutsches Klimabüro am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) eingerichtet. Dieses Klimabüro soll in enger Kooperation mit den Einrichtungen der Länder und des Bundes als Schnittstelle zu Fragen des Klimawandels im gesamten süddeutschen Raum dienen.

*Prof. Dr. Christoph Kottmeier
Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK)*

*Tel.: (0721) 608 6370
kottmeier@imk.uka.de*

Literatur

- IPCC (2007a): 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, UK and New York, NY, USA.
- IPCC (2007b): Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, [M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC (2007c): Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- IPCC (2007d): Summary for Policymakers. In: 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, UK and New York, NY, USA.

Kunz, M. und Ch. Kottmeier (2006): Orographic enhancement of precipitation over low mountain ranges, Part II: Simulations of heavy precipitation events. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 45, 1041-1055.

Kunz, M., R. Lux, Ch. Kottmeier (2008): The future wind climate as simulated by REMO and COSMO-CLM at high resolution. Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Karlsruhe, personal communication.

Schwarb, M. (2001): The alpine precipitation climate evaluation of a high-resolution analysis scheme using comprehensive rain-gauge data. - Diss. ETH No. 13911. Swiss Federal Institute of Technology. Zürich, Switzerland.

Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuic, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Kolli, W.-T. Kwon, R. Laprise, V. Magana Rueda, L. Mearns, C.G. Menendez, J. Räisänen, A. Rinke, A. Sarr and P. Whetton (2007a): Regional Climate Projections. In: 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, UK and New York, NY, USA.

Christensen, J.H., T.R. Carter, M. Rummukainen, and G. Amanatides (2007b): Evaluating the performance and utility of regional climate models: the PRUDENCE project. 353 *Clim. Change*, doi:10.1007/s10584-006-9211-6.

Feldmann, H., Barbara, F., Schädler, G., Panitz, H.J., Keuler, K., Jacob, D., Lorenz, P. (2008): Evaluation of the Precipitation for South-western Germany from High Resolution Simulations with Regional Climate Models, *Meteorol. Z.*, submitted.

Wulfmeyer, V., A. Behrendt, H.-S. Bauer, C. Kottmeier, U. Corsmeier, G. Adrian, A. Blyth, G. Craig, U. Schumann, M. Hagen, S. Crewell, P. Di Girolamo, C. Flamant, M. Miller, A. Montani, S. Mobbs, E. Richard, M. W. Rotach, M. Arpagaus, H. Russchenberg, P. Schlüssel, M. König, V. Gärtner, R. Steinacker, M. Dorninger, D. Turner, T. Weckwerth, A. Hense and C. Simmer (2008): The Convective and Orographically-induced Precipitation Study: A Research and Development Project of the World Weather Research Program for Improving Quantitative Precipitation Forecasting in Low-mountain Regions. *Bull. Amer. Met. Soc.*, in print.

KLARA, KLIWA, WETTREG - Klimaszenarien und ihre Auswirkung auf Baden-Württemberg

von Bernhard Bösch und Petra Adler

Wer sich mit der Klimatologie beschäftigt, wird mit einer Fülle von Begriffen, Szenarien, Modellen, Berichten und Ergebnissen konfrontiert. Für forstliche Fragestellungen ist es unumgänglich, sich zuerst ein Verständnis der Gesamtproblematik anzueignen.

Auf die Rolle des Weltklimarates (IPCC) und die Fortschritte bei der Entwicklung der globalen Zirkulationsmodelle GCM (Global Climatic Models) wurde in dem Beitrag von Kottmeier bereits eingegangen. Diese aufwändigen Klima-

simulationen liefern mögliche Prognosen des Klimas unter bestimmten Annahmen über die Entwicklung der Weltbevölkerung, der ökonomisch-sozialen Entwicklung, der technologischen Veränderung, des Ressourcenbereichs und des Umweltmanagements. Die insgesamt 40 Szenarien werden in vier Hauptgruppen A1, A2, B1 und B2 zusammengefasst. Die komplexen Modelle sind unter dem Namen ECHAM1 bis ECHAM5 bekannt, wobei ECHAM5/MPI-OM die aktuellste Variante bezeichnet.

„Global“ bedeutet, dass diese Modelle die gesamte Erde mit einer Rasterauflösung von ca. 250 x 250 km umspannen. In diesen groben Skalen ist eine Vorhersage der Klimaentwicklung für kleinere Regionen nicht möglich, da die Topographie der Erdoberfläche nur unzureichend wiedergegeben wird. Regionale Besonderheiten werden nicht dargestellt.

Zur Bewertung regionaler Klimaentwicklungen und regionaler Risiken und Chancen müssen deshalb Verfahren angewandt werden, mit welchen die Ergebnisse aus den globalen Modellen übertragen werden können.

le Gitterpunkte herunterzurechnen:

Unter „dynamischem Downscaling“ wird die Einbettung eines höher aufgelösten dynamischen Modells in ein GCM verstanden. Dynamisches Downscaling orientiert sich an den bekannten physikalischen Prozessen der Atmosphäre und entspricht damit von der Vorgehensweise dem Ansatz der GCM-Modelle. Dabei werden die Informationen des GCM-Systems an den Rändern als Vorgabe für die lokalen Berechnungen übernommen. Aus diesem Grund spricht man auch von „genesteten Systemen“. Ein bekannter Vertreter dieses Ansatzes ist das vom Max-Planck-Institut für Meteorologie entwickelte regionale Klimamodell (REMO).

Im Gegensatz dazu werden im „empirischen Downscaling“ statistische Methoden eingesetzt. Neben den grob aufgelösten Klimadaten werden Zusatzinformationen über das fein aufgelöste Feld benötigt. Über die Berechnung der statistischen Zusammenhänge können nötige Information in der fein aufgelösten Skala hergeleitet werden (Abb. 2).

Downscaling lässt sich nicht nur zur Verfeinerung der Skalen bei Klimamodellaten verwenden. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) stellt mit Downscaling-Verfahren die Klimakarten aus den Wetterdaten der Stationen her. Dazu werden die auf Meereshöhe reduzierten Daten mathematisch den tatsächlichen Geländehöhen angepasst.

Die empirischen Verfahren untergliedern sich weiter in Verfahren, die Wettergeneratoren einsetzen, die mit Wetterlagenklassen arbeiten oder die Transferfunktionen verwenden. Das Verfahren WETTREG, das in vielen Untersuchungen über die Auswirkungen der Klimaveränderung auf die Wasserwirtschaft eingesetzt wird, arbeitet z.B. mit Wetterlagen (Abb. 3).

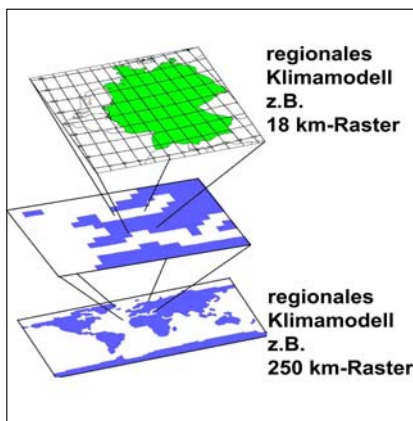


Abb. 1: Das „Downscaling“ in ein regionales Modell (Kliwa Heft 9)

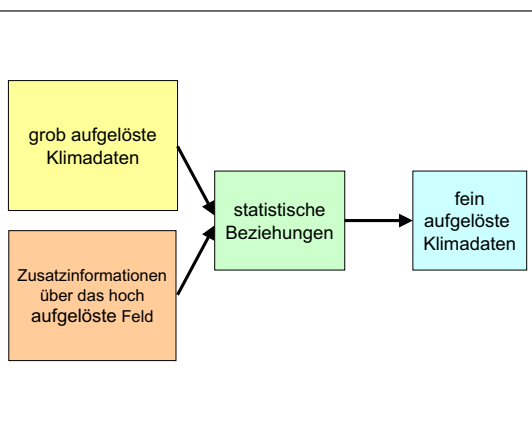


Abb. 2: Schema zum empirischen Downscaling (Bisolli, Dittmann 2003)

Regionalisierungsverfahren

Die Berechnung von Klimadaten auf lokalen Skalen, welche deutlich unter der Modellauflösung der GCMs liegen, wird als „Downscaling“, also „herunterrechnen“ bezeichnet. Da unter dem Begriff Klima Zeiträume verstanden werden, die deutlich länger als ein Jahr sind, und damit die Auflösung der Zeitskala beschränkt ist, wird Downscaling in der Klimatologie meist räumlich interpretiert: Als Informationstransfer von einer groben auf eine feiner aufgelöste Skala.

Dabei werden zwei Vorgehensweisen unterschieden, um die Klimaparameter von der groben GCM-Skala auf regiona-

Der DWD bietet eine Wetterlagenklassifikation speziell für den deutschen Raum an. Es handelt sich um die Objektive Wetterlagenklassifikation (OWLK) mit 40 definierten Klassen.

Die im deutschen Raum bekanntesten Vertreter der Regionalisierungsverfahren sind das Modell STAR, entwickelt von der Arbeitsgruppe Dr. Gerstengarbe vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK), das Modell WETTREG von der Firma Meteo-Research und Climate & Environment Consulting (CEC) in Zusammenarbeit mit der Freien Universität Berlin und das Modell REMO vom Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg (Abb. 4).

STAR

STAR ist ein statistisch basiertes regionales Klimamodell. Mit Clusterverfahren wird ein Zusammenhang zwischen großräumigen Klimainformationen und den langjährigen Messreihen an den Klimastationen des DWD hergestellt. Dabei ist die Temperatur die Leitgröße, aus der sich alle anderen meteorologischen Größen berechnen. Aus dem übergeordneten GCM wird nur der Temperaturtrend übernommen. Der Vorteil ist dabei, dass systematische Fehler aus dem globalen Modell auf ein Minimum reduziert werden können.

WETTREG

WETTREG (wetterlagenbasierte Regionalisierungsmethode) fällt auch in die Klasse der statistisch empirischen Verfahren. In WETTREG werden 40 Klima- und 32 Niederschlagsklassen eingesetzt. Für jede Jahreszeit werden zehn Wetterlagen für das Temperatur- und acht für das Niederschlagsregime unterschieden. Aus den Wetterbeobachtungen kann die Häufigkeit des Auftretens der einzelnen Wetterlagen berechnet werden. Die über einen Zufallsgenerator erzeugte Aneinanderreihung von Wetterlagen wird, zusätzlich zu den Häufigkeiten, durch Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wetterlagen gesteuert. Somit ist es möglich, sowohl heutige Wetterlagen zu reprodu-

zieren, und damit auch eine Überprüfung des Modells durchzuführen, als auch künftige lokale Klimabedingungen zu prognostizieren. Zur Prognose der zukünftigen Wetterlagen werden die geänderten Auftretenswahrscheinlichkeiten anhand der GCM-Prognosen ermittelt und dann als Basis für die Prognose übernommen.

REMO

Im Gegensatz zu den anderen beiden Modellen handelt es sich bei REMO um ein dynamisches Modell, dessen Berechnungen auch nicht an den Stationen des DWD erfolgen, sondern an unterschiedlichen Rasterpunkten mit Gitterweiten zwischen 10x10 und 18x18 km. REMO kann sowohl in die Modelle des IPCC (ECHAM4, ECHAM5), als auch in das Europamodell des DWD eingebettet werden. Die Prozesse werden in REMO unter Einbehaltung der thermodynamischen Energie- und Massenerhaltungsgleichungen berechnet, wobei die Atmosphäre in 20 Schichten geteilt wurde.

Bewertung der Verfahren

Die „antreibenden“ Parameter stammen bei allen drei Verfahren aus den übergeordneten GCM-Modellen. Allerdings ist die Verwendung und Dichte dieser Informationen unterschiedlich: STAR benutzt nur den berechneten großräumigen Temperaturtrend, WETTREG analysiert die Wetterlagen und simuliert die Szenarien anhand der Auftretenswahrschein-

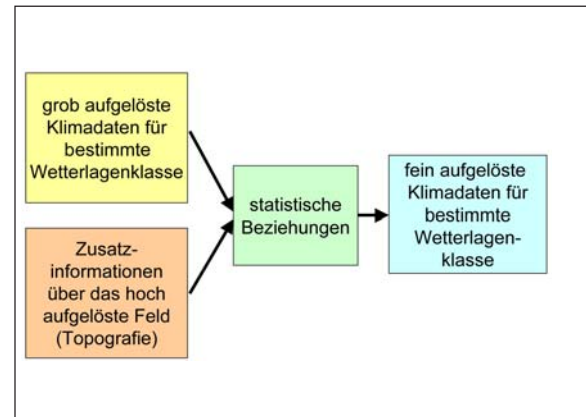


Abb. 3: Downscaling-Schema unter Nutzung der Wetterlagenklassifikation (Bisolli, Dittmann 2003)

lichkeit. REMO wiederum übernimmt die gesamte Information der übergeordneten Klimamodelle an den Modellrändern.

KLIWA

KLIWA ist die Abkürzung für das Kooperationsvorhaben „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“. Baden-Württemberg und Bayern sowie der DWD vereinbarten 1998 eine längerfristige gebiets- und fachübergreifende Zusammenarbeit. Ziel des mittel- bis langfristigen Projektes ist es, gesicherte Aussagen über die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt zu bekommen und entsprechende Handlungsempfehlungen auszuarbeiten. 2006 trat Rheinland-Pfalz als weiterer Partner dem Konsortium bei.

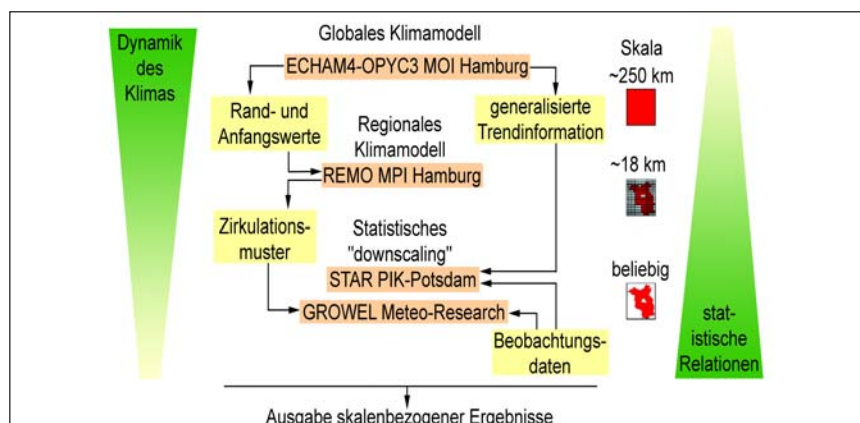


Abb. 4: Schema der unterschiedlichen Modelltypen (PIK Report No. 99)

Regionale Klimamodelle haben eine erhebliche Auswirkung auf die Berechnung des Wasserhaushaltes, da die Modellierung des lokalen Niederschlages deutlich aufwändiger und schwieriger als die Prognose der Temperaturentwicklung ist. Sie sind die Basis von noch feiner skalierten Wasserhaushaltsmodellen WHM, LARSIM und ASGI.

Um sich einen Überblick über den Einfluss unterschiedlicher Szenarien und über die Auswirkung unterschiedlicher Rechenmodelle zu verschaffen, beschlossen die Kooperationspartner 2001 einen direkten Vergleich der drei Verfahren REMO, STAR und WETTREG unter weitgehend denselben Ausgangsbedingungen. Als globales GCM wurde ECHAM 4 mit dem Szenario B2 ausgewählt. Als Messdaten standen die Stationsdaten des DWD von 1951-2000 zur Verfügung. Die Verifikation wurde auf den Zeitraum 1971-2000 festgelegt. Das Zukunftsszenario sollte die Entwicklung des Klimas in der Periode 2021 – 2050 darstellen.

Ergebnisse

Die Temperaturzunahmen von 1,0°-1,2° C bei STAR sind etwas geringer als bei den anderen beiden Modellen mit 1,6°-1,9° C. Die Unterschiede resultieren hauptsächlich aus den Prognosen für das Winterhalbjahr, wo STAR mit einer Zunahme von 1° C unter der Vorhersage von 2° der beiden anderen Modelle liegt. Dies hat großen Einfluss auf die Zwischen-

speicherung von Niederschlag als Schnee.

Mit einer Erhöhung der Niederschläge um 8%, im Vergleich zu 3% von REMO und STAR, simuliert das WETTREG-Modell die höchsten Niederschläge. Gravierend sind die Unterschiede bei der getrennten Betrachtung von Sommer- und Winterhalbjahr. Während WETTREG für das Sommerhalbjahr je nach Region eine Abnahme der Niederschläge von bis zu 8% (im Mittel 4%) prognostiziert, weisen REMO und STAR auch im Sommer Zunahmen um 6% auf. Am größten sind die Unterschiede jedoch im Winter, in dem WETTREG in manchen Regionen, wie im Schwarzwald, auf Zunahmen von bis zu 34% (22,5% im Mittel) kommt, während die beiden anderen Modelle kaum Veränderungen prognostizieren.

Auch wenn die Ergebnisse dieser drei Verfahren in Teilbereichen, insbesondere jedoch in der Prognose der Niederschläge, merkliche Unterschiede aufweisen, geht der allgemeine Trend in die gleiche Richtung:

1. im Vergleich der Periode 1960-1990 und 2030-2050 wird die Temperatur um ca. 1,7° C zunehmen, im Sommer um ca. 1,4° C, im Winter um 2° C. Insbesondere für die Monate Dez. – Feb. bedeutet dies, dass Niederschläge öfter als Regen fallen werden.
2. Die Zahl der Sommertage mit Temperaturen > 25° C wird deutlich zunehmen, dagegen wird die Anzahl an Frosttagen zurückgehen.

3. Die Winter werden milder, aber auch feuchter. Das gilt insbesondere für den Schwarzwald (hier differieren die Prognosen beträchtlich).
4. Die Westwetterlagen nehmen zu.
5. Die Hochwassergefahr im Winter steigt, da der Wechsel zwischen Schnee und Regen die Schneedecken öfter auf- und abbaut.

Fazit

In der Gesamtwertung wurde vom KLIWA-Konsortium entschieden, das WETTREG Verfahren für weitere Untersuchungen mit Wasserhaushaltsmodellen zu Grunde zu legen. Aufgrund der großen Streuung ist nach Aussage aller Modellierer eine erneute Erstellung von regionalen Klimamodellen mit verbesserten Methoden erforderlich.

In den Abbildungen 5 bis 7 sind die Ergebnisse der WETTREG-Simulation für die Temperaturdifferenzen, die prozentualen Änderungen der Niederschlagssummen und die Veränderung der mittleren Anzahl von Trockentagen im Sommerhalbjahr abgebildet.

Auf der Basis von WETTREG wurden daraufhin detailliertere Studien im Bereich der Wasserwirtschaft durchgeführt, wie die Berechnung von Spannweiten und Änderungen für Temperaturen und Niederschläge, Berechnung von extremen Trocken- und Nassperioden und die Modellierung von Abflüssen mit Wasserhaushaltsmodellen. Die Ergebnisse sind

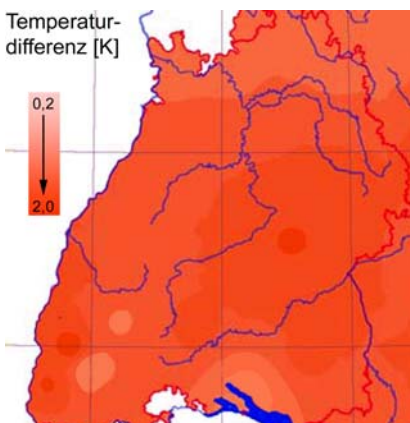


Abb. 5: Temperaturdifferenz der Jahresmittel (2021-2050)-(1971-2000) WETTREG (Kliwa Heft 9)

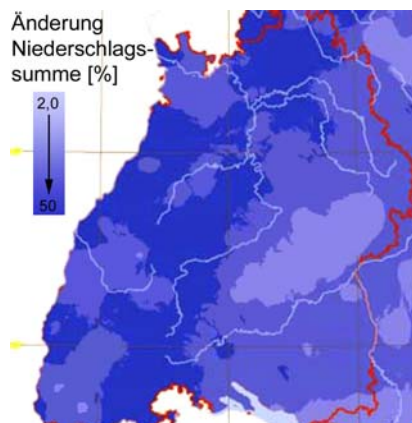


Abb. 6: Prozentuale Änderung der mittleren Niederschlagssumme (Nov. Apr.) WETTREG (Kliwa Heft 9)

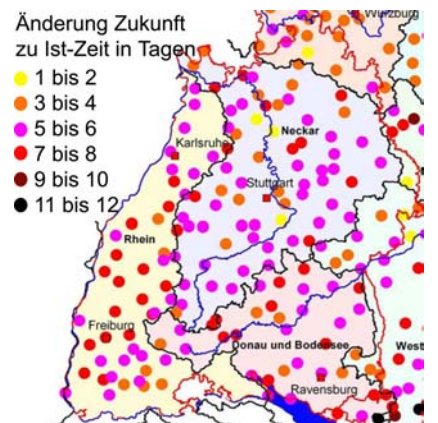


Abb. 7: Veränderung der mittleren Anzahl von Trockentagen im Sommerhalbjahr (Kliwa Heft 9)

in den KLIWA Heften 9-11 (www.kliwa.de) veröffentlicht.

KLARA

KLARA ist ein Verbundprojekt des Umweltministeriums Baden-Württemberg zur Untersuchung des Klimawandels, seiner Auswirkungen, der Risiken und der Anpassungsmöglichkeiten. Das Projekt wurde von der Landesanstalt für Umweltschutz (LfU), heute Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), begleitet.

Die Ergebnisse von KLARA beruhen auf einer weiterentwickelten Version von STAR und stimmen nicht vollständig mit den Ergebnissen von KLIWA (beruhend auf WETTREG) überein.

Der Bericht befasst sich unter anderem mit der Analyse bestehender Verwundbarkeiten, der regionalen Ausprägung des Klimawandels sowie den Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, Land- und Forstwirtschaft, den Tourismus, den Naturschutz, die Wasserkraftnutzung und die Entwicklungen bei Extremereignissen mit großem Schadenspotenzial.

Zur Untersuchung von Klimaveränderungen, speziell im Bereich der Forstwirtschaft, ist es notwendig, zusätzliche Simulationsmodelle einzusetzen, um die Wachstumsdynamik von Waldbeständen in Abhängigkeiten von Klimavariablen zu prognostizieren. Im KLARA wird das am PIK entwickelte Simulationsmodell 4C (FORESEE- FORESt Ecosystems in changing Environment) verwendet, ein Prozessmodell, das in Abhängigkeit von den Ressourcen Licht, Wasser und Nährstoffe das Wachstum von Baumkohorten (Zusammenfassungen von Bäumen gleichen Alters und gleicher Dimension) berechnet.

Die Eingangsgrößen sind Tagesmittel bzw. Summen der Temperatur, des Niederschlags, der Luftfeuchte und der Strahlung. Zur Abschätzung des Einflusses auf den Wald wurden Modellbestände, in Anlehnung an die Altersklassenverteilung der Bestände in Baden-Württemberg von 1990, in

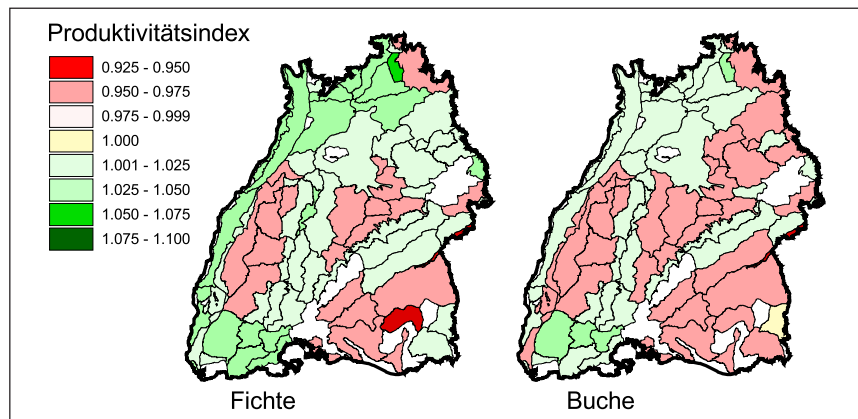


Abb. 8: Produktivität für Fichte (Alter 60) und Buche (Alter 90) (PIK Report No. 99)

Zusammenarbeit mit dem European Forest Institute (EFI) an den Standorten der Klimastationen erzeugt. Für jeden Modellbestand wurden Simulationen mit dem Modell 4C für das Basisszenario 1951–2000 und für das Zukunftsszenario 2001–2050 durchgeführt.

Ergebnisse

Für die Fichte verbessert sich die Produktivität im Westen und Nordwesten Baden-Württembergs, während sie im Südosten zurückgeht (Abb. 8). Für Buche gibt es in wenigen Wuchsgebieten einen Zuwachs der Produktivität, wie bei der Fichte ist im Südosten eher mit einem Rückgang zu rechnen. Dagegen zeigen Kiefer und Eiche in fast allen Bereichen eine Steigerung des Zuwachses. Für den Gesamtwald ist nach dieser Untersuchung mit einer leichten Steigerung des Zuwachses zu rechnen.

Diese Auswertungen geben nur Hinweise auf Trends. Sie basieren auf relativ groben, aggregierten Eingangsdaten und vereinfachten, abstrakten Modellansätzen. Die Ergebnisse entsprechen in einigen Bereichen (z. B. die Produktivität der Fichte in wärmeren Regionen Baden-Württembergs) nicht den Erfahrungen der Forstpraxis. Darüber hinaus ist festzustellen, dass keine Risiken durch Schädlingsbefall, die sich in diesen Regionen auf die Entwicklung der Baumarten auswirken, in den Modellen enthalten sind. Die FVA wird auf der Basis ihres lan-

desweiten Versuchsflächennetzes weitergehende Untersuchungen durchführen, die den Zusammenhang zwischen der Klimaentwicklung und dem Wachstum der Hauptbaumarten beleuchten sollen.

Dr. Bernhard Bösch

FVA, Abt. Biometrie und Informatik

Tel.: (07 61) 40 18 - 1 93

bernhard.boesch@forst.bwl.de

Literatur

- Bissolli, P., Dittmann, E. (2003): *Objektive Wetterlagenklassen. Klimastatusbericht des DWD 2002.*
- Matulla, C., Penlap, E.K., Storch, H.v. (2003): *Empirisches Downscaling – Überblick und zwei Beispiele. Klimastatusbericht des DWD 2002.*
- KLIWA Heft 9: *Regionale Klimaszenarien für Süddeutschland, Abschätzung der Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, 100 S., Karlsruhe 2006.*
- KLIWA Heft 10: *Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft, Fachvorträge beim 3. KLIWA-Symposium am 25. und 26.10.2006 in Karlsruhe, 256 S., Karlsruhe 2007*
- KLIWA Heft 11: *Zum Einfluss des Klimas auf den Bodensee, 99 S., Karlsruhe 2007*
- Bronstert, A., Kolokotronis, V., Schwandt, D., Straub, H. (2006): *Vergleich und hydrologische Wertung regionaler Klimaszenarien für Süddeutschland. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 50. Jg., Heft 6, Dez. 2006, 270-287.*
- PIK Report 99 (2005): *KLARA - Klimawandel - Auswirkungen, Risiken, Anpassung, Ed.: Stock, M., Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK)*

Risiko und Klimawandel

von Marc Hanewinkel

Derzeit herrscht nicht nur in der Forstpraxis eine große Unsicherheit darüber, in wie weit sich der prognostizierte Klimawandel auf die biotischen und abiotischen Schäden im Wald auswirken könnte. Der neueste Bericht des Weltklimarates (IPCC) geht von einer Zunahme von Wetterextremen aus, worunter auch eine Zunahme von Starkwindereignissen fallen könnte. Allerdings ist eine Zunahme der Windgeschwindigkeiten in den letzten Jahren nicht überall in Europa nachweisbar (s. Beitrag von Albrecht et al. in diesem Heft). Die Statistiken über den Anfall zufälliger Nutzungen in den Wäldern Baden-Württembergs belegen einen deutlichen Anstieg der nicht planmäßig durchgeführten Nutzungen im öffentlichen Wald in Baden-Württemberg (FVA 2003). Auch Schelhaas et al. (2003) weisen eine generelle Zunahme von Schadholz für die Wälder Europas in den letzten Jahrzehnten nach. Ziel des vorliegenden Beitrages ist es anhand einer Fallstudie zu demonstrieren, worauf bei der Erfassung und Bewertung von Risiko geachtet werden sollte.

Ziele der Risikoanalyse

Ziele der Risikoanalyse sind zunächst die Identifikation der wesentlichen Schadfaktoren (Sturm, Schnee, Insekten, Fäule usw.). Danach wird die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Ausmaß analysiert und prognostiziert. Während Ersteres, mit Ausnahme der äußerlich nicht erkennbaren Schäden (z. B. Fäulebefall) im forstlichen Bereich kein größeres Problem darstellt, ist die Herleitung von quantitativen Parametern, eine aufwändige und komplexe Aufgabe. Dies gilt umso mehr, wenn es darum geht, diese Quantifizierung für sich ändernde Rahmenbedingungen, z. B. in Bezug auf das Klima, vorzunehmen. Dies erfordert in der Regel die Einbindung von klimarelevanten Parametern in die Risikomodelle.

Hinzu kommt, dass die Datengrundlage für eine fundierte Risikomodellierung häufig denkbar schlecht ist. Im Betriebsvollzug wurden in Baden-Württemberg laufende Risikoanfänge lange Zeit oftmals nur auf Abteilungsstufe verbucht. Dies erschwert eine detaillierte Risikoanalyse, da die den Schaden erklärenden Variablen wie Standortseinheiten, Baumartenverteilung, Vorrat, Bestandeshöhen usw. über größere, inhomogene Flächen gemittelt werden müssen und damit an Trennschärfe verlieren. Nach großen Schadereignissen wie den Stürmen von 1990 oder 1999, die eigentlich in großem Umfang wertvolles Datenmaterial für die wissenschaftliche Analyse der Schadereignisse liefern, ist die betriebliche Arbeitskapazität bei der Bewältigung der Katastrophe derart gebunden, dass häufig keine Zeit mehr für eine Analyse des Schadereignisses bleibt. Die Aufarbeitung beschränkt sich damit auf die Analyse von Teilaspekten oder auf einzelne Fallstudien (z. B. Hinrichs 1994, König 1995, Aldinger et al. 1996).

Methoden der Risikoanalyse

Als methodische Ansätze für die Risikoanalyse und -prognose stehen verschiedene Verfahren zur Auswahl. *Expertensysteme* basieren meist auf Literaturanalysen oder Expertenbefragungen und dienen dazu, Waldbestände und/oder Standortseinheiten Risikoklassen zuzuordnen. Hierbei wird das gespeicherte Expertenwissen durch heuristische Regeln verknüpft. Beispiele für solche Systeme in Mitteleuropa sind die von Rottmann entwickelten für die Einordnung von Waldbeständen auf ihre Anfälligkeit für Sturmschäden (Rottmann 1986) oder Schneebruch-/druckschäden (Rottmann 1985). Dass das Expertensystem von Rottmann kaum Eingang in die Praxis gefunden hat, ist wohl mit dem zumindest teilweise subjektiven Charakter der Her-

leitungsschlüssel für die Anfälligkeit bei verschiedenen Schadfaktoren zu erklären.

Die häufigste Methode Risiko zu erfassen, ist der Einsatz statistischer Modelle. Diese Modelle verwenden Daten von Schadereignissen, um Risikoanfänge zu prognostizieren oder um Bestände nach ihrer Anfälligkeit zu klassifizieren. Im Rahmen eines klassischen deterministischen Ansatzes werden dabei Übergangswahrscheinlichkeiten für Altersklassen und Bestandestypen auf definierten Standortseinheiten abgeleitet. Die Theorie hierzu wurde überwiegend von Suzuki (1971) entwickelt. Dieser Ansatz wurde in großem Umfang in fichtendominierten Wäldern Sachsens angewandt (Kurth et al. 1987).

Die Standardmethode Risiko für Wälder oder Waldbestände zu prognostizieren ist der Einsatz von *Regressionsmodellen*. Dabei wird der Schaden bzw. dessen Eintrittswahrscheinlichkeit (abhängige Variable) in Abhängigkeit von Eigenschaften der untersuchten Waldfläche (unabhängige Variablen) modelliert. Hierfür hat sich die logistische Regression insbesondere für die Prognose von Windwurfschäden als das Standardverfahren herauskristallisiert (Hinrichs 1994, König 1995, Fridman und Valinger 1998, Valinger und Fridman 1997, 1999, Jalkanen und Mattila 2000, Mitchell et al. 2001). Eine Weiterentwicklung dieses methodischen Ansatzes sind generalisierte lineare Modelle (Kohnle et al. 2008). Diese Technik hat sich bei der numerischen Analyse von Einflussfaktoren, die für Sturmschäden relevant sind, bewährt. Die verschiedenen Einflussfaktoren (unabhängige Variablen), die in Studien untersucht und als relevant identifiziert wurden, variieren sehr stark. Hinrichs (1994) verwendet die Standard-Bestandes- und Standortparameter wie Baumartenzusammensetzung, Mittelhöhe, Exposition, Stabilitätsindex (Standortseinheit) und Alter. König (1995) er-

gänzt diese durch den signifikanten Parameter „Windgeschwindigkeit“. Fridman und Valinger (1998) verwenden Stammvolumen, Bruthöhendurchmesser, h/d-Verhältnis, Mittendurchmesser, Mittelhöhe, N/ha, G/ha, Volumenindex und Ertragsklasse. Das von Jalkanen und Mattila (2000) entwickelte logistische Regressionsmodell zur Abschätzung der Anfälligkeit von Kiefern- und Fichtenbeständen für Windschäden verwendet Mittendurchmesser, Bestandesalter, Art des waldbaulichen Eingriffs und die Jahrestemperatursumme als signifikante erklärende Variablen. Schlüsselvariablen im Modell von Mitchell et al. (2001) sind die Standortsqualität, die Ausrichtung der Bestandesränder, die Zeit bis zum letzten Eingriff und die topographische Exposition. Neuere Untersuchungen von Mayer et al. (2005) zeigen, dass auch zunehmende Bodenversauerung zu einem Anstieg von Sturmschäden führen kann. Als Klassifikationsinstrumente für Sturmschäden ist die Treffsicherheit der Regressionsmodelle allerdings nicht immer hoch. Die Fähigkeit dieser Modelle Sturmschäden vorherzusagen sinkt vor allem dann, wenn die Zahl der geschädigten Bestände deutlich von der der ungeschädigten abweicht. Die Studie von Fridman und Valinger (1998) zeigt z. B., dass mit dem Datensatz, der für das dort konstruierte Modell verwendet wurde, der Anteil der geschädigten Bestände deutlich überschätzt wurde. Auch sind Modelle, die auf lokal begrenzten Studien beruhen, von geringer Erklärungskraft. Insbesondere dann, wenn sie sich auf die Hauptsturmschadensgebiete beschränken in denen häufig die Windgeschwindigkeit so hoch und zugleich in ihrer räumlichen Verteilung chaotisch sind, dass es kaum gelingt, Zusammenhänge zwischen bewirtschaftungsrelevanten Parametern und Sturmschäden herzuleiten (Schütz et al. 2006). Abhilfe schaffen hier nur die Untersuchungen auf der Basis von Großrauminventuren (s. Beitrag von Kohnle et al. 2008).

Als Alternative zu den statistischen Modellen verwenden Hanewinkel et al. (2004) ein künstliches neuronales Netz für die Risikoprognose. Die Prognosefähigkeit des neuronalen Netzes übersteigt

die der klassischen statistischen Ansätze insbesondere bei schwieriger Ausgangsdatenlage.

Neben Expertensystemen und statistischen Modellen wurden *mechanistische* oder *empirisch-mechanistische Modelle* wie HWIND (Peltola et al. 1999) oder FORESTGALES (Gardiner und Quine 2000) zur Risikoerfassung entwickelt und bereits miteinander verglichen (Gardiner et al. 2000). Diese Modelle, die auf die physikalischen Grundlagen von Sturmbruch oder -wurf zurückgehen, benötigen einen hohen Aufwand für die Datenerfassung und Modellierung. Mechanische Umzieh- oder Rüttelversuche („tree pulling, dynamic forced rocking“) sowie Versuche im Windkanal sind erforderlich, um die physikalischen Prozesse, die bei der Schädigung von Bäumen durch Wind auftreten, modellhaft zu erfassen. Dennoch sind wohl allein die mechanistischen Modelle in der Lage Auswirkungen unterschiedlicher waldbaulicher Eingriffe auf die Risikodisposition abzubilden.

Komponentenmodelle werden entwickelt, um die Risikoerfassung vom Einzelbaum bis auf ganze Waldlandschaften zu integrieren (Talkkari et al. 2000). Meteorologische Komponenten wie Windgeschwindigkeit oder die Modellierung von Luftströmungen (König 1995, Lekes und Dandul 2000) sollen die Leistungsfähigkeit der Modelle verbessern. Ansätze zur Risikomodellierung findet sich bei Miller et al. (2000). Dazu gehört auch das für Schweden von Blennow und Sallnäs (2004) entwickelte Modell WINDA. Ein Problem dieser Komponentenmodelle liegt darin, dass die wissenschaftlichen Möglichkeiten zur räumlich hochauflösenden Darstellung von Windgeschwindigkeiten derzeit noch stark eingeschränkt sind (Kohnle et al. 2008).

Bewertung der Methoden

Fast man die dargestellten Untersuchungen im Hinblick auf eine mögliche Verwendung für eine Risikomodellierung unter sich ändernden klimatischen Bedingungen zusammen, so kann festgestellt werden, dass Expertensysteme

kaum geeignet sind, komplexe Zusammenhänge wie sich ändernde Ausfallswahrscheinlichkeiten von Einzelbäumen oder Waldbeständen unter sich ändernden klimatischen Bedingungen darzustellen. Am ehesten werden mechanistische Modelle in der Lage sein, detailliert Auskunft über Sturmwurf- oder Bruchgefahren von Einzelbäumen zu geben, da sie klimarelevante Einflussgrößen wie kritische Windgeschwindigkeiten enthalten. Ähnlich wie bei den Komponentenmodellen stellt sich hier auch die Schwierigkeit der räumlich hoch aufgelösten Darstellung von Windgeschwindigkeiten ein.

Statistische Modelle sind gut einsetzbar, wenn sie auf einer regional breiten Datenbasis erstellt wurden und damit großräumig einsetzbar sind. Ein Beispiel für ein solches Modell ist das im folgenden Beitrag von Kohnle et al. (2008) vorgestellte inventurbasierte Sturmschadensmodell. Um Trends der Schadentwicklung zu untersuchen bedarf es langer Zeitreihen. Diese Zeitreihen ermöglichen es, die Abhängigkeit von Schadfaktoren vom zeitlichen Anfall des Schadens zu untersuchen. Darüber hinaus wäre es vorteilhaft, wenn der Zusammenhang zwischen Schadfaktoren wie z. B. bei Insekten- und Sturmschäden modellhaft dargestellt werden könnte. In der folgenden Fallstudie werden die methodischen Ansätze, die zur Beantwortung dieser Fragen beitragen könnten, vorgestellt.

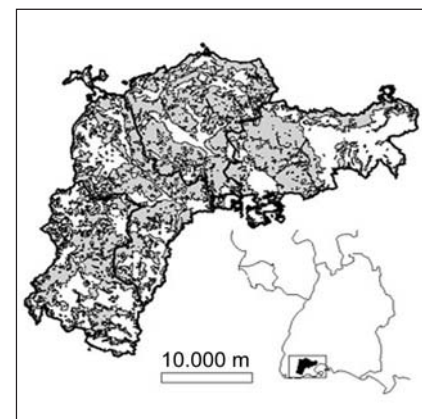


Abb. 1: Untersuchungsgebiet im Südschwarzwald, grau = Waldflächen (Hanewinkel et al. 2008)

Fallstudie Südschwarzwald

In der vorliegenden Fallstudie, die im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes „Zukunftsorientierte Waldwirtschaft“ im Projektverbund „Südlicher Schwarzwald“ durchgeführt wurde, wurde eine Zeitreihe von 77 Jahren von 1925 bis 2001 für vier Staatsforstbetriebe im Südschwarzwald auf einer Fläche von rund 12.000 ha untersucht (Abb.1).

Die Datenbasis umfasst Verbuchungsdaten der Naturalbuchführung, in der Nutzungen auf Abteilungsebene in jedem Jahr getrennt nach planmäßigen und zufälligen Nutzungen verbucht wurden. Die zufälligen Nutzungen wurden getrennt nach den Schadarten Sturm, Schneebruch und Insekten analysiert. Zusätzlich standen die periodisch erhobenen Daten der Forsteinrichtungsinventuren auf Bestandesebene sowie historische Forstkarten, eine digitalisierte Standortskarte und ein digitales Geländemodell zur Verfügung. Insgesamt wurden so mehr als 15.000 Datensätze analysiert.

Eine statistische Modellierung wurde in drei Schritten durchgeführt: Zunächst wurde die Schadenseintrittswahrscheinlichkeit für den Gesamtschaden und die drei Schadfaktoren ermittelt. Dann wurde die Höhe des Schadenanfalls modelliert. Schließlich wurde die Abhängigkeit der Schadfaktoren vom zeitlichen Anfall des Schadens modelliert. Für die Modellierung wurden Techniken der lo-

gistischen Regression mit Standardregressionen und multivariaten autoregressiven Techniken kombiniert. Im Projektgebiet waren Kalamitäten für einen Schadensanfall von 3 m³/ha/Jahr verantwortlich. Abbildung 2 zeigt die Höhe der Gesamtschäden im Projektgebiet über den gesamten Beobachtungszeitraum.

Die Verteilung der Schäden über die Zeit sowie in Abhängigkeit von Bestandes- und Standortparametern konnte mit einem mittleren quadratischen Fehler von 6,2 m³ha⁻¹Jahr⁻¹ modelliert werden. Neben Variablen wie zunehmender Vorrat (V) und Höhenlage (E) wirkten sich vor allem vernässende Standorte (N) erhöhend auf die Schadenseintrittswahrscheinlichkeit aus. Dies zeigt sich in Abbildung 3. Auf die Höhe des Schadens wirkten sich vor allem Variablen wie zunehmender Fichtenanteil (F) und die Zeit (Y) aus. Die Abbildung 4 zeigt eine Darstellung des ansteigenden Gesamtschadens im Untersuchungsgebiet über der Zeit. Die Analyse von Autoregressionen zeigt, dass beim Gesamtschaden bereits geschädigte Abteilungen in einem Rahmen von 3 bis 4 Jahren mit einer signifikant höheren Wahrscheinlichkeit nochmals geschädigt werden, als ungeschädigte (Abb. 5 „total damage“).

Durch eine Kreuzkorrelationsanalyse konnte nachgewiesen werden, dass größere Sturmereignisse typischerweise Käferschäden in einem Zeitraum von bis zu 6 Jahren zur Folge haben (Abb. 5 „storm vs. insects“). Größere Sturm- und Schneebruchereignisse haben die Tendenz, sich mit einer Frequenz von 10-11 Jahren (Abb. 5 „storm“) bzw. 15 Jahren (Abb. 5 „snow“) zu wiederholen. Diese Periodizität der beiden Schadfaktoren „Sturm“ und „Schnee“ wurde mit Hilfe einer Spektralanalyse bestätigt.

Schlussfolgerung

Die Zeitreihenanalyse von Schadereignissen kann zum Verständnis von forstlichen Risikoprozessen beitragen. Zukünftig soll getestet werden, ob mit der Methodik auf der Basis automatisiert erhobener Daten im Rahmen von FOFIS

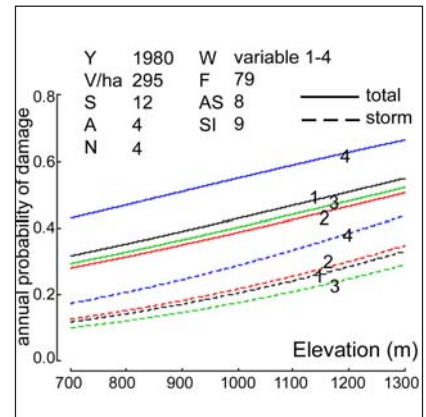


Abb. 3: Jährl. Wahrscheinlichkeit für Gesamt- (total – durchgezogene Linie) und Sturmschaden (storm - gestrichelte Linie), über der Höhenlage (elevation) durchschnittl. Bestandesverhältnisse (s. Variablen Y – SI) und für Standortseinheiten: 1-3 = nicht vernässend, 4 = vernäss. (Hanewinkel et al. 2008)

(forstliches Führungsinformationssystem) bzw. FOGIS (forstliches GIS) Risikomodelle als Bewirtschaftungshilfen für den gesamten Staatswald Baden-Württemberg hergeleitet werden können. Im Idealfall müssten die analysierten Schadverläufe für die Schadfaktoren mit klimarelevanten Parametern wie Temperatur,

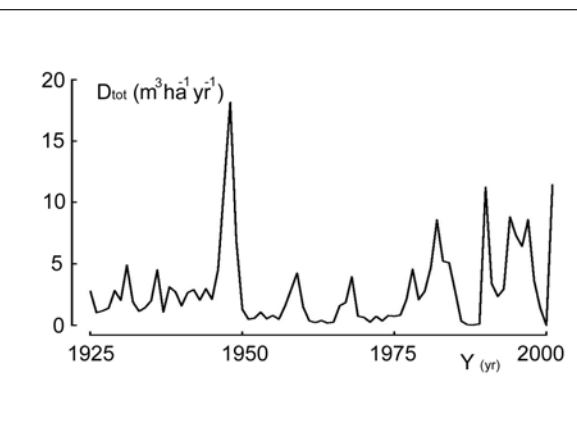


Abb. 2: Gesamtschaden (in m³/Jahr/ha) im Projektgebiet von 1925 bis 2001 (Hanewinkel et al. 2008)

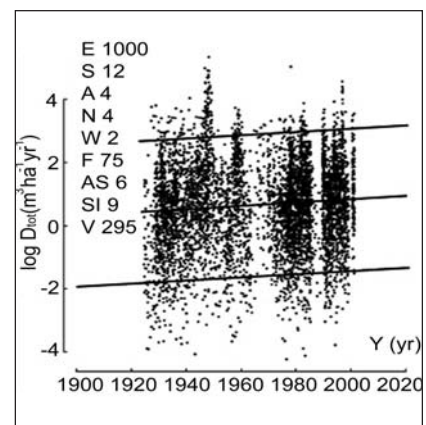


Abb. 4: Gesamtschadenshöhe durchschnittlicher Bestands- und Geländeverhältnisse (s. Variablen E-V) im Untersuchungsgebiet in Abhängigkeit von der Zeit. Die Linien zeigen die Ausgleichsgerade sowie die Vertrauensintervalle. (Hanewinkel et al. 2008)

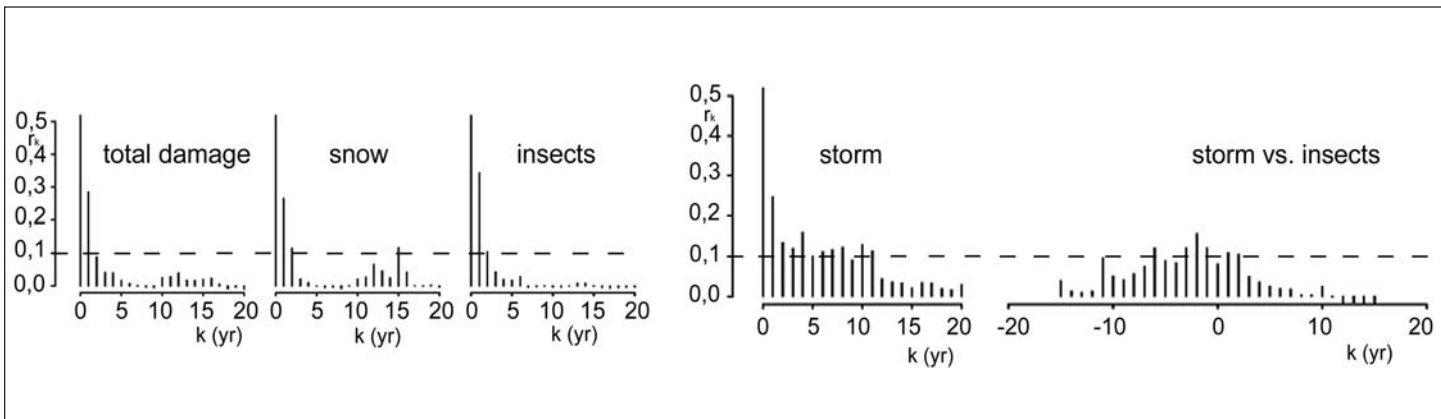


Abb. 5: Auto- und Kreuzkorrelation verschiedener Schadfaktoren im Vergleich (Hanewinkel et al. 2008)
 - - - = Signifikanzniveau ($p > 0,1$)

Windgeschwindigkeit usw. korreliert werden, um die Trends auch unter verschiedenen Klimaszenarien fortschreiben zu können.

Prof. Dr. Marc Hanewinkel
 FVA, Abt. Biometrie und Informatik
 Tel.: (07 61) 40 18 - 2 08
 marc.hanewinkel@forst.bwl.de

Literatur

- Aldinger, E., Schreiner, M., Bantle, P. (1996): Standort und Sturmwurf 1990 im östlichen Odenwald. Agrarforschung in Baden-Württemberg Bd. 26, 120-129
- Becker, T., Schröter, H., Weigerstorfer, D., Veit, H., editors. (2004): Waldschutzprobleme nach „Lothar“. Sturm „Lothar“ - Bewältigung der Sturmschäden in den Wäldern Ba.-Wü.. LFV BW, Stuttgart.
- Blennow, K., Sallnäs, O. (2004): WINDA A system of models for assessing the probability of wind damage to forest stands within a landscape. Ecological Modelling, 175(1): 87-99.
- FVA (2003): Dokumentation des Orkanereignisses „Lothar“ sowie Auswertung und Evaluierung der Sturmschadensbewältigung. FVA, Freiburg. 369 S.
- Fridman, J., Valinger, E. (1998): Modeling probability of snow and wind damage using tree, stand, and site characteristics from Pinus sylvestris sample plots. Scand. J. For. Res., 348-356.
- Gardiner, B.A., Quine, C.P. (2000): Management of forests to reduce the risk of abiotic damage – a review with particular reference to the effects of strong winds. For. Ecol. Manage. 135: 261- 277.
- Gardiner, B.A., Peltola, H., Kellomäki, S. (2000): Comparison of two models for predicting the critical wind speeds required to damage coniferous trees. Ecological Modelling 29, 1-23.
- Hanewinkel, M., Zhou, W., Schill, C. (2004): A neural network approach to identify forest stands susceptible to wind damage. Forest Ecology and Management 196: 227-243.
- Hanewinkel, M., Breidenbach, J., Neeff, T., Kublin, E. (2008): 77 years of natural disturbances in a mountain forest area – the influence of storm, snow and insect damage analysed with a long-term time-series. Can. J. For. Res. (accepted).
- Hinrichs, A. (1994): Geograph. Informationssysteme als Hilfsmittel der forstl. Betriebsführung. Dis.. Albert-Ludwigs-Univ., Freiburg.
- Jalkanen, A., Mattila, U. (2000): Logistic regression models for wind and snow damage in northern Finland based on the National Forest Inventory data. For. Ecol. Manage. 135: 315-330.
- König, A. (1995): Sturmgefährdung von Beständen im Altersklassenwald. J.D. Sauerländer's, Frankfurt.
- Kohnle, U., Schmidt, M., Bayer, J., Kändler, G. (2008): Ein einzelbaumspezifisches Sturmschadensmodell: Grundlagen, Ergebnisse, Anwendung. FVA einblick+. 01/08: 24-27.
- Kurth, H., Gerold, D., Dittrich, K. (1987): Reale Waldentwicklung und Zielwald - Grundlagen nachhaltiger Systemregelung des Waldes, Wiss. Z. Tech. Univ. Dresd., 36, 121-137.
- Lekes, V., Dandul, I. (2000): Using airflow modelling and spatial analysis for defining wind damage risk classification (WINDARC). For. Ecol. Manage. 135, 331-344.
- Mayer, P., Dobbertin, M., Hallenbarter, D., Renaud, J.-P., Walther, L., Zimmermann, S. (2005): Forest storm damage is more frequent on acidic soils. Annals of Forest Science 62:303-311.
- Miller, D.R., Dunham, R., Broadgate, M.L., Aspinnall, R.J., Law, A.N.R. (2000): A demonstrator of models for assessing wind, snow and fire damage to forests using the WWW. For. Ecol. Manage. 135, 355-363.
- Mitchell, S.J., Hailemariam, T., Kulis, Y. (2001): Empirical modeling of cutblock edge windthrow risk on Vancouver Island, Canada, using stand level information. For. Ecol. Manage. 154, 117-130.
- Peltola, H., Kellomäki, S., Väisänen, H., Ikonen, V.-P. (1999): A mechanistic model for assessing the risk of wind and snow damage to single trees and stands of Scots pine, Norway spruce, and birch. Can. J. For. Res. 29, 647-661.
- Rottmann, M. (1985): Schneebruchschäden in Nadelholzbeständen. J.D. Sauerländer's, Frankfurt a.M.
- Rottmann, M. (1986): Wind- und Sturmschäden im Wald. J.D. Sauerländer's, Frankfurt a.M.
- Schelhaas, M.-J., Nabuurs, G.-J., Schuck, A. (2003): Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. Glob. Chang. Biol. 9: 1620-1633.
- Schütz, J. P., Götz, M., Schmid, W., Mandallaz, D. (2006): Vulnerability of spruce (Picea abies) and beech (Fagus sylvatica) forest stands to storms and consequences for silviculture. Eur. J. For. Res. 125: 291-302.
- Suzuki, T. (1971): Forest transition as a stochastic process. Mitt. Forstl. Bundes-Vers.anst. Wien 91, 137-150.
- Talkkari, A., Peltola, H., Kellomäki, S., Strandmann, H. (2000): Integration of component models from the tree, stand and regional levels to assess the risk of wind damage at forest margins. For. Ecol. Manage. 135, 303-313.
- Valinger, E., Fridman, J. (1997): Modeling probability of snow and wind damage in Scots pine stands using tree characteristics. For. Ecol. Manage. 97, 215-222.
- Valinger, E., Fridman, J. (1999): Models to assess the risk of snow and wind damage in pine, spruce, and birch forests in Sweden. Environ. Manage. 24, 209-217.

Klimawandel und Stürme über Europa – eine Literaturübersicht

von Axel Albrecht, Dirk Schindler, Karin Grebhan, Ulrich Kohnle und Helmut Mayer

In der europäischen forstlichen Öffentlichkeit wird derzeit befürchtet, dass der Klimawandel in Zukunft zu erhöhten Schäden in Wäldern durch meteorologische Extremereignisse führen wird. Für Europa werden – regional differenziert – neben häufigeren, längeren und intensiveren Hitze- und Trockenperioden auch heftigere Stürme im Winterhalbjahr prognostiziert.

Neben ihrer direkten Schädigung in Form von Sturmwurf und -bruch verursachen Stürme betriebswirtschaftliche Schäden, reduzieren die Bestandesvitalität und begünstigen waldbauliche und waldschutztechnische Folgeschäden. Zwischen 1950 und 2000 waren Stürme für über 50% der durch abiotische Schadursachen angefallenen Schadholzmenge in Europa verantwortlich. Veränderte Sturmintensität und –häufigkeit könnten Stabilitätsvorteile der Laubbäume in Frage stellen, sowie eine Überarbeitung etablierter Waldbaustراتيجien und langfristiger Produktionszeiträume erfordern. Die Auswirkungen von Temperatur- und CO₂-Erhöhung werden von zahlreichen anderen Forschungsprojekten bearbeitet, bleiben in unserem Beitrag also außen vor. Aus Platzgründen wurde großteils auf das wissenschaftliche Zitieren verzichtet. Eine ausführliche Literaturliste mit den verwendeten 75 Referenzen ist beim Autor erhältlich.

Nordatlantische Oszillation

Den größten Einfluss auf die Zirkulationsmuster und somit die Zugbahn von Stürmen über der nordatlantisch-europäischen Region hat die Nordatlantische Oszillation (NAO). Unter der NAO versteht man die Variabilität des Luftdrucks auf Meeresebene zwischen dem Azorenhoch und dem Islandtief. Die NAO übt einen dominanten Einfluss auf die Luft-

temperatur- und Niederschlagsverhältnisse sowie das synoptisch-skalige Sturmgeschehen über dem Nordatlantik und über Europa aus. Da sie im Winter besonders stark ausgeprägt ist, kommt es von Dezember bis März zu Systemen von Tiefdruckgebieten und zu Zyklonen, die die Hauptursachen extremer Windgeschwindigkeiten sind (Leckebusch et al. 2006). Dieser winterliche Schwerpunkt ist z. B. für Verhältnisse in der Schweiz retrospektiv analysiert worden.

Verfügbare Daten und Auswertungsverfahren

Die Variabilität der bodennahen Windströmung lässt sich in Deutschland aus Messungen und Beobachtungen ableiten, die an einer großen Zahl von Stationen in verschiedenen Messnetzen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) seit den fünfziger Jahren des 20. Jahrhunderts durchgeführt werden. Während Windgeschwindigkeit (in m/s) und Windrichtung (in Grad) direkt gemessen werden, lässt sich auf der Grundlage der Beaufort-Skala die Windstärke (in Bft) aus Beobachtungen von Windwirkungen ableiten. Aus verschiedenen Gründen liefern beide Informationen – nicht nur in der Bundesrepublik Deutschland – wenig verlässliche Zeitreihendaten und eignen sich deshalb zur Analyse der Sturmvariabilität nur bedingt. Alternativ werden deshalb häufig aus Luftdruckdaten rekonstruierte Windgeschwindigkeitswerte herangezogen. Die Ableitung der Windgeschwindigkeit aus Luftdruckdaten ist jedoch nicht immer verlässlich, insbesondere in topographisch bewegtem Gelände.

Globale und regionale Klimamodelle und allgemeine Zirkulationsmodelle dienen als Grundlage für teils komplexe Berechnungsschritte, mit deren Hilfe man Auswertungen zur Sturmhäufigkeit in

Vergangenheit und Zukunft erstellen kann. Häufig verwendete Daten für solche Berechnungen sind Reanalysedaten, die besondere Vorteile aufweisen (Bengtsson et al. 2006a, Bengtsson et al. 2006b, Hanson et al. 2003, Hanson et al. 2007, Leckebusch et al. 2007, Pinto et al. 2006, Pinto et al. 2007a, Pinto et al. 2007b).

Analysen, die mehrere verschiedene Klimamodelle zur Grundlage haben (sog. Multi-Modell-Ensembles) erwiesen sich als vorteilhaft, da sie gegenüber einfachen Untersuchungen mit einem Klimamodell einen Stabilisierungseffekt haben und somit Unsicherheiten besser austarieren können.

Globale Klimamodelle oder Modelle der allgemeinen Zirkulation liefern die Randbedingungen und den Antrieb für regionale Klimamodelle (RCM). Verschiedene solche RCMs mit gleicher GCM (Globale Klimamodelle)-Grundlage können dann recht unterschiedliche Ergebnisse in Bezug zu extremen Windgeschwindigkeiten liefern.

Zur Analyse der Sturmaktivität werden häufig Überschreitungen von Schwellenwerten (z. B. 90-, 95-, 99-Perzentilwerte oder Bft-Werte) von Zirkulation und Wind charakterisierenden Variablen verwendet. Durch modellspezifische Perzentilwerte können extreme Absolutwerte der Windgeschwindigkeiten zwischen verschiedenen Modellen bzw. Gitterpunkten verglichen werden. Anhand von Stations- und NCEP/NCAR-Reanalysedaten konnte gezeigt werden, dass 98-Perzentil-Windwerte gute lokale Schwellenwerte darstellen, ab deren Überschreiten Schäden durch Wind auftreten. Werden neben Sturm- auch Schadensanalysen durchgeführt, ist eine Normierung von Winddaten mit lokalen klimatischen Windextremen zu empfehlen, da dadurch Adaptations- und Akklimatisierungseffekte berücksichtigt werden.

Es ist anzumerken, dass mesoskalige Modelle noch nicht in der Lage sind, Böen zu reproduzieren. Neben physikalischen Ansätzen werden Böen deshalb häufig durch einen Böenfaktor dargestellt, mit dem die mittlere Windgeschwindigkeit multipliziert wird.

Stürme gestern und heute

Zur Analyse der NAO- und Sturmvariabilität über Europa in den letzten Jahrzehnten und Jahrhunderten werden verschiedene Methoden und Datenquellen verwendet. Neben Stationsdaten (Jacobson et al. 2003), Modellsimulationen und historischen Dokumenten geben paläoklimatische Indikatoren wie Jahresringchronologien von Bäumen oder Seesalzkonzentrationen in Eisbohrkernen Aufschluss.

Die Variabilität des Klimas in Europa zwischen 1500 und 1900 wurde vor allem durch interne Schwankungen des Klimasystems geprägt (Bengtsson et al. 2006b).

Speziell die Sturmaktivität in den letzten 500 Jahren war jedoch bemerkenswert stationär. Anhand von Modellsimulationen konnte allerdings gezeigt werden, dass es über dem Nordatlantik während des sog. „Maunder-Minimums“ (1640-1715) in allen Jahreszeiten zu einer häufigeren Verlagerung von Zyklonenbahnen und den damit verbundenen Stürmen nach Süden kam. Bezogen auf den Zeitraum von 1659 bis 1999 und vor dem Hintergrund langfristiger Schwankungen des mittleren Luftdrucks auf Meereshöhe ist die deutliche Zunahme der westlichen Zirkulation im Winterhalbjahr während der letzten Jahrzehnte keine außergewöhnliche Erscheinung. Eine andere Studie konnte während des 20. Jahrhunderts keine signifikanten systematischen Änderungen des Sturmklimas in der nordatlantisch-europäischen Region feststellen. Speziell über dem Nordostatlantik wurde in einer Untersuchung zunehmende Sturmaktivität gegen Ende des 20. Jahrhunderts festgestellt. Diese Zunahme kann aber, bezogen auf den Zeitraum 1875 bis 1995, zu einem großen Teil durch langfristige Luftdruck-



schwankungen auf Meereshöhe erklärt werden. Im Gebiet der Schweiz nördlich der Alpen konnte sogar eine signifikante Abnahme der Anzahl von Winterstürmen zwischen 1964 und 1994 aufgezeigt werden. Für Italien wurde zwischen 1951 und 1970 eine Abnahme, ab 1971 eine Zunahme höherer Windgeschwindigkeit diagnostiziert. Für die Niederlande wird von einer Abnahme der Sturmhäufigkeit um 5 bis 10 Prozent pro Dekade zwischen 1962 und 2002 berichtet. Dieser Abnahme steht auf der Basis von Reanalysedaten die Zunahme der Sturmhäufigkeit im gleichen Zeitraum von mindestens 20 Prozent pro Dekade gegenüber. Die Autoren führen die Diskrepanz der Ergebnisse auf Inhomogenitäten in den Reanalysedaten zurück. Ebenso als Beispiel für die interne Variabilität des europäischen Klimas kann die Erkenntnis gelten, dass – ermittelt auf der Basis von Stationsluftdruckdaten für den Zeitraum zwischen 1881 und 1998 – die Dekade zwischen 1881 und 1890 die stürmischste in Nordwesteuropa war.

Stürme morgen

Zur Analyse der zukünftigen großräumigen Zirkulation in der Nordhemisphäre und Sturmaktivität über der nordatlantisch-europäischen Region wurde eine Vielzahl von Modellsimulationen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Simulationen fallen nicht alle gleich aus, da die den Modellsimulationen zugrunde gelegten Klimawandelszenarien (z. B.: SRES A2, A1B1, B2) des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

neben den bereits genannten Gründen einen Einfluss auf die Simulationsergebnisse haben. Die Studienlage ist zweigeteilt: Die Ergebnisse einer großen Anzahl von Untersuchungen (Knippertz et al. 2000, Leckebusch und Ulbrich 2004, Bengtsson et al. 2006a, Lambert und Fyfe 2006, Leckebusch et al. 2006, Pinto et al. 2006, Pinto et al. 2007a, Pinto et al. 2007b) lassen den Schluss zu, dass die Anzahl extremer Stürme über der nordatlantisch-europäischen Region steigt und die Anzahl schwacher Tiefdruckgebiete zurückgehen könnte. Dabei ist die Zunahme extremer Sturmereignisse mit einer größeren Zahl intensiverer Tiefdruckgebiete verbunden. Zudem wird die interannuelle Variabilität extremer Stürme ansteigen und zu einem höheren Sturmrisiko führen (Leckebusch et al. 2007, Pinto et al. 2007a). Im Gegensatz dazu deuten die Ergebnisse weiterer Untersuchungen (Lambert 1995, Beersma et al. 1997, Zhang und Wang 1997, Kharin und Zwiers 2000, Finnis et al. 2007) auf eine Abnahme der Sturmaktivität über Europa bzw. in der nördlichen Hemisphäre hin.

Unterschiedliche Ergebnisse gibt es auch für die Zusammenhänge zwischen den zukünftigen Zugbahnen von Stürmen und der Sturmaktivität über Europa. Die Änderung der Sturmaktivität steht dabei nicht immer im Zusammenhang mit einer Verlagerung der Zugbahnen von Stürmen. So wurde in einer Studie beispielsweise keine zukünftige Nordverlagerung der atlantischen Zugbahnen festgestellt, wohl aber ein Zusammenhang zwischen erhöhter Sturmhäufigkeit und ansteigenden Treib-



hausgaskonzentrationen (Lambert und Fyfe 2006). Es gibt jedoch auch Anhaltspunkte für eine Nordverlagerung der Zugbahnen von Stürmen über dem Nordatlantik sowie für eine Abschwächung der Zugbahnen über dem Mittelmeerraum (Bengtsson et al. 2006b).

Im Hinblick auf die Saisonalität von Stürmen zeichnet sich tendenziell eine Abnahme von Stürmen in den Sommermonaten Juni bis August ab (Walter et al. 2006), während mehrheitlich mit einer Zunahme von Winterstürmen von Dezember bis Februar gerechnet wird (Giorgi et al. 2004, Walter et al. 2006, Beniston et al. 2007, Hanson et al. 2007, Pinto et al. 2007a, Pinto et al. 2007b). Weiter ist eine leichte Verschiebungstendenz von Winterstürmen in den Herbst (Oktober) zu beobachten (Hanson et al. 2003, Ulbrich 2008). In einer Studie treten im Sommer allerdings deutliche Unterschiede in den Modellergebnissen auf, da im Sommer lokale Effekte und deren modellmäßige Beschreibung an Bedeutung gewinnen (Giorgi et al. 2004).

Diskussion und Fazit

Obwohl Stürme der letzten 20 Jahre auch im deutschen Wald extreme Schäden verursacht haben, gibt es keine klaren meteorologischen Hinweise auf eine deutliche Zunahme von Stürmen bis heute. Vielmehr scheint die phasenweise interne Variabilität der Sturmhäufigkeit eine gerichtete Entwicklung zu übertönen. Insbesondere konnte bislang kein anerkannter Kausalzusammenhang zwischen erhöhter Sturmhäufigkeit und an-

thropogenem Klimawandel hergestellt werden. Auf die Problematik der unzureichenden Datenlage über Windgeschwindigkeit und Windstärke muss nochmals hingewiesen werden: Die verfügbaren Zeitreihen gemessener und beobachteter Winddaten sind relativ kurz, und es sind noch nicht alle langfristigen, internen Schwankungen des Klimasystems vollständig erfasst (Hunt und Elliott 2006). Reanalysedaten decken nur den Zeitraum eines halben Jahrhunderts ab (Jacobeit et al. 2003).

Für Projektionen der Sturmaktivität in die Zukunft durch globale Zirkulationsmodelle und regionale Klimamodelle unter verschiedenen Klimawandelszenarien gibt es keine methodischen Alternativen. Im Vergleich zur Prognose zukünftiger CO₂-Konzentration und bodennaher Lufttemperatur sind jedoch Resultate aus Untersuchungen zur zeitlichen Entwicklung von Stürmen von hoher Unsicherheit geprägt. Trotz widersprüchlicher Ergebnisse zeichnet sich aber eine Tendenz zu selteneren mittleren, aber häufigeren heftigen Stürmen hin ab. Ebenso widersprüchlich sind die Ergebnisse in Bezug zur Nordverlagerung der NAO, wobei hier eine größere Zahl der Untersuchungen für eine Nordverschiebung spricht. Am belastbarsten ist die Aussage, dass es nicht zu einer Verlagerung der Stürme in den Sommer kommen wird, allenfalls Randbereiche der belaubten Zeit gestreift werden (Oktober).

Auf der Basis bisheriger Ergebnisse aus Modellsimulationen ist es schwierig zu beurteilen, ob und wie sich eine geänderte nordatlantisch-europäische Sturmaktivität auf Sturmschäden in Wäldern auswirken könnte, da Faktoren wie Landnutzungsänderungen, Änderungen des Bestandesalters und waldbaulicher Methoden schwer absehbar sind. Allgemein ist jedoch bekannt, dass marginale Verschiebungen in der Sturmaktivität zu überproportional hohen Sturmschäden in Wäldern führen können und dass wenige extreme Stürme sehr starke Schäden verursachen können. Allerdings können Untersuchungen zu Sturmschäden im Wald vor dem Hintergrund des Klimawandels auch gegensätzliche Ergebnisse liefern.

Als Konsequenz für die forstliche Praxis ergibt sich, dass die Stabilitätsvorteile der Laubbaumarten durch die derzeit verfügbaren Projektionen über die Entwicklung starker Stürme als Extremwetterereignisse nicht in Frage zu stellen sind. Für Investitionsentscheidungen wie Wertästung sollte darauf geachtet werden, dass sie auf diejenigen Standorte beschränkt werden, die stabil und nicht besonders windexponiert sind. Zu ästende Individuen eines Bestandes sollten in ihrer Jugend ausreichend Wuchsraum zur Entwicklung eines stabilen Wurzelwerks haben. In Bezug zur Windexposition ist anzumerken, dass nach Modellprojektionen schadensauslösende Stürme in Mitteleuropa zukünftig weiterhin aus westlichen Richtungen kommen werden, da sich keine gravierenden Veränderungen der meteorologischen Verhältnisse von Winterstürmen und Zyklonen abzeichnen. Weiterhin unterstreichen historische Untersuchungen, dass nur wenige Stürme aus nicht-westlichen Richtungen kamen. Aufgrund der prognostizierten Nordverschiebung mitteleuropäischer Winterstürme lässt sich ableiten, dass Norddeutschland stärker von potenziellen Veränderungen im Windregime betroffen sein wird als Süddeutschland. Bei der langfristig wirkenden waldbaulichen Maßnahme Baumartenwahl sollte berücksichtigt werden, dass Nadelbäume, allen voran Fichte und dann Douglasie, einer deutlich höheren Windwurfgefährdung als Laubbäume ausgesetzt sind. Als Maßnahme der allgemeinen Risikovorsorge sollten in Beständen, die sich dem Hauptnutzungszeitpunkt nähern, ausreichende Naturverjüngungsvorräte aufgebaut bzw. vorgehalten werden, damit im Falle des Sturmschadens kostengünstig und zügig wiederbewaldet werden kann. Falls sich die Sturmintensität erhöhen sollte, wird insgesamt die Beeinflussbarkeit der Schäden durch waldbauliche Maßnahmen zurückgehen (Gardiner und Quine 2000). Denn für das Auftreten von durch extrem hohe Windgeschwindigkeit verursachten Schäden ist zu vermuten, dass sie weniger vom waldbaulichen Zustand der Bestände geprägt werden, sondern eher durch den Verlauf der Sturmzugbahn

bestimmt sind.

Diese Schlussfolgerungen beziehen sich nur auf die Betrachtung von Stürmen, nicht auf andere Erscheinungsformen des Klimawandels wie z. B. die Zunahme der bodennahen Lufttemperatur und CO₂-Konzentration. Im Rahmen einer allgemeinen Risikovorsorge ist das Prinzip Vorsicht ratsam, um einen „strömungsplastischen“ und stabilen Wald zu formen. Überzogene Befürchtungen vor exorbitant zunehmenden Windwurf- und -bruchschäden sind jedenfalls aufgrund der derzeitigen

Informationslage nicht gerechtfertigt. Qualitäts- und wertleistungsorientierter Waldbau in Kombination mit standortsgerechter Baumartendiversifizierung erscheinen auch weiterhin sinnvoll. Aufgrund des engen Zusammenhangs zwischen Baumhöhe und Sturmschadenswahrscheinlichkeit sollten dabei grundsätzlich Behandlungskonzepte den Vorzug erhalten, die die angestrebten Produktionsziele bei möglichst geringen Baumhöhen erreichen. Ein generelles Umschwenken auf spezielle Waldbaustrategien für

Starkwindverhältnisse ist derzeit nicht geboten.

Axel Albrecht
FVA, Abt. Waldwachstum
Tel.: (07 61) 40 18 - 2 77
axel.albrecht@forst.bwl.de

Dr. Dirk Schindler
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg,
Meteorologisches Institut
Tel.: (07 61) 2 03 - 35 81
dirk.schindler@meteo.uni-freiburg.de

Literatur

- Beersma, J. J., Rider, K. M., Komen, G. J., Kaas, E., Kharin, V. V. (1997): An analysis of extratropical storms in the North Atlantic region as simulated in a control and 2 x CO₂ time slice experiment with a high-resolution atmospheric model. *Tellus* 49A, 49A
- Bengtsson, L., Hodges, K. I., Roeckner, E. (2006a): Storm tracks and climate change. *Journal of Climate* 3518-3543
- Bengtsson, L., Hodges, K. I., Roeckner, E., Brokopf, R. (2006b): On the natural variability of the pre-industrial European climate. *Climate Dynamics* 2006, 743-760
- Beniston, M., Stephenson, D. B., Christensen, O. B., Ferro, C. A. T., Frei, C., Goyette, S., Halsnaes, K., Holt, T., Jylhä, K., Koffi, B., Palutikof, J., Schöll, R., Semmler, T., Woth, K. (2007): Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic Change* 2007, 71-95
- Finnis, J., Holland, M. M., Serreze, M. C., Cassano, J. J. (2007): Response of Northern Hemisphere extratropical cyclone activity and associated precipitation to climate change, as represented by the Community Climate System Model. *Journal of Geophysical Research* 112, doi:10.1029/2006JG000286
- Gardiner, B. A., Quine, C. P. (2000): Management of forests to reduce the risk of abiotic damage - a review with particular reference to the effects of strong winds. *Forest Ecology and Management* 261-277
- Giorgi, F., Bi, X., Pal, J. (2004): Mean, interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe. II: climate change scenarios (2071-2100). *Climate Dynamics* 2004, 839-858
- Hanson, C., Palutikof, J., Osborn, T., Davies, T., Holt, T., Quine, C. (2003): An integrated assessment of the potential for change in storm activity over Europe: Implications for forestry in the UK, in: Ruck, B., et al. (Hrsg.): *Wind Effects on Trees*, No.
- Hanson, C., Palutikof, J. P., Livermore, M. T. J., Barring, L., Bindi, M., Corte-Real, J., Durao, R., Giannakopoulos, C., Good, P., Holt, T., Kundzewicz, Z., Leckebusch, G. C., Moriondo, M., Radziejewski, M., Santos, J., Schlyter, P., Schwarb, M., Stjernquist, I., Ulbrich, U. (2007): Modelling the impact of climate extremes: an overview of the MICE project. *Climatic Change* 2007, 163-177
- Hunt, B. G., Elliott, T. I. (2006): Climatic trends. *Climate Dynamics* 2006, 567-585
- Jacobeit, J., Wanner, H., Luterbacher, J., Beck, C., Phillip, A., Sturm, K. (2003): Atmospheric circulation variability in the North Atlantic-European area since the mid-seventeenth century. *Climate Dynamics* 341-352
- Kharin, V. V., Zwiers, F. W. (2000): Changes in the extremes in an ensemble of transient climate simulations with a coupled atmosphere-ocean GCM. *Journal of Climate* 3670-3688
- Knippertz, P., Ulbrich, U., Speth, P. (2000): Changing cyclones and surface wind speeds over the north Atlantic and Europe in a transient GHG experiment. *Climate Research* 109-122
- Lambert, S. J. (1995): The effect of enhanced greenhouse warming on winter cyclone frequencies and strengths. *Journal of Climate* 1447-1452
- Lambert, S. J., Fyfe, J. C. (2006): Changes in winter cyclone frequencies and strengths simulated in enhanced greenhouse warming experiments: results from the models participating in the IPCC diagnostic exercise. *Climate Dynamics* 2006, 713-728
- Leckebusch, G., Koffi, B., Ulbrich, U., Pinto, J. G., Spanghel, T., Zacharias, S. (2006): Analysis of frequency and intensity of European winter storm events from a multi-model perspective, at synoptic and regional scales. *Climate Research* 2006, 59-74
- Leckebusch, G., Ulbrich, U. (2004): On the relationship between cyclones and extreme windstorm events over Europe under climate change. *Global and Planetary Change* 2004, 181-193
- Leckebusch, G., Ulbrich, U., Fröhlich, L., Pinto, J. G. (2007): Property loss potentials for European midlatitude storms in a changing climate. *Geophysical Research Letters* 2007, L05703, doi:05710.01029/02006GL027663
- Pinto, J. G., Fröhlich, L., Leckebusch, G. C., Ulbrich, U. (2007a): Changing European storm loss potentials under modified climate conditions according to ensemble simulations of the ECHAM5/MPI-OM1 GCM. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 2007, 165-175
- Pinto, J. G., Spanghel, T., Ulbrich, U., Speth, P. (2006): Assessment of winter cyclone activity in a transient ECHAM4-OPYC3 GHG experiment. *Meteorologische Zeitschrift* 279-291
- Pinto, J. G., Ulbrich, U., Leckebusch, G. C., Spanghel, T., Reyers, M., Zacharias, S. (2007b): Changes in storm track and cyclone activity in three SRES ensemble experiments with the ECHAM5/MPI-OM1 GCM. *Climate Dynamics* 2007, 195-210
- Ulbrich, U. (2008): Personal communication
- Walter, A., Keuler, K., Jacob, D., Knoche, R., Block, A., Kotlarski, S., Müller-Westermeier, G., Rechid, D., Ahrens, W. (2006): A high resolution reference data set of German wind velocity 1951-2001 and comparison with regional climate model results. *Meteorologische Zeitschrift* 15, 585-596
- Zhang, Y., Wang, W.-C. (1997): Model-simulated northern winter cyclone and anticyclone activity under a greenhouse warming scenario. *Journal of Climate* 1616-1634

Ein einzelbaumspezifisches Sturmschadensmodell: Grundlagen, Ergebnisse, Anwendung

von Ulrich Kohnle, Matthias Schmidt, Jürgen Bayer † und Gerald Kändler

Sturmschäden bildeten in der Vergangenheit im langjährigen Mittel mit deutlichem Abstand den größten naturalen Risikofaktor für mitteleuropäische Forstbetriebe. Daran dürfte sich auch in näherer Zukunft nichts ändern: keines der gängigen regionalen Klimaszenarien geht davon aus, dass das Auftreten schadverursachender Starkwindereignisse merklich abnimmt (Albrecht et al., 2008). Forstbetriebe müssen sich daher zwingend damit auseinandersetzen, wie sich entweder a) das Sturmschadensrisiko im Betrieb waldbaulich gezielt beeinflussen lässt oder wie sich b) die Wahl eines bestimmten waldbaulichen Vorgehens auf das Risiko auswirkt.

Hilfreich für die Entscheidungsfindung sind dabei Modelle, die es erlauben, unterschiedliche Szenarien zu vergleichen. Zu beachten ist dabei, dass Modelle die komplexe Wirklichkeit grundsätzlich stark vereinfacht abbilden müssen, um handhabbar zu sein. Trotz des Abstraktionsgrades muss jedoch bei Modellen zur Entscheidungsunterstützung gewährleistet sein, dass sie die grundlegenden Zusammenhänge korrekt abbilden und dazu in der Lage sind, realistische Prognosen zu liefern. Dies trifft für das im

Folgenden dargestellte Sturmschadensmodell zu, das vor kurzem an der FVA entwickelt wurde; eine ausführlichere Darstellung ist in Schmidt et al. (2006) enthalten.

Modellierungsgrundlagen

Hervorragende Möglichkeiten zur Entwicklung eines Sturmschadensmodells boten sich in Baden-Württemberg mit der Durchführung der BWI II knapp zwei Jahre nach dem Sturm „Lothar“ (Dezember 1999). Im Rahmen der Erhebung wurde geprüft, ob an den Stichprobepunkten Lothar Bäume geworfen hatte. Die dem Sturm zum Opfer gefallenen Probestämme, deren Daten bei den Vorinventuren erfasst worden waren, erhielten einen entsprechenden Vermerk. Mit der BWI II lagen damit für knapp 7.000 „Sturmopfer“ und gut 57.000 „Überlebende“ einzelbaumspezifische Daten vor (Baumart, Höhe, Durchmesser). Diese Datenbasis wurde zur Entwicklung eines (statistischen) Sturmschadensmodells verwendet.

Im Verlauf der Modellentwicklung konnten bei der Anpassung eines gene-

ralisierten (verallgemeinerten) additiven Modells (*gam*) verschiedene maßgebliche Einflussfaktoren auf das Schadensrisiko eines Baumes bestimmt und quantifiziert werden: als statistisch signifikant zeigten sich Exponiertheit des Standorts (ausgedrückt über den sog. TOPEX-Index), Baumart und Baumhöhe. Etwas weniger stark abgesichert zeigte sich der Einfluss des h/d-Wertes bei gleichzeitiger Einbeziehung der Höhe als zusätzlichen Faktor. Der Einfluss des Abstandes zum nächsten westlich vorgelagerten Waldaußenrand lag im Grenzbereich der statistischen Absicherung: je nach gewählter Modellvariante und/oder Signifikanzschwelle lag diese Größe unterhalb der Signifikanzschwelle oder zeigte sich grenzwertig signifikant.

Bedauerlicherweise sind für „Lothar“ keine modellverwertbaren meteorologischen Parameter (z.B. Böenspitzenengeschwindigkeiten) für das Windfeld verfügbar: auf dem Feldberg fiel das Messgerät bereits bei den ersten Böen aus, so dass noch nicht einmal die mutmaßlich höchsten Windgeschwindigkeiten in Baden-Württemberg bekannt sind. Für das Sturmschadensmodell musste daher nach einem Ersatz für die fehlenden me-



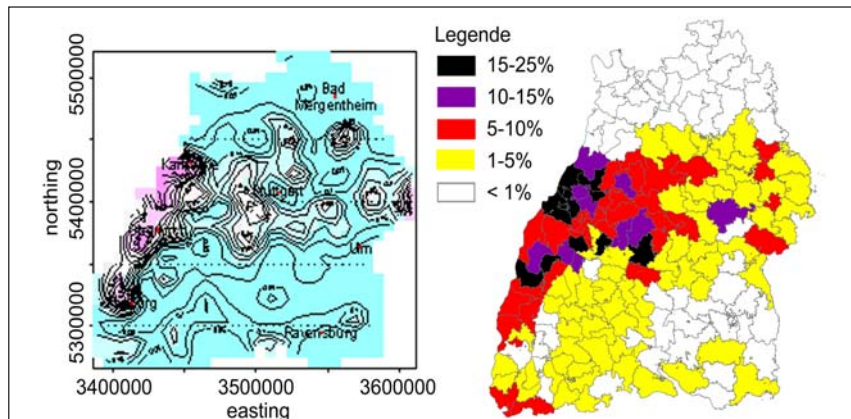


Abb. 1: Räumliches Muster der durch das Sturmschadensmodell prognostizierten Schadenswahrscheinlichkeit für eine durchschnittliche Modellfichte bei landesdurchschnittlicher Exponiertheit (links) und Durchschnittswerte der Anteile der nach Lothar in den Beständen zu verjüngenden Holzbodenfläche je Forstbezirk (rechts).

eteorologischen Parameter gesucht werden. Folgender Lösungsweg wurde eingeschlagen: im Prinzip wurde versucht, aus den an den verschiedenen Inventurpunkten beobachteten Schäden die bekannten schadrelevanten Faktoren (Baumart, Höhe etc.) „herauszurechnen“. Die dabei verbleibende nicht erklärte Reststreuung wurde als direkte Ausprägung der Einflußgröße „Windfeld“ interpretiert und als räumlicher Trend über die geographische Lage der Inventurpunkte modelliert.

Dieser Ansatz ist modellierungstechnisch außerordentlich anspruchsvoll. Er verlangt eine synchrone Parametrisierung der Effekte der bekannten Einflussgrößen und der Modellierung des räumlichen Trends der mit diesen Einflussgrößen nicht erklärten Reststreuung. Erschwert wird dies dadurch, dass verschiedene Faktoren nicht-lineare Einflüsse haben. Im Ergebnis führt der gewählte Ansatz dazu, dass im fertigen Modell an die Stelle der unbekannt meteorologischen Parameter die geographische Lage als „Ersatz“-Parameter für die Charakteristik des „Lothar“-Windfeldes tritt.

Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, durch Veränderungen von Koordinaten in der Modellgleichung Szenarien unterschiedlicher Sturmstärke zu bilden: wird beispielsweise eine Schadprognose für die waldbaulichen Verhältnisse an Punkt A unter Annahme einer Lothar-Stärke getroffen, wie sie an Ort B aufgetreten ist, so werden einfach die Koordinaten von Ort B in das Gleichungssystem für Ort A eingesetzt. Mit den Koordinaten werden dann die damit verbundenen Windfeld-Charakteristika eingespeist, ohne sie messtechnisch erfasst zu haben.

Dieses Vorgehen liefert offenbar plausible Ergebnisse: die unter Annahme einer durchschnittlichen Modell-Fichte prognostizierte räumlichen Muster der wahrscheinlichen Schäden (Abb. 1) stimmt gut mit den Durchschnittswerten im Forstbezirk der bei der „Revision

Wiederbewaldung“ erhobenen Sturmschadflächen (also zu verjüngende Flächen) in den Beständen überein.

Ergebnisse

Umfangreiche Szenarienstudien zeigen, dass die Modellresultate mit den aus Praxiserfahrungen und Fallstudien vorliegenden Expertenerwartungen bezüglich der Bedeutung und Wirkung einzelner schadensbestimmender Faktoren übereinstimmen. Im Gegensatz zu Fallstudien, die immer nur für genau definierte Verhältnisse und Faktoren gelten, ist das Sturmschadensmodell auf einer breiten, einheitlichen Datenbasis parametrisiert. Dadurch eignet es sich hervorragend für Prognoseszenarien, die Wirkung verschiedener Faktoren nicht nur qualitativ analysieren wollen, sondern das Verhältnis ihrer Wirkungen quantifizieren wollen.

Als Beispiel sind im Folgenden einige Szenariostudien dargestellt, bei denen nur ein Einflussfaktor variiert wird, während alle anderen konstant gehalten werden:

Die Modellierung der Sturmschadenswahrscheinlichkeiten für eine Modell-Fichte auf Standorten mit landesdurchschnittlicher Exponiertheit bildet entlang eines vom Nordschwarzwald zum Oberland verlaufenden NW-SE-

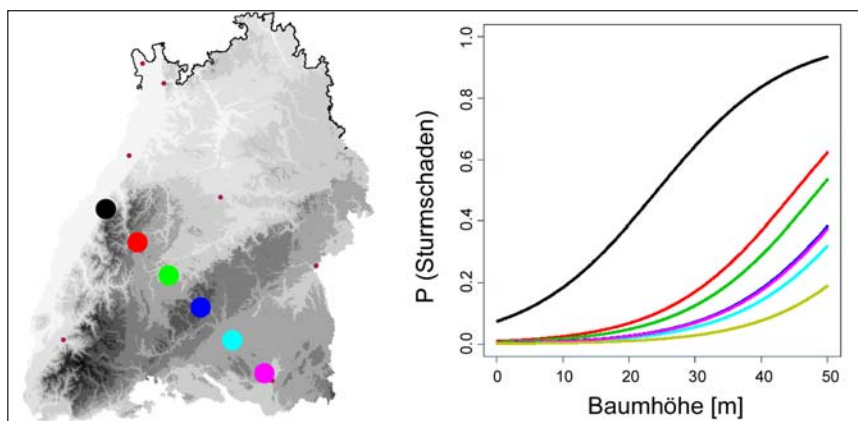


Abb. 2: Sturmschadenswahrscheinlichkeit einer durchschnittl. exponierten Fichte an verschiedenen Punkten im Lothar-Windfeld. Die linke Graphik zeigt die analysierten Orte entlang eines vom Nordschwarzwald nach Oberschwaben verlaufenden NW-SE-Transekts; die rechte Grafik die Schadenswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Baumhöhe am jeweiligen Ort.

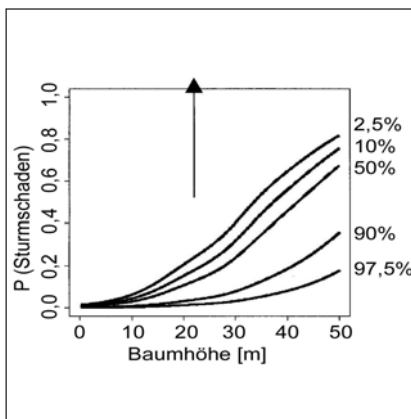


Abb. 3: Entwicklung der Schadwahrscheinlichkeit einer landesdurchschnittlichen Modell-Fichte bei zunehmender Exponiertheit des Standortes; nicht exponiert: TOPEX 97,5 %; stark exponiert: TOPEX 2,5 % (das Szenario gilt für den in Abb. 2 als roten Punkt dargestellten Ort).

Transektes die erwarteten Veränderungen im Windfeld ab (Abb. 2): die vom Modell für den Nordschwarzwald berechneten höchsten Schadriskos stimmen mit den dort bekannten hohen Sturmstärken überein. Die Stärke des Lothar-Windfeldes war in der Lee-Lage des Nordschwarzwaldes mit Sicherheit geringer ausgeprägt und nahm grundsätzlich mit zunehmender SE-Lage in Baden-Württemberg ab. Gleichzeitig zeigt sich, dass an den verschiedenen Orten - bei variierender Risikostärke - die Schadenswahrscheinlichkeit mit zunehmender Baumhöhe ansteigt (Abb. 2).

Auch der Einfluss der Ausgesetztheit eines Standortes entspricht der Erwartung

(Abb. 3). Bei hohen TOPEX-Werten, die Standorten geringer Ausgesetztheit gegen die Hauptwindrichtung entsprechen (z.B. Ebene, geschützte Mulden), treten geringe Schadwahrscheinlichkeiten auf. Diese nehmen mit zunehmender Ausgesetztheit (sinkende TOPEX-Werte) zu und sind bei ausgeprägten Kuppenlagen oder Standorten mit „Düsenwirkung“ am höchsten.

Der Vergleich der Baumarten zeigt unter Annahme gleicher Bedingungen das höchste Schadrisiko für die Baumartengruppe Fichte (Abb. 4). Deutlich geringeren Risiken ausgesetzt sind mit voneinander nicht signifikant verschiedenen Schadenswahrscheinlichkeiten der Baumartengruppen Tanne/Douglasie, gefolgt von den Gruppen Kiefer/Lärche. Die geringsten Schadenswahrscheinlichkeiten ordnet das Modell den Baumartengruppen Buche und Eiche zu. Unbedingt zu berücksichtigen ist bei der Interpretation der abgebildeten Szenarien, dass die Schadenswahrscheinlichkeiten unter sonst gleichen Bedingungen simuliert wurden. Das bedeutet, dass die dargestellten Baumartenvergleiche zum Schadrisiko beispielsweise nur für Bäume gleicher Höhe gelten. Die unterschiedlichen Alters-Höhen-Beziehungen der Baumarten sind gegebenenfalls zusätzlich zu berücksichtigen.

Anwendungsbeispiel

Der derzeitige Entwicklungsstand des Sturmschadensmodells erlaubt neben waldbaulichen Szenariostudien im

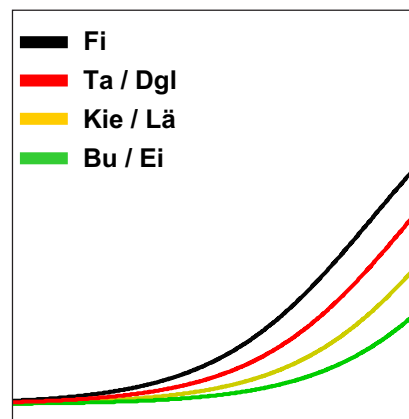


Abb. 4: Entwicklung der Schadwahrscheinlichkeit unterschiedlicher Baumarten in Abhängigkeit ihrer Höhe (das Szenario gilt für den in Abb. 2 als roten Punkt dargestellten Ort).

Prinzip eine Anwendung im Rahmen der Forsteinrichtungsplanung. Denkbar ist die quantifizierende Bewertung der Sturmschadensrisiken vorhandener Bestände unter Annahme bestimmter Sturmerwartungen. Eine für die Bestände im Modellgebiet Altdorfer Wald (Lkr. Ravensburg) exemplarisch durchgeführte Risikobewertung zeigt, dass die erforderlichen Eingangsgrößen für das Sturmschadensmodell in der erforderlichen räumlichen Auflösung aus vorhandenen Datensätzen gewonnen bzw. qualifiziert geschätzt werden können. Die Ausgesetztheit der Standorte (TOPEX) wird in einem kleinräumigen Raster (30x30 Meter-Quadrate) automatisiert aus dem digitalen Geländemodell berechnet. Baumarten-Zusammensetzung und Altersstufe dieser Quadrate ergeben sich durch Verschneiden mit den Bestandesgeometrien (FOGIS). Höhe, Durchmesser und h/d-Werte der Bäume in den Quadraten werden qualifiziert aus Alters-Schätzfunktionen ermittelt, die auf der Basis der gebietsspezifischen BI-Daten parametrisiert sind.

In Abbildung 5 sind die Schadenswahrscheinlichkeiten abgebildet, die sich bei Annahme eines Sturmes mit zwei unterschiedlichen Stärken ergeben: das erste Szenario stellt dar, welchem Risiko die derzeitigen Bestände unterliegen, falls sich „Lothar“ in der Stärke wiederholt, wie



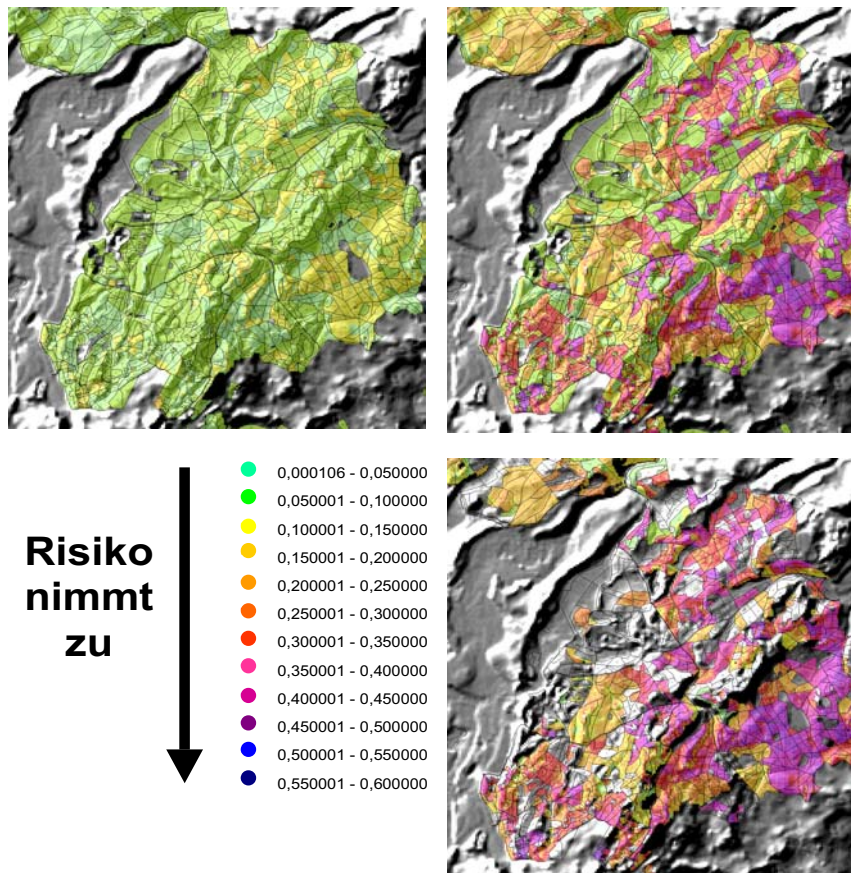


Abb. 5: Ergebnis der Modellierung der Sturmschadenswahrscheinlichkeit für Bestände im Altdorfer Wald (Lkr. Ravensburg) aufbauend auf Forsteinrichtungsdaten (Stichtag 01.01.2006) bei Unterstellung von zwei Sturmszenarien: oben links: alle Bestände; Wiederholung von Lothar 1999 in gebietsspezifischer Stärke; oben rechts: alle Bestände; Lothar 1999 in der Stärke der Nordschwarzwald Lee-Lage (die Lage entspricht dem in Abb. 2 als roter Punkt dargestellten Ort); unten rechts: >60jährige Fichtenbestände im WET Fichten-Mischwald; Lothar 1999 in der Stärke der Nordschwarzwald Lee-Lage.

1999. Das zweite Szenario zeigt die Konsequenzen, die sich ergeben würden, falls im Modellgebiet ein Sturm in der Stärke auftreten würde, mit der „Lothar“ dort beobachtet wurde. Klar zu sehen ist, dass die Schadenswahrscheinlichkeit bei Annahme einer erhöhten Sturmstärke deutlich ansteigt.

Bei Betrachtung der älteren Fichtenbestände (> 60jährig) wird deutlich, dass sie - obwohl zum gleichen WET Fichten-Mischwald gehörend - aufgrund ihrer Bestandeshöhe und kleinräumigen topographischen Situation offenbar deutlich unterschiedlichen Sturmschadensrisiken unterworfen sein können. Als Konsequenz ließen sich aus dieser differenzierten Risikoeinschätzung der Bestände z. B. im Rahmen der Forsteinrichtungsplanung innerhalb des WET nach Risikogruppen gestaffelte Nutzungsstrategien für die Phase der Hauptnutzung ableiten.

Ausblick

Ingesamt kann festgestellt werden, dass das Sturmschadensmodell im derzeitigen Entwicklungsstadium als Werkzeug für waldbauliche Szenariostudien oder betriebliche Entscheidungshilfen einsetzbar ist. Trotzdem bestehen natürlich verschiedene Aspekte für eine Weiterentwicklung. Trotz des statistischen Kunstgriffs, mit dem räumlichen Trend

der unerklärten Streuung das Windfeld des Sturmes indirekt charakterisieren zu können, wäre für Szenariostudien anzustreben, diesen „Ersatz“-Parameter durch tatsächliche meteorologische Windfeldparameter (z. B. Wind-/Böengeschwindigkeit) zu ergänzen (Heneka et al. 2006). Aufgrund der unzureichenden Datengrundlage für die BWI-Punkte ist die Modellierung der Bedeutung des Bodens als Wurzelankersubstrat noch nicht gelöst. An beiden Aspekten wird derzeit gearbeitet. Wünschenswert wäre eine Erweiterung des bisher nur für unbelaubte Verhältnisse bei Winterstürmen parametrisierten Modells an den belaubten Aspekt während der Vegetationszeit.

PD Dr. Ulrich Kohnle
FVA, Abt. Waldwachstum
Tel.: (07 61) 40 18 - 2 51
ulrich.kohnle@forst.bwl.de

Dr. Matthias Schmidt
Nordwestdeutsche FVA, Sachg.
Informatik&Wachstumsmodellierung
matthias.schmidt@nw-fva.de

Dr. Gerald Kändler
FVA, Abt. Biometrie & Informatik
Tel.: (07 61) 40 18 - 1 20
gerald.kaendler@forst.bwl.de

Literatur

- Albrecht, A., Schindler, D., Grebhan, K., Kohnle, U., Mayer, H. (2008): *Klimawandel und Stürme über Europa - eine Literaturübersicht. FVA einblick+ . 01/08: 20-23.*
- Schmidt, M., Bayer, J., Kändler, G. (2006): *Sturm „Lothar“ - Ansatz einer inventurbasierten Risikoanalyse. Jahrestagung der Sektion Ertragskunde im DVFFA 2006 in Staufen, 5-20 http://www.nw-fva.de/~nagell/SektionErtragskunde/band2006/Tag2006_inhalt_cd.pdf*
- Heneka, P., Hofherr, T., Ruck, B., Kottmeier, C. (2006): *Winter storm risk of residential structures - model development and application to the German state of Baden-Württemberg. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 6, S. 721-733.*

Trockenstressrisiko für die Waldbestände in Baden-Württemberg

von Heike Puhmann, Yvonne Morgenstern und Klaus von Wilpert

Die aktuellen Klimaprognosen sagen für weite Teile Baden-Württembergs die Zunahme von Extremwetterlagen und – je nach Standort eine mehr oder weniger starke – Erhöhung des Trockenstressrisikos voraus. Diese Änderungen müssen in die langfristige Baumartenplanung und die Entwicklung langfristiger waldbaulicher Anpassungsstrategien einbezogen werden. Um die Auswirkung des sich ändernden Trockenstressrisikos auf Baumwachstum und -vitalität abschätzen zu können, werden Wasserhaushaltsinformationen im kleinräumigen Geländemaßstab benötigt. Die Wasserverfügbarkeit hängt neben den lokalen Witterungsbedingungen von den hydraulischen Bodeneigenschaften und von Dichte, Baumartenmischung und Wurzelraum der Waldbestände ab. Auf lokaler und kleinräumiger Ebene wird die Wasserverfügbarkeit mittels physikalisch basierter Wasserhaushaltsmodelle berechnet, in welche diese Standortseigenschaften als Steuergrößen eingehen. Das Trockenstressrisiko, d.h. die Auftretenswahrscheinlichkeit von Wassermangel, wird über statistische Auswertungen aus den Modellergebnissen abgeleitet. Die Parameter der so ermittelten Häufigkeitsverteilungen von Wasserdefiziten werden

durch multiple Regressionsmodelle mit Hilfe kartierter Informationen zu Gelände-, Boden- und Bestandeseigenschaften sowie meteorologischen Größen auf größere Landschaften und Regionen übertragen. Unter der Berücksichtigung regionaler Klimaszenarien werden die daraus erstellten Regressionsmodelle verwendet, um das Trockenstressrisiko unter veränderten Klimabedingungen abzuschätzen.

Projektziele

Es soll ein Verfahren entwickelt werden, mit dem die Auftretenswahrscheinlichkeit von Wasserdefiziten für Bestände eingeschätzt werden kann. Das Verfahren soll zum einen die kleinräumigen Standortverhältnisse (Boden, Klima, Geländesituation) berücksichtigen. Zum anderen soll es auch ausreichend flexibel sein, um den Einfluss sich ändernder klimatischer Standortbedingungen auf die Entwicklung von Wasserdefiziten adäquat abbilden zu können. Damit wollen wir einen Beitrag dazu leisten, die waldbauliche Planung im Hinblick auf das (zukünftig unter Umständen erhöhte) Risiko von Trockenschäden zu verbesser-

tern. Dieses Vorhaben soll in den folgenden Teilzielen erreicht werden:

1. Berechnung der Dynamik von Wasserdefiziten auf der Basis einer physikalisch begründeten Modellierung der Bodenwasserströmung,
2. Ableitung von Extremwertverteilungen für Wasserdefizitereignisse,
3. Schätzung der Verteilungsmomente der Wasserdefizite aus Standortseigenschaften (Klima, Geländemorphologie, Boden, Vegetation),
4. Erstellung von Risikokarten für das Auftreten von Wassermangel unter Zugrundelegung der derzeitigen sowie der prognostizierten Klimaverhältnisse.

Untersuchungsgebiete

Die oben genannten Teilziele werden auf vier verschiedenen Untersuchungsebenen verfolgt (Abb. 1):

- An vier Untersuchungsprofilen wird der Bodenwasserhaushalt physikalisch begründet modelliert, wobei für die Modelleichung aus bestehenden Untersuchungsprogrammen (Stoffhaushaltsmessnetze und Waldklimastationen in Baden-Württemberg)

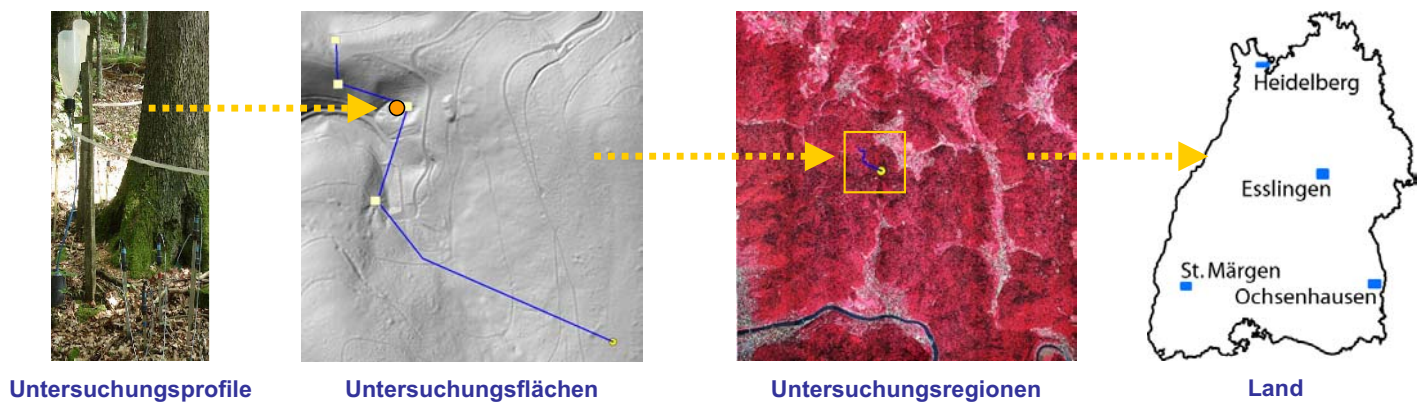


Abb. 1: Verschiedene Untersuchungsebenen zur Beurteilung des Trockenstressrisikos

sämtliche Daten zur Verfügung stehen. Die modellierten Zeitreihen der Bodenwassergehalte und Saugspannungen (Kraft, mit welcher das Wasser im Boden gebunden ist) werden bezüglich des Auftretens von Wasserdefiziten ausgewertet. Über Jahrringanalysen an Bohrkernen werden wachstumsrelevante kritische Saugspannungen abgeleitet. Zeiten, in denen diese Grenzwerte unterschritten werden, werden hinsichtlich ihrer Häufigkeit, ihres Andauerns und der Wasserdefizitmengen ausgewertet und über statistische Verteilungsfunktionen beschrieben.

- Auf ca. 80 m × 1000 m großen Untersuchungsflächen im Umkreis der Untersuchungsprofile wird der Bodenwasserhaushalt ebenfalls physikalisch begründet modelliert. Hierfür müssen die benötigten Eingangsgrößen aus Hilfsgrößen geschätzt bzw. auf den Flächen gemessen werden. Die modellierten Zeitreihen der Bodenwassergehalte und Saugspannungen werden wie für die Untersuchungsprofile hinsichtlich der Wasserdefizite statistisch ausgewertet. In Regressionsanalysen werden Zusammenhänge zwischen den Standortseigenschaften und statistischen Kenngrößen der Defizite abgeleitet.
- Für die 30-50 km² großen Untersuchungsregionen, welche die Untersuchungsflächen beinhalten, ist eine räumlich detaillierte Modellierung des Bodenwasserhaushalts nicht mehr möglich, da die benötigten Daten nicht zur Verfügung stehen. Auf dieser Untersuchungsebene werden statistische Regionalisierungsverfahren entwickelt, um aus flächendeckend vorliegenden Informationen (Digitales Geländemodell, Forsteinrichtungskarten, Bodenkarten etc.) die Auftretenswahrscheinlichkeit von Wasserdefiziten räumlich möglichst hochauflösend vorhersagen zu können.
- Die in den Untersuchungsregionen erarbeiteten Regionalisierungsansätze sollen letztlich auf die Landesfläche von Baden-Württemberg übertragen werden. Ziel ist die Erstellung

von Risikokarten für das Auftreten von Wassermangel unter Annahme der derzeitigen Klimaverhältnisse und verschiedener Szenarien für die Klimaveränderung.

Erste Projektergebnisse

Die auf den verschiedenen Untersuchungsebenen verwendeten Methoden und Modellansätze sowie erste Projektergebnisse werden im Folgenden kurz umrissen.

Bodenwasserhaushalt an den Untersuchungsprofilen

An den Untersuchungsprofilen wurde der Bodenwasserhaushalt mit einem physikalisch begründeten Bodenwasserströmungsmodell modelliert. Hierfür liegen seit 1996 kontinuierliche Messungen der Bodenwassergehalte und Saugspannungen, der Klimagrößen, wie Temperatur, Niederschlag und andere,

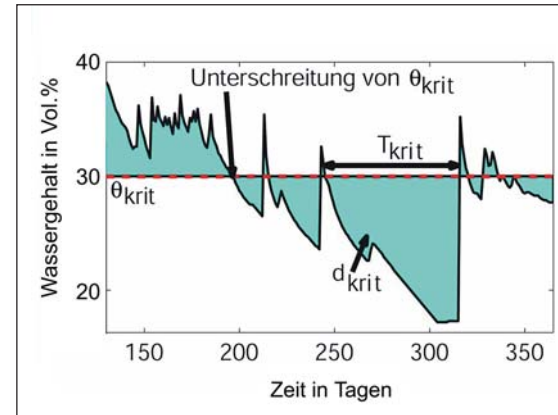


Abb. 2: Zeitliche Entwicklung des Bodenwassergehaltes und Definition der Unterschreitungsmerkmale Dauer T_{krit} und Fehlmenge d_{krit} (Ridolfi et al. 2000)

sowie der Baumreaktionen vor. Die Modelle werden über den Vergleich mit den gemessenen Wassergehalten und Saugspannungen geeicht (Zeitraum 1996-2007). Die Anwendung der validierten Modelle erfolgt für die Jahre 1970-2007 und umfasst damit das Trockenjahr 1976,



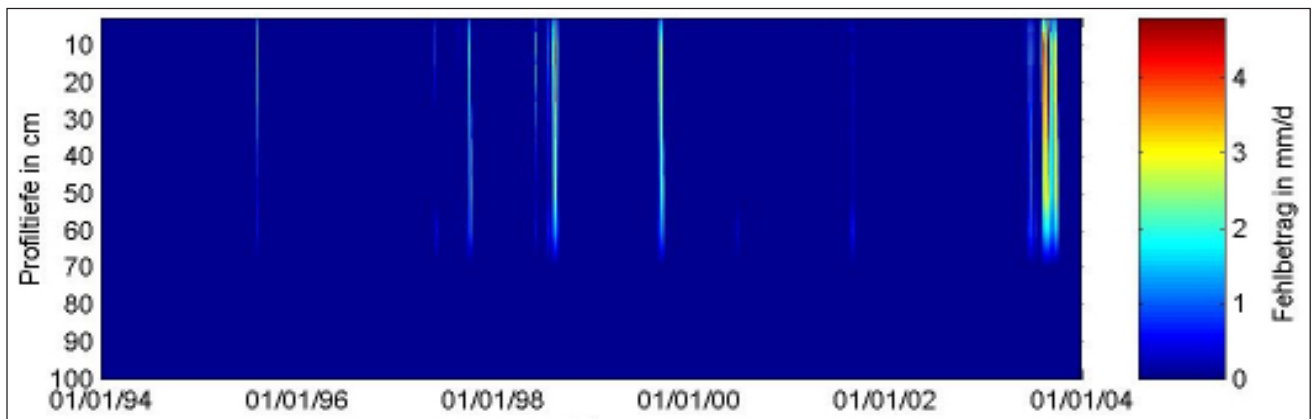


Abb. 3: Anhand der Bodenwasserhaushaltsmodellierung berechnete Fehlmenge (d_{krit} in Abb. 2) für Ochsenhausen

die relativ trockenen Jahre Anfang der 1980er und 1990er Jahre sowie das Extremtrockenjahr 2003.

Kritische Werte für die Wasserverfügbarkeit

Die modellierten Bodenwassergehalte und Saugspannungen werden im Hinblick auf die Wasserverfügbarkeit für Pflanzen ausgewertet. Wassermangel tritt auf, wenn die Bodenwasserspannung einen baumartenspezifischen kritischen Wert unterschreitet. Im Allgemeinen können Pflanzen dem Boden bis zu einer Saugspannung von etwa 15.000 hPa Wasser entziehen. Bereits ab einem

Wert von etwa 1.000 hPa schränken Bäume ihre Transpiration und damit ihren Stoffwechsel ein. Da dieser Wert sehr stark von der Baumart abhängt, leiten wir diesen derzeit für die Hauptbaumarten Buche und Fichte ab. Dazu wird an Bohrspänen aus unmittelbarer Nähe der Untersuchungsprofile die innerjährliche Struktur der Jahrringe untersucht. Dabei wird aus den zeitlichen Variationen der Jahrringstruktur auf die Dauer und die Intensität von Trockenstress geschlossen. Über eine Korrelation mit den Ergebnissen der Bodenwassermodellierung werden kritische Saugspannungen bestimmt.

Häufigkeit und Intensität von Wasserdefiziten

Die für den Zeitraum 1970-2007 modellierten Wassergehalte und Saug-

spannungen werden hinsichtlich der Häufigkeit, Dauer und Intensität von Trockenstressereignissen analysiert. Ridolfi et al. (2000) definieren folgende relevante Größen für das Eintreten von Trockenstress: die Häufigkeit n_{krit} , mit der ein kritischer Wassergehalt (abgeleitet aus der über die Jahrringanalysen abgeleiteten kritischen Saugspannung) unterschritten wird, die Dauer T_{krit} einer solchen Unterschreitung und die mit dieser einhergehenden Wasserfehlmenge d_{krit} (Abb. 2).

Abbildung 3 zeigt beispielhaft die modellierten Fehlmengen für das Untersuchungsprofil Ochsenhausen. Deutlich zu erkennen ist die intensive und lang andauernde Trockenphase im Jahr 2003. Des Weiteren wird ersichtlich, dass sich die zeitliche Entwicklung von Wassermangel für verschiedene Durchwurzelungstiefen ganz unterschiedlich darstellt. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit, das Risiko für Wassermangel in verschiedenen Bodentiefen zu betrachten und nicht nur summarische Bilanzen über die gesamte Durchwurzelungstiefe auszuwerten. Dies ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn Wasserdefizite für verschiedene Baumarten mit sehr unterschiedlicher Tiefendurchwurzelung verglichen werden sollen.

Aus den modellierten Zeitreihen der Bodenwassergehalte und Saugspannungen werden verschiedene Wasserdefizitgrößen abgeleitet und statistisch ausgewertet. Die statistischen Kenngrößen werden anschließend in Beziehung zu verschiedenen Gebiets- und Vegetationseigenschaften gesetzt, was letztlich die flächige Schätzung dieser

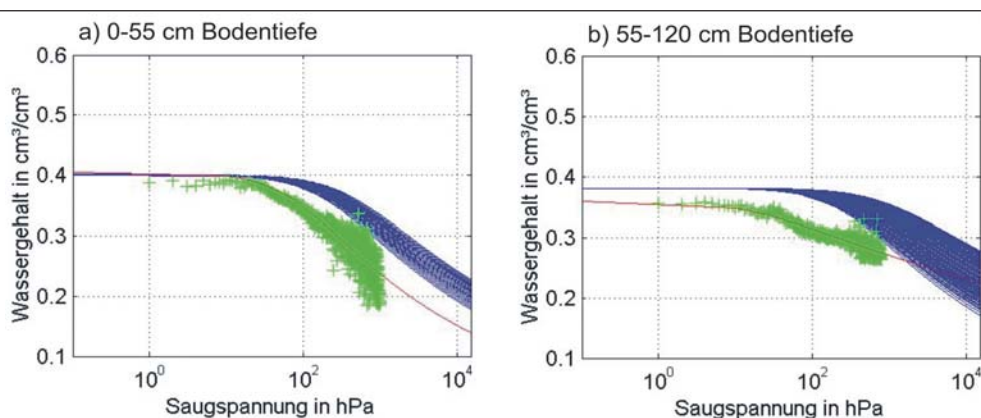


Abb. 4: Schätzung der Retentionsfunktion über die PTF von Teepe et al. (2003) (blaue Linien), aus Feldmessungen von Bodenwassergehalten und Saugspannungen (grüne Punkte) abgeleitete Retentionskurven (rote Linien)

Parameter auf der Ebene der Untersuchungsflächen möglich macht.

Modellierung der Wasserdefizitdynamik

Die Modellierung des Bodenwasserhaushalts wird von den Untersuchungsprofilen auf ca. 1.000 m × 80 m große Untersuchungsflächen ausgedehnt. Da für die Untersuchungsflächen nur wenige gemessene Informationen bezüglich der Boden- und Vegetationseigenschaften vorliegen und diese nicht in der benötigten räumlichen Dichte ermittelt werden können, ist die Modellparametrisierung mit Unsicherheiten behaftet. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, werden die Bodeneigenschaften in den Untersuchungsflächen nicht durch exakt gemessene Werte beschrieben, sondern durch Häufigkeitsverteilungen, welche einen möglichen Wertebereich abdecken. Dies ermöglicht es abzuschätzen, inwieweit unscharfe Angaben zu den Boden- und Vegetationseigenschaften die modellierten Wassergehalte und Saugspannungen beeinflussen.

Verbesserte Schätzung der Bodeneigenschaften

Für die Untersuchungsflächen liegen bisher keine gemessenen Informationen zu den bodenhydraulischen Eigenschaften (Wasserspeicher- und -leitfähigkeit) vor. In solchen Fällen ist es üblich, diese Bodeneigenschaften über Pedotransferfunktionen (PTF) aus einfacher zu erhe-

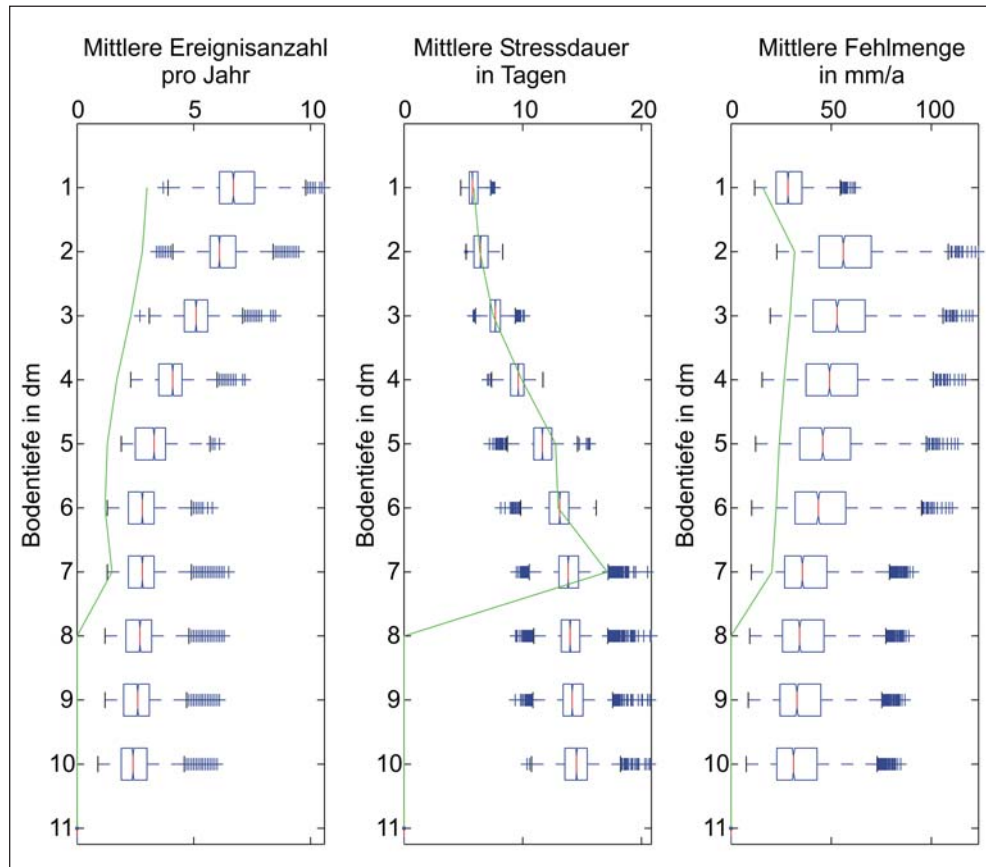


Abb. 5: Tiefenprofile (Boxplots) von Häufigkeiten, Dauer und Fehlmengen von Perioden mit Wasser-mangel für den Zeitraum 01.01.94 - 31.12.03 unter Verwendung der PTF-Schätzung. Grüne Linien = Ergebnisse unter Verwendung der Feld-Retentionskurve

benden Kenngrößen wie Korngrößenverteilung und Lagerungsdichte abzuleiten. Das nachfolgende Beispiel verdeutlicht die Unsicherheiten, welche die Schät-

zung der Bodeneigenschaften über Pedotransferfunktionen mit sich bringt. Wir verwendeten eine weit verbreitete PTF (Teepe et al. 2003), um für das Untersuchungsprofil Ochsenhausen den Bodenwasserhaushalt für den Zeitraum 1994 bis 2003 zu modellieren. Diese PTF schätzt die Retentionskurve (Beziehung zwischen Bodenwassergehalt und Saugspannung) im Wesentlichen aus der Korngrößenverteilung (Volumenanteile von Sand, Schluff und Ton). Diese Angaben wurden der Profilbeschreibung der





Abb. 6: Auslaufapparat zur simultanen Bestimmung der Retentions- und der ungesättigten Leitfähigkeitskurve an bis zu 10 Bodenproben

forstlichen Standortsaufnahme entnommen. Die Ungenauigkeiten in der Texturschätzung am Bodenprofil schlagen sich in einer Auffächerung der mit der PTF berechneten Retentionskurven nieder (Abb. 4).

Für alle in Abbildung 4 abgebildeten Retentionskurven wurde der Bodenwasserhaushalt modelliert und die Werte T_{krit} , n_{krit} und d_{krit} (vgl. Abb. 2) abgeleitet. Als kritischer Grenzwert wurde dabei für jede Retentionskurve der Wassergehalt bei Saugspannung von 1.000 hPa ermittelt. Die Abweichungen zwischen den Retentionskurven von Feldbeobachtungen und PTF-Schätzung (Abb. 4) führen zu erheblichen Unterschieden in den berechneten Wasserdefizitgrößen (Abb. 5).

Die aus den PTF-Modellierungen abgeleiteten Wasserdefizitgrößen variieren zudem erheblich. Der Vergleich der simulierten Tiefenprofile mit den Modellergebnissen auf der Grundlage der Feld-Retentionskurve zeigt, dass bis in 60 cm Bodentiefe die Dauer der einzelnen Stressereignisse mit den PTF im Mittel sehr gut abgebildet wird, die Anzahl solcher Ereignisse (und damit auch die resultierende Fehlmenge) jedoch stark überschätzt wird.

Dieses Beispiel zeigt, dass Pedotransferfunktionen prinzipiell geeignet sind, bodenhydraulische Eingangsgrößen für die Bodenwassermodellierung bereitzustellen, wenn keine Messwerte der Retentions- und Leitfähigkeitscharakteristika zur Verfügung stehen. Mit der Verwendung von Pedotransferfunktionen nehmen gleichzeitig aber die Unsicherheiten in den modellierten Wassergehalten und Saugspannungen zu. Ein übergeordnetes Ziel unserer Projektarbeit ist es, die Sicherheit von PTF-Schätzungen zu verbessern. Hierfür ist auf den Untersuchungsflächen eine umfangreiche Messkampagne vorgesehen, in welcher entlang von Hangtransekten vereinfachte Bodenprofilansprachen erfolgen und die Eingangsgrößen in Pedotransferfunktionen bestimmt werden (12 Bodenprofile und 750 Bohrstockanalysen je Untersuchungsfläche). Zudem werden an allen Profilen Bodenproben gewonnen, an denen im Labor in Auslaufversuchen die Retentions- und Leitfähigkeitscharakteristika bestimmt wer-

den (Abb. 6). Mit Hilfe dieser Daten kann die verwendete Pedotransferfunktion validiert und gegebenenfalls durch Einbeziehung geländemorphologischer Größen (z.B. Reliefposition) verbessert werden. Dies ermöglicht eine bessere Schätzung der bodenhydraulischen Eingangsgrößen bei der Bodenwassermodellierung für die Untersuchungsflächen und letztlich eine gesicherte Abschätzung des Trockenstressrisikos.

Daten für die Modelleichung

Bei der Wasserhaushaltsmodellierung für größere Flächen besteht in aller Regel das Problem, adäquate Daten – räumlich und zeitlich genügend auflösende Messungen der Saugspannungen und/oder Bodenwassergehalte – für die Modelleichung zu gewinnen. Aufgrund des hohen instrumentellen Aufwandes werden in der Regel Zeitreihen an einigen wenigen Messpunkten erhoben, welche die räumliche Heterogenität der Waldbestände nur unzureichend berücksichtigen. Eine Alternative bietet das von Wöhrlé (2006) vorgestellte Verfahren der „zufällig wandernden Messplots“ (= randomised moving plots RMP), welches davon ausgeht, dass zahlreiche Kenngrößen des Stoff- und Wasserhaushalts einem saisonalen Muster folgen beziehungsweise extern angetrieben werden. Damit muss das zeitliche Muster nicht unbedingt am Messpunkt erfasst werden, sondern kann mit Hilfe von ortsunabhängigen „Globalvariablen“, die für die betrachtete Fläche einheitlich wirksam sind (z. B. Strahlungsbilanz, Freilandniederschlag), erklärt werden. An den einzelnen Messpunkten kann daher auf die Erfassung der vollständigen Zeitreihe verzichtet werden. Die dadurch frei werdenden Messkapazitäten werden in die Erfassung der räumlichen Heterogenität investiert, indem man an vielen verschiedenen Einzelpunkten jeweils nur einen kurzen Ausschnitt der Zeitreihe erfasst, um so die Abweichung vom Globalmodell zu erklären.

Wir verwenden das RMP-Verfahren, um die zeitliche und räumliche Variation der Bodenwassergehalte in den Untersu-

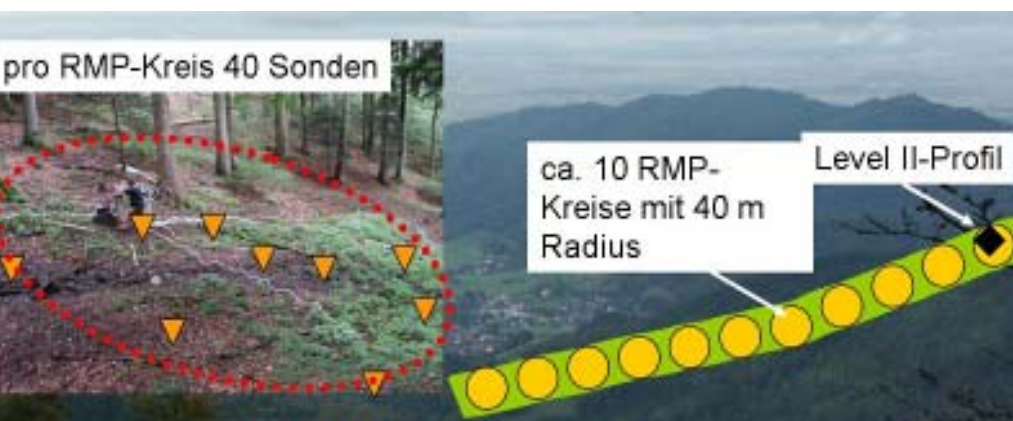


Abb. 7: Messung der Bodenwassergehalte entlang eines Transekts nach dem Konzept der zufällig wandernden Messplots

chungsflächen zu erfassen und damit die Datengrundlage für die Eichung der Bodenwasserhaushaltsmodelle zu verbessern. In jeder Untersuchungsfläche werden entlang eines Geländegradients je 12 RMP-Messkreise angelegt (Abb. 7). Auf jedem RMP-Messkreis werden für 31 Bodenfeuchtesonden zufällige Messpo-

sitionen festgelegt, an welchen über einen Zeitraum von 14 Tagen zeitlich hoch aufgelöst der Bodenwassergehalt in 10-30 cm Bodentiefe gemessen wird. Danach werden die Sonden auf ein neues, zufällig gewähltes RMP-Messfeld umgesetzt und dort werden die Messungen wieder 14 Tage lang durchgeführt. Dieses

Verfahren wird ein Jahr lang wiederholt, so dass auf jeder Untersuchungsfläche 26×31 kurze Zeitreihen der Bodenwassergehalte erhalten werden können.

An jedem der 26×31 Messpunkte wird ein Satz erklärender Einflussgrößen (Bodenaufbau, Steingehalt, Baumbestand usw.) aufgenommen, der die Über-

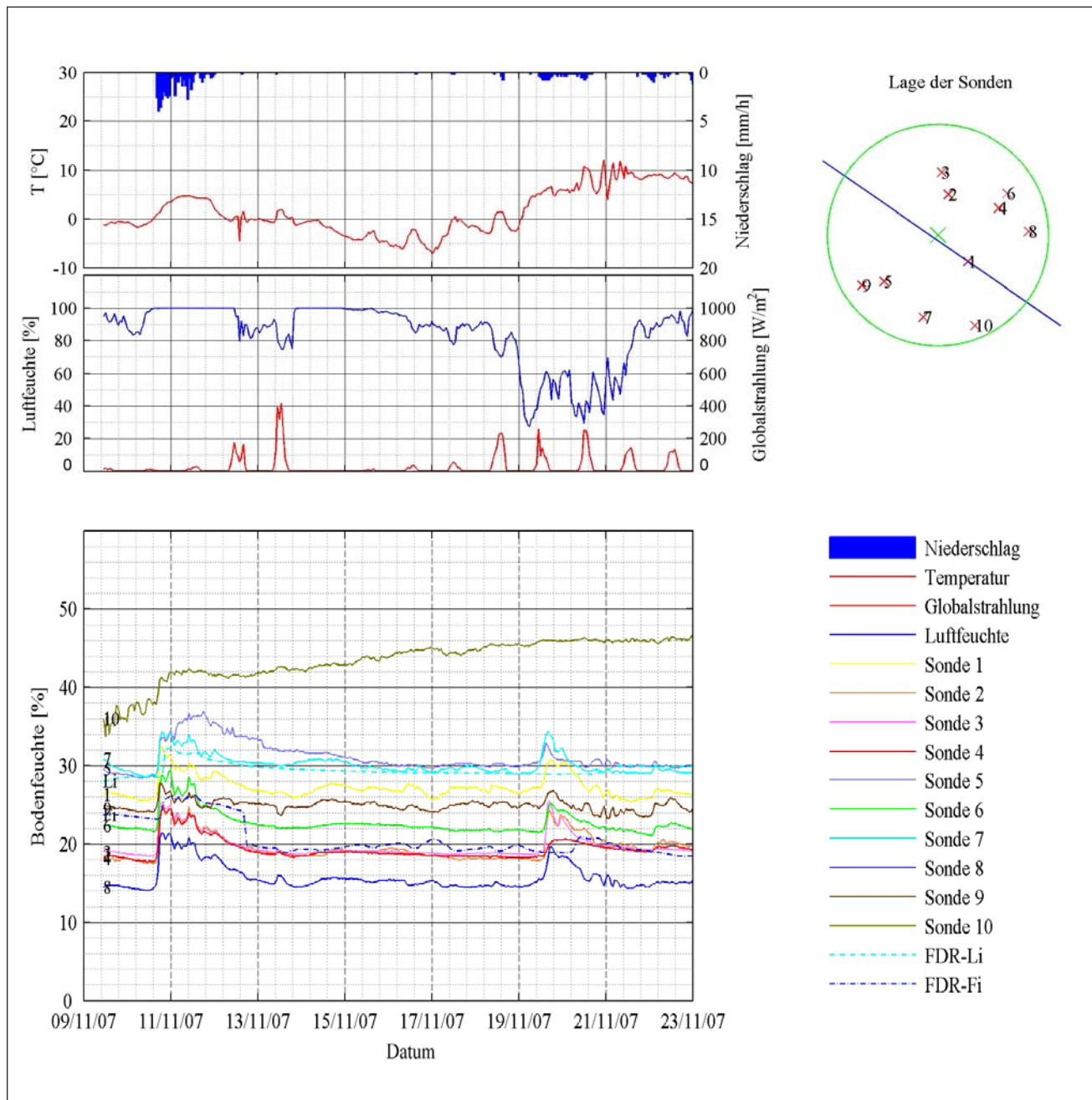


Abb. 8: Gemessene Bodenwassergehalte an 10 zufällig gewählten Messpositionen (untere Grafik), Messungen der Globalvariablen Temperatur und Niederschlag (obere Grafik) sowie Luftfeuchte und Globalstrahlung (mittlere Grafik). In der unteren Grafik geben FDR-Li und FDR-Fi die Bodenwassergehalte an den zwei permanent installierten Messpositionen an. Rechts oben die Lage der Bodenfeuchtesonden innerhalb des RMP-Messkreises (Arnstadt 2008).

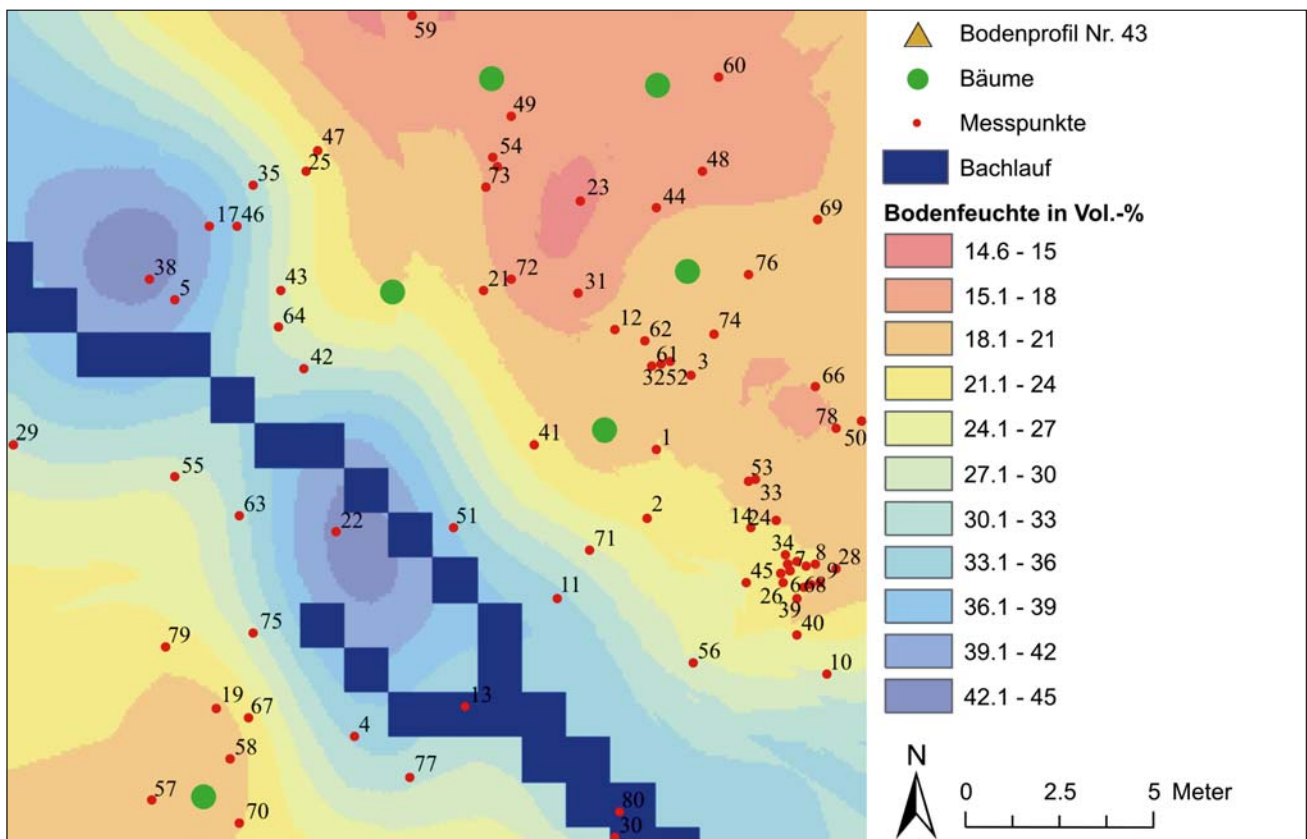


Abb. 9: Verteilung der Bodenwassergehalte innerhalb eines RMP-Messkreises; ermittelt aus dem Globalmodell und den Abweichungen der Bodenwassergehalte dieses Globalmodells (Arnstadt 2008)

tragung der Messwerte auf nicht gemessene Geländepositionen erlaubt. Zusätzlich werden über den gesamten Zeitraum kontinuierlich Klima- und Bodenwasserhaushaltsgrößen an zwei permanent installierten Messpunkten auf dem Transekt gemessen. Mit Hilfe dieser Größen

soll der mittlere Verlauf der Bodenwassergehalte in den Untersuchungsflächen und ihre räumliche Variabilität beschrieben werden. Abbildung 8 zeigt beispielhaft die Messungen innerhalb eines RMP-Messkreises, die gemessenen Globalvariablen sowie die zufällige Anordnung der Sondenpositionen.

Die Abweichungen der gemessenen Bodenwassergehalte von der Schätzung des Globalmodells können mit Hilfe gestatistischer Verfahren räumlich interpretiert werden. Abbildung 9 zeigt den mittleren Bodenwassergehalt einer RMP-

Messperiode (14 Tage) in seinem räumlichen Muster innerhalb des RMP-Messkreises.

Mit Hilfe der gewählten Messanordnung kann sowohl die kleinräumige Variabilität der Bodenwassergehalte (innerhalb der RMP-Messkreise) als auch großräumige Trends (durch das Versetzen der RMP-Messkreise entlang der Transekte) erfasst werden. An allen zufälligen Messpunkten werden die Retentionskurven geschätzt, um von den Wassergehaltsmessungen auf die für den Trockenstress relevanten Saugspannungen schließen zu können.

Die mit dem RMP-Verfahren erhobenen Daten dienen der Eichung der Bodenwassermodelle auf den Untersuchungsflächen. Analog zum Vorgehen für die Untersuchungsprofile werden die validierten Modelle für den Zeitraum 1970-2007 angewandt und aus den Modellergebnissen die statistischen Momente der Extremwertverteilungen für die Stressgrößen Dauer und Fehlmenge bestimmt. Daraus werden rasterbezogene Karten (Raster 5-25 m) für die Häufigkeit bestimmter Dauern/Fehlmen-



gen bzw. für die Dauern/Fehlmengen einer bestimmter Häufigkeit über den gesamten Bereich der Untersuchungsflächen generiert.

Übertragung der Risikostatistik

Aufbauend auf die kartierten Bodenwasserdefizite im Bereich der Untersuchungsflächen werden Zusammenhänge zwischen Gebietseigenschaften und der Auftretenswahrscheinlichkeit von Wassermangel abgeleitet und Regressionsmodelle für statistische Kenngrößen des Auftretens von Bodenwasserdefiziten (Häufigkeit bestimmter Dauern/Fehlmengen bzw. für Dauern/Fehlmengen einer bestimmter Häufigkeit) erstellt. Diesen Untersuchungen liegt die Annahme zugrunde, dass die Ausprägung von Wasserdefiziten im Wesentlichen durch die Geländemorphologie gesteuert wird, die wiederum die Klimabedingungen sowie Boden- und Vegetationseigenschaften überprägt. Mit Hilfe der zu entwickelnden Regionalisierungsverfahren können die statistischen Momente der Verteilungsfunktionen für die Auftretenswahrscheinlichkeit von Wassermangel auch ohne aufwändige Modellierungen des Bodenwasserhaushalts abgeleitet werden. Die erarbeiteten Regionalisierungsansätze werden anschließend genutzt, um die Verteilungsmomente des Wasserdefizits für weiter ausgedehnte Untersuchungsregionen zu berechnen und diese in Form von Trockenstresskarten zusammenzuführen. Diese Karten weisen für die Modellregionen und Baden-Württemberg Areale mit erhöhter Dürrewahrscheinlichkeit aus.

Validierung der Regionalisierungsansätze

2004 wurden in den Untersuchungsregionen vollflächige Colorinfrarot-Luftbild-Szenen aufgenommen (Abb. 10 links). In einer Kooperation mit der Abteilung Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme der Universität Freiburg wurden in diesen Luftbildern

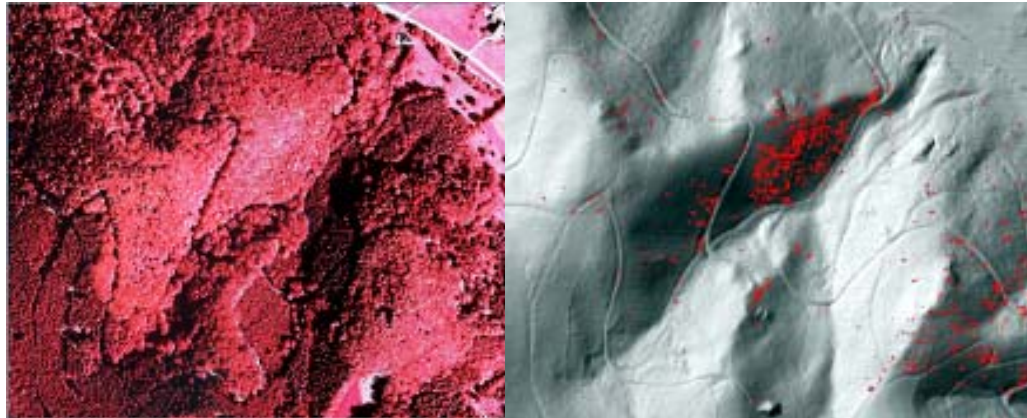


Abb. 10: Ausschnitt aus einem Color-Infrarot-Luftbild (links) und Auswertung bezüglich Kronenschäden (rechts)

abgestorbene Kronen und Kronenteile in einer hohen räumlichen Auflösung (20 x 20 cm) identifiziert (Abb. 10 rechts). Diese Daten liefern eine wertvolle Grundlage für die Validierung der Regionalisierungsansätze für das Auftreten von Trockenstress.

Die bisherigen Auswertungen verdeutlichen den großen Einfluss der Geländemorphologie auf die Ausbreitung von Trockenschäden im Kronenraum. Neben der Hangrichtung und der Exponiertheit eines Geländepunktes ist der Topographische Feuchteindex eine signifikante Erklärungsgröße für die beobachteten Kronenschäden. Die erstellten Regressionsmodelle, welche die Geländemorphologie sowie Boden- und Bestandeseigenschaften als erklärende Größe einbeziehen, erklären nur etwa 50 % der beobachteten Varianz in den Kronenschäden. Derzeit wird untersucht, inwieweit das Einbeziehen von Wasserhaushaltsinformationen die Erklärungsgüte der Regressionsmodelle erhöht.

Ausblick

Übergeordnetes Ziel der vorgestellten Projektarbeiten ist die Erstellung von verschiedenen Risikokarten für das Auftreten von Trockenstress für die Waldbestände im Bundesland Baden-Württemberg. Die kartierten Informationen werden den Besitzern und Verwaltungen

zusätzlich in Form einer langfristigen Planungsgrundlage zur Verfügung gestellt, welche die Wahl geeigneter waldbaulicher Maßnahmen und Optionen für Waldbestände vereinfachen kann.

In der ersten Phase werden Risikokarten zunächst für die derzeitigen beziehungsweise die vergangenen Klimabedingungen entwickelt. Im weiteren Projektfortschritt werden diese Karten unter Verwendung verschiedener Klimaszenarien erstellt, um das sich ändernde Trockenstressrisiko unter dem Einfluss eines sich ändernden Klimas abzubilden.

Dr. Heike Puhlmann
FVA, Abt. Boden und Umwelt
Tel.: (07 61) 40 18 - 2 24
heike.puhlmann@forst.bwl.de

Literatur

- Arnstadt, T. (2008): Erfassung der Dynamik einer Sättigungsfläche mit Hilfe zufällig wandernder Messfelder. Diplomarbeit. Internationales Hochschulinstitut Zittau.
- Ridolfi, L., D'Odorico, P., Porporato, A. und Rodriguez-Iturbe, I. (2000): Duration and frequency of water stress in vegetation: An analytical model. *Wat. Resour. Res.* 36 (8): 2297-2307.
- Teepe, R., Dilling, H. und Beese, F. (2003): Estimating water retention curves of forest soils from soil texture and bulk density. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 166: 111-119.
- Wöhrle, N. (2006): Randomisiert wandernde Messplots. Raum-Zeit-Modellierung von Parametern des Stoffhaushaltes in heterogenen Kalkbuchenwäldern. *Freiburger Bodenkundl. Abh.* 44. 145 S.

Forstinsekten im Klimawandel – alte Bekannte mit neuem Potenzial?

von Ralf Petercord, Holger Veit, Horst Delb und Hansjochen Schröter

Haben wir aufgrund des Klimawandels mit einer Zunahme von Insekten-schäden im Wald zu rechnen? Auf die Beantwortung dieser Frage zielen die aktuellen Untersuchungen der Abteilung Waldschutz an der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA) im Rahmen des Projekts zur Abschätzung der Klimafolgen.

Die genauen Auswirkungen des Klimawandels auf die Schadorganismen im Wirkungsgefüge von Waldökosystemen sind bisher weitestgehend unbekannt. In der Literatur werden zumeist pauschale Aussagen getroffen, die von einer allgemeinen Förderung der Schadinsekten und -pilze durch die sich verändernden Witterungsbedingungen (Temperaturanstieg, Veränderung der Niederschlagsverteilung, extreme Witterungsereignisse) ausgehen und damit generell eine höhere Gefährdung der Waldbestände zugrunde legen (FEEMERS et al., 2003; KROMP-KOLB, 2003). Quantitative Untersuchungen auf Artniveau, die eine Beurteilung hinsichtlich der Wirkung auf die Waldökosysteme ermöglichen würden, fehlen dagegen bisher weitgehend. Die offensichtliche Vernachlässigung dieser Problematik im Rahmen der gegenwärtig

diskutierten Modelle zur Gefährdung der Baumarten durch den Klimawandel stellt einen nicht zu unterschätzenden Mangel dieser Modelle dar. Prognosen zur zukünftigen Waldentwicklung und Artenverteilung bedürfen jedoch einer gründlichen Analyse aller Einflüsse und Wechselwirkungen, um der Komplexität dieser Ökosysteme gerecht zu werden. Auf der Grundlage bisheriger Erkenntnisse können diese daher nur sehr eingeschränkt getroffen werden.

Aktuelle Klimaprognosen

Aktuelle Prognosen zur Veränderung der regionalen Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse gehen im Wesentlichen für Deutschland im Flächenmittel von einer weiteren Temperaturerhöhung und einer Abnahme der Niederschlagsmengen in den Sommermonaten sowie einer Zunahme der Niederschlagsmengen im Winter aus. Weiterhin wird prognostiziert, dass die Häufigkeit von Extremereignissen wie Orkanen, Starkregen, Hagelschauern und Dürreperioden zunehmen wird (SPEKAT et al., 2007). Für das Ausmaß dieser Veränderungen existieren

verschiedene Szenarien, die von optimistischen bis pessimistischen Annahmen ausgehen. Allerdings sind Prognosen der zukünftigen Klimaentwicklung, die sich bisher auf die Veränderung von Jahres- oder bestenfalls Jahreszeiten bezogenen Durchschnittswerten beschränken, nicht hinreichend genau, um aus ihnen Prognosen eines zukünftigen Risikos für Waldbestände durch Schadinsekten abzuleiten.

Witterung steuert die Populationsdynamik

Für die Insekten sind die Witterungsverläufe während ihrer artspezifischen Entwicklungsphasen von größter Bedeutung. Seit Anbeginn der geregelten Forstwirtschaft sind in ihren Auswirkungen verheerende Massenvermehrungen (Gradationen) z. B. des Buchdruckers (*Ips typographus* L.) dokumentiert (z.B. WELLENSTEIN, 1954, BECKER & SCHRÖTER, 2001). Diese standen immer in Verbindung mit vorangegangenen Sturmschäden oder traten in Zusammenhang mit Schneebruchereignissen oder Trockenperioden auf (s. Abb.1). Die Häufigkeit, mit der diese Witterungsereignisse eingetreten sind, haben den Schadholzanfall in der Vergangenheit wesentlich bestimmt und werden diesen auch in der Zukunft maßgeblich beeinflussen.

Sturmereignisse liefern das notwendige Brutmaterial und sind damit die Initialzündung für Massenvermehrungen des Buchdruckers (SCHRÖTER et al., 1998). Erhöhte Temperaturen und geringe Niederschläge in der Vegetationszeit schwächen die potenziellen Wirtsbäume und bewirken gleichzeitig bei den wechselwarmen Insekten eine Erhöhung der Aktivität. Dies kann zur Vorverlegung der Schwärmzeit und zur vorgezogenen Anlage der Brutsysteme führen.

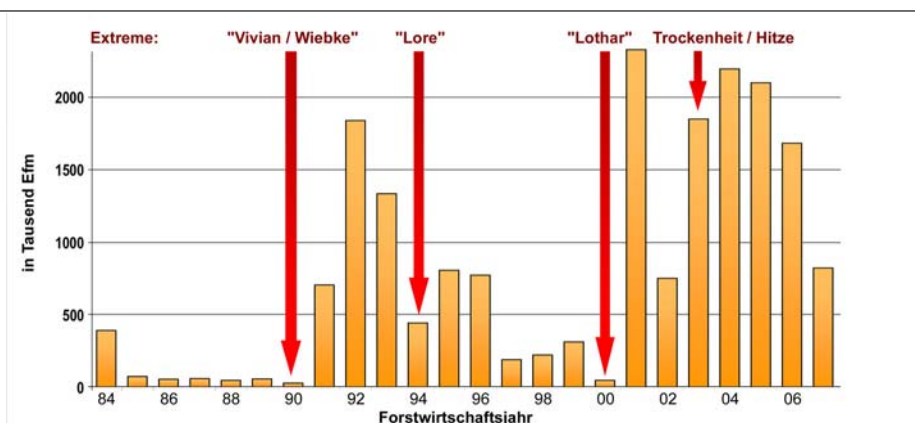


Abb. 1: Zufällige Nutzungen durch Insektenschäden 1984 – 2007 für den Gesamtwald Baden-Württemberg (Daten: LfV Baden-Württemberg)

Gegebenenfalls verkürzt sich die Entwicklungszeit der einzelnen Stadien und auch der Aktivitätsradius der geschlechtsreifen Käfer kann sich erweitern. Die Generationenabfolge und die Ausbreitungsdynamik des Buchdruckers wird so über die Temperaturerhöhung in Abhängigkeit vom jeweiligen Reaktionsspektrum der Art verändert. Auch die zu erwartende Temperaturzunahme in den Wintermonaten kann erhebliche Auswirkungen auf die Vitalität der Käfer haben. Je nach Überwinterungsort, im Boden oder in den Brutsystemen, kann die Wintermortalität zu- oder abnehmen und so den Gradationsverlauf abschwächen oder verstärken, dabei sind insbesondere auch die Auswirkungen auf den jeweiligen Gegenspielerkomplex von besonderer Bedeutung (FEEMERS et al., 2003).

Komplexes Massenwechselgeschehen

Grundsätzlich kann der Verlauf der Massenwechsel bei den verschiedenen Insektenarten aber nicht allein auf den Witterungsverlauf zurückgeführt werden. Vielmehr gilt es, bei den Auswirkungen des Klimawandels auf die Insekten eine ökosystembezogene Analyse vorzunehmen. Der Massenwechsel der Forstinsekten, der unregelmäßig oder periodisch zu regionalen und überregionalen Kalamitäten führt, wird durch eine Vielzahl von Massenwechselfaktoren bestimmt (SCHWERDTFEGGER, 1941). Dabei handelt es sich neben dem Witterungsverlauf in der jeweiligen Entwicklungsphase des Insekts, auch um das zur Verfügung stehende Nahrungs- bzw. Brutraumangebot und die Konkurrenzsituation mit anderen Arten mit gleichen oder ähnlichen Nahrungsspektren. Die Häufigkeit von Räubern und Parasitoiden als potenziellen Gegenspielern oder das Auftreten und die Virulenz von Krankheitserregern in der Insektenpopulation können wesentlichen Einfluss auf die Massenvermehrung nehmen. Zwischen diesen Faktoren, die in ihrer Bedeutung für den Massenwechsel unterschiedlich stark zu werten sind, gibt es zahlreiche Wechselwirkungen, so dass ein komplexes Wir-

kungsgefüge zugrunde gelegt werden muss (SCHWERDTFEGGER, 1941). Auch in der Vergangenheit hat es immer wieder Massenvermehrungen bestimmter Forstinsekten gegeben und ebenso wie man nicht jedes Sturmereignis auf den Klimawandel zurückführen kann, ist ein Zusammenhang zwischen den bereits zu beobachtenden Klimaveränderungen und den aktuell durch Insekten verursachten Waldschäden auf keinen Fall immer zwingend belegbar. Dies gilt z.B. für den Grauen Lärchenwickler (*Zeiraphera diniana* Gn.), der in den Alpen schon seit mehr als tausend Jahren regelmäßige Gradationen durchläuft, was anhand jahrringchronologischer Untersuchungen nachgewiesen werden konnte (BALTENSWEILER UND FISCHLIN, 1988; ESPER et al., 2007).

Reaktionen nach Witterungsextremen

Mit dem extrem trocken-warmen Sommer 2003 und der Dürreperiode im Frühsommer 2006 lagen Witterungsextreme vor, die exemplarisch für zukünftige Witterungsverläufe stehen könnten und von denen wärmeliebende Arten mit hohem Vermehrungspotenzial und der Fähigkeit zur raschen Generationenabfolge (plurivoltine Arten) besonders profitieren konnten (SCHRÖTER, 2004). Sie sind die potenziellen „Gewinner“ des Klimawandels. Differenzialdiagnostische Analysen des aktuellen Schadgeschehens nach 2003 ermöglichen die Entwicklung von Prognosemodellen zur zukünftigen Risikoabschätzung.

Grundsätzlich können Klimaveränderungen über die Vermehrungsrate einer Art direkte und / oder über die Wirkung auf die Physiologie der jeweiligen Wirtspflanzen indirekte Auswirkungen auf die Schadinsekten haben. Auch potenzielle Antagonisten profitieren möglicherweise von besseren Entwicklungsbedingungen, wodurch die Dynamik einer Gradation auch gebremst werden könnte. Bei den direkten Folgen kann zwischen Ausbreitungs- und Anpassungsprozessen (Migration und Adaption) unterschieden werden (KROMP-KOLB, 2003).

Migration

Einheimische Arten aber auch bisher gebietsfremde, invasive Arten können bei veränderten Klimabedingungen neue Lebensräume für sich erschließen bzw. konkurrenzfähiger werden. Durch diese Arealveränderungen kann sich die Gefährdungssituation in einer Region wesentlich verändern. Ein aktuelles Beispiel für eine Anpassung liefert der Eichenprozessionsspinner (*Thaumetopoea processionea* L.). Seit Mitte der 1990'er Jahre wird diese wärmeliebende, auf Eiche spezialisierte, einheimische Schmetterlingsart zunehmend auffälliger und hat offensichtlich in Folge der Witterungsverläufe ihr Verbreitungsgebiet erweitert. War die Art in der Vergangenheit auf einzelne disponierte Wärmeinseln beschränkt, so kommt sie jetzt im gesamten Eichenverbreitungsgebiet Baden-Württembergs vor (BUB et al., 2006; DELB & VEIT, 2007). Es ist zu erwarten, dass auch Insektenarten aus dem Mittelmeerraum, wie z.B. der Piniennprozessionsspinner (*Thaumetopoea pityocampa* DENIS & SCHIFF) über die Burgundische Pforte zukünftig auch in das Rheintal nach Baden-Württemberg einwandern werden (FORSTER, 2006). Die ursprünglich mediterran an Linde vorkommende Malvenwanze (*Oxycarenus lavaterae* FABR.) hat diesen Schritt bereits erfolgreich vollzogen. Erste Massenvermehrungen sind aus der benachbarten Schweiz und auch aus dem Südwesten



Abb. 2: Verbreitungsgebiet des Eichenprozessionsspinners (*Thaumetopoea processionea* L.) 1995 – 2007



Abb. 3: „Larvenprozession“ des Eichenprozessionsspinners (*Thaumetopoea processionea* L.)

Baden-Württembergs bekannt (FORSTER, 2006). Anhand dieser Ausbreitungsdynamik lassen sich beispielsweise artspezifische Temperaturgrenzen ermitteln.

Anpassung

Schadorganismen, speziell Insekten können sich in Bezug auf ihre Vitalität und Lebensdauer oder ihre Entwicklungsdauer und Vermehrungsleistung an sich verändernde Umweltbedingungen vergleichsweise schnell anpassen. Darüber hinaus kann sich auch das Verhalten einer Art in Bezug auf die Wirtspflanzenwahl verändern.



Abb. 4: Technische Holzwertung durch den Stehendbefall des Laubnutzholzborkenkäfers (*Trypodendron domesticum* L.)

Temperaturbedingte Anpassungsercheinungen in Form von höheren Entwicklungsgeschwindigkeiten ließen sich aufgrund von Beobachtungen der letzten Jahre beim Waldmaikäfer (*Melolontha hippocastani* FABR.) (DELB, 2004), verschiedenen rindenbrütenden Borkenkäferarten (SCHRÖTER et al., 2007) und auch beim Laubnutzholzborkenkäfer (*Trypodendron domesticum* L.) feststellen (PARINI & PETERCORD, 2006). So kommen beim Waldmaikäfer verstärkt Individuen mit einer verkürzten dreijährigen Entwicklungsdauer vor, die zunehmend zur Ausbildung von Nebenflugholstämmen führen. Wo im Rahmen der Prognosegrabungen früher an einem Standort nur Engerlinge desselben Entwicklungsalters zu finden waren, treten seit Mitte der 1990er Jahre Engerlinge mehrerer oder gar aller Entwicklungsstadien nebeneinander auf (MATTES & DELB; 2002).

Die rindenbrütenden Borkenkäfer nutzen längere und wärmere Vegetationszeiten zur Vollendung mehrerer Generationen im Jahr. Insbesondere der Buchdrucker zeigte in Baden-Württemberg 2003 bis 2006 eine ausgeprägte Massenvermehrung, die ihren Ursprung in guten Entwicklungsbedingungen für die zweite Generation im Spätsommer 2003 hatte (SCHRÖTER et al., 2007).

Auch der Laubnutzholzborkenkäfer, als holzbrütende Art, die bisher als sekundär eingestuft wurde, ist offensichtlich in der Lage unter zunehmend günstigeren Bedingungen eine zweite Generation zu bilden und stehende Bäume zu befallen (PARINI & PETERCORD, 2006). Dieser Stehendbefall führt in aller Regel zu einer massiven Holzwertung, selbst wenn der betreffende Baum den Befall ohne äußerlich erkennbare Spuren überwallen kann (Abb. 4).

Der zunehmend erfolgreiche Befall der Douglasie durch den auf die Fichte spezialisierten Kupferstecher (*Pityogenes chalcographus* L.) und den Lärchenborkenkäfer (*Ips cembrae* HEER.) stellt dagegen eine direkte Anpassung einheimischer Arten auf eine ursprünglich fremdländische Wirtspflanze dar (SCHRÖTER, 2004). Möglicherweise ist aber auch diese Anpassung auf die klimatischen Veränderungen zurückzuführen, da sie

erst in den letzten Jahren zunehmend beobachtet wird, die Douglasie aber bereits seit Beginn des 20. Jahrhunderts verstärkt in unsere Wälder eingebracht wurde.

Schwächung der Wirtspflanze

Lang anhaltende sommerliche Dürrephasen mit sehr hohen Temperaturen und die damit einhergehende physiologische Schwächung von Bäumen hat die indirekte Förderung von Forstschädlingen zur Folge. Dies kann aktuell bei verschiedenen Prachtkäferarten beobachtet werden (DELB, 2005). So hat sich der Eichenprachtkäfer seit Mitte der 1990er Jahre in Baden-Württemberg zu einem Dauerschädling entwickelt, der im Ursachenbündel der Eichenkomplexkrankheit eine entscheidende Rolle spielt (DELB, 2002). Der Buchenprachtkäfer (Abb. 5 & 6) durchläuft dagegen erst seit dem Extremesommer 2003 eine an vielen Orten im Land wahrnehmbare Gradation, bei der noch nicht abzusehen ist, ob auch diese Prachtkäferart sich zum Dauerschädling bei der Buche entwickeln und zunehmende Verluste verursachen wird (PETERCORD et al. 2007).

Ausblick

Inwieweit der bereits eingetretene und der noch zu erwartende Klimawandel sich in den nächsten Jahrzehnten auf die Forstinsekten auswirken wird, ist schwer abzuschätzen, ebenso das damit verbundene Risiko für die Waldwirtschaft.

Es lassen sich aber bereits heute eine Reihe von Beispielen finden, die auf eine veränderte, sich verschärfende Gefährdungssituation durch Schaderreger in Folge des Klimawandels hinweisen. Womöglich werden auch früher bedeutendere Schädlinge aufgrund ihrer schlechteren Anpassungsfähigkeit oder des veränderten Gegenspielerkomplexes zukünftig zu „Klima-Verlierern“ deren wirtschaftliche Bedeutung immer mehr vernachlässigt werden kann. Letztlich muss festgestellt werden, dass die ökosystemaren Zusammenhänge zwischen



Abb. 5: Buchenprachtkäfer (*Agrilus viridis* L.): Weibchen bei der Eiablage auf der Buchenrinde



Abb. 6: Buchenprachtkäfer (*Agrilus viridis* L.): Larven und ihre Fraßgänge unter der Rinde

Wirtspflanzen und Schadorganismen sowie ihre Beeinflussung durch die Klimabedingungen noch bei weitem nicht ausreichend geklärt sind, um fundierte mittel- oder gar langfristige Prognosen

einer zukünftigen Entwicklung oder eines Gefährdungspotenzials herleiten zu können. Diese Fragestellungen eröffnen ein weites und bedeutendes Untersuchungsgebiet für die angewandte Wald-

schutz-Forschung. Die Fortführung bisheriger Beobachtungen unterschiedlichster Arten und Schädlingspopulationen sowie die Dokumentation der Schadauswirkungen bilden die Grundlage für zukünftige Strategien zur Einschätzung, Vorbeugung und Eindämmung der Risikopotenziale. In diesem Zusammenhang kommt neben den vorhandenen langjährigen Zeitreihen der Entwicklung von Schädlingspopulationen und der genaueren differenzialdiagnostischen Analyse der Schadensentwicklung bei den Hauptbaumarten nach dem extrem trocken-warmen Sommer 2003 und der sommerlichen Dürreperiode 2006 besondere Bedeutung zu.

Dr. Hansjochen Schröter
FVA, Abteilung Waldschutz
Tel.: (07 61) 40 18 – 2 20
hansjochen.schroeter@forst.bwl.de

Literatur

- Baltensweiler, W. und Fischlin A. (1988): The larch budmoth in the Alps. In: *Dynamics of Forest Insect Populations: Patterns, Causes, Implications*. Berryman, A. A. (ed.), Plenum Press: 331-351.
- Becker, T. und Schröter, H. (2001): Die Ausbreitung des Borkenkäferbefalls im Bereich von Sturmwurf-Sukzessionsflächen. *Berichte Freiburger Forstliche Forschung*, H. 26, 79 S.
- Bub, G.; Delb, H. und Schröter, H. (2006): Bekämpfung des Schwammspinners und Eichenprozessionspinners in Baden-Württemberg 2005. *AFZ/Der Wald* 61, 316-319.
- Delb, H. (2002): Gefährdung von Eichenbeständen durch den Zweipunkt-Eichenprachtkäfer (*Agrilus biguttatus* [F.]) in Rheinland-Pfalz und Gegenmaßnahmen. *Mitt. Biol. Bundesanst. Land- Forstwirtschaft* 390, 237-238
- Delb, H. (2004): Monitoring der Waldmaikäfer (*Melolontha hippocastani* F.) - Populationen und der Schäden durch Engerlinge in der nördlichen Oberrheinebene, Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz. *Nachrichtenblatt Dt. Pflanzenschutzdienst* 56, 108-116
- Delb, H. (2005): Rindenbrüter an Buchen nach der trocken-heißen Witterung im Sommer 2003. In: *Dujesiefken, D., Kockerbeck, P. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2005*, Thalacker Verlag Braunschweig, 203-207.
- Delb, H. und Veit, H. (2007): Der Eichenprozessionsspinner: Kleine Ursache - Große Wirkung! *FVA-einblick, FVA Baden-Württemberg*, 11 (2): 4-5.
- Esper, J.; Büntgen, U.; Frank, D. C.; Nievergelt, D. and Liebhold, A. (2007): 1200 years of regular outbreaks in alpine insects. *Proc. R. Soc. B* 274: 671-679.
- Feemers M, Blaschke M, Skatulla U, Gulder H-J (2003): Klimaveränderungen und biotische Schäden im Wald. – *LWFaktuell* 37, 19-22.
- Forster, B. (2006): Klimaerwärmung und Waldinsekten. *Züricher Wald* 7(4): 14-17.
- Kromp-Kolb, H. (2003): Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Tierwelt – derzeitiger Wissensstand, fokussiert auf den Alpenraum und Österreich. *Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft*. Wien: 141 S.
- Mattes, J. und Delb, H. (2002): Überwachung des Waldmaikäfers (*Melolontha hippocastani* F.) in der nördlichen Oberrheinebene, Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz. *Mitt. Biol. Bundesanst. Land- Forstwirtschaft* 390, 460-461.
- Parini, C. und Petercord, R. (2006): Der Laubholzborstenkäfer *Trypodendron domesticum* L. als Schädling der Rotbuche. *Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz* Nr. 59/06: 63 – 78.
- Petercord, R., Delb, H. und Schröter, H. (2007): Schwere Schäden durch den Buchen-Prachtkäfer in Baden-Württemberg. *AFZ/Der Wald*, 62 (13): 686 – 690.
- Schröter, H. (2004): *Waldschutzbericht für Baden-Württemberg 2003/2004*.
- Schröter, H.; Becker, T. und Schelshorn, H. (1998): Die Bedeutung der Sturmwurfflächen als „Borkenkäferquellen“ für umliegende Wirtschaftswälder. In: *Fischer, A. (Hrsg.): Die Entwicklung von Waldbiozönosen nach Sturmwurf*. Ecomed, Landsberg: 292-314.
- Schröter, H.; Delb, H. und Metzler, B. (2007): *Waldschutzsituation 2006/2007 in Baden-Württemberg*. *AFZ/Der Wald*, 62 (7): 336-339.
- Schwerdtfeger, F. (1941): Über die Ursachen des Massenwechsels bei Insekten. *Z. angew. Ent.* 28, 254-303.
- Spekat, A.; Enke, W. und Kreienkamp, F. (2007): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRESSzenarios B1, A1B und A2. *Umweltbundesamt*: 149 S.
- Wellenstein, G. (1954): *Die Große Borkenkäferkalamität in Südwestdeutschland 1944 – 1951*. *Forstschutzstelle Südwest, Ringingen*: 496 S.

Potenzielle Auswirkungen des Klimawandels auf boreal-montane Vogelarten

von Veronika Braunisch

Klimaveränderungen gelten neben dem Einfluss anthropogener Landnutzung als eine Hauptursache für die in den vergangenen Jahrzehnten festgestellten Arealverschiebungen vieler Tier- und Pflanzenarten (z. B. Brechtel et al. 1996, Berthold 1997, Ott 2000).

Arealverkleinerung boreal-montaner Arten

Im Europäischen Raum stehen den Arealerweiterungen wärmeliebender Tierarten in nördlichere geografische Breiten und größere Höhenlagen Arealverkleinerungen von Tierarten der borealen oder montanen Zone gegenüber (Böcker et al.

1995, Gebhardt et al. 1996). Dabei sind vor allem solche Arten gefährdet, die aufgrund einer engen ökologischen Nische ein geringes Anpassungsvermögen besitzen, deren Vorkommen geografisch isoliert sind und die nur ein geringes Ausbreitungspotential haben (Hulme 2005).

Dies gilt besonders für polare und montane Arten, die bereits am Limit ihrer potentiellen Verbreitung stehen (Parmesan 2006). In Baden-Württemberg werden negative Auswirkungen daher vor allem für die – häufig reliktiären – Spezialisten der winterkalten Schwarzwaldhochlagen erwartet. Hierzu zählen auch die nach Anhang 1 Vogelschutzrichtlinie geschützten Vogelarten Auerhuhn (*Tetrao urogallus*), Haselhuhn (*Bonasa bonasia*), Dreizehenspecht (*Picoides tridactylus*), Sperlingskauz (*Glaucidium passerinum*) und Raufußkauz (*Aegolius funereus*). Für sie kann die fortschreitende Klimaerwärmung nicht nur zu einem quantitativen Verlust an nutzbarer Lebensraumfläche und einer zunehmenden Lebensraumverinselung führen. Auch direkte Auswirkungen auf die Reproduktion und die Veränderungen interspezifischer Wechselwirkungen (z. B. erhöhte Prädatorendichten) können die Populationsentwicklung beeinträchtigen.

Um diesen Prozessen mit angepassten Schutzstrategien zu begegnen und potentielle negative Auswirkungen zu minimieren, werden verstärkt Modelle eingesetzt, mit denen die Auswirkungen des Klimawandels flächenkonkret vorhergesagt werden sollen (z. B. Araujo et al. 2004, Hulme 2005, Parmesan 2006). Dabei erschweren jedoch die verschiedenartigen Auswirkungen unterschiedlicher Klimavariablen und deren Wechselwirkungen untereinander die Entwicklung und Validierung solcher Vorhersagemodelle (Araujo et al. 2005, Botkin et al. 2007).

Indikatorart Auerhuhn

Um einen hohen Grad der Zuverlässigkeit zu erreichen, sind umfassende Datengrundlagen zur Verbreitung einer Art und deren raumzeitlicher Entwicklung notwendig. Daneben müssen die Einflüsse verschiedener Klimavariablen auf die jeweilige Art bekannt sein. Da solche Grundlagen für wenige Arten in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen, werden Vorhersagemodelle häufig anhand von Indikatorarten entwickelt, die repräsentativ für die Lebensraumansprüche von Artengemeinschaften sind und sensibel auf Veränderungen der ökologi-

Die sogenannte Rose beim Auerhuhn (Foto: Erich Marek)



Die sogenannte Rose beim Auerhuhn (Foto: Erich Marek)



Telemetrie

matischen Nische reagieren (Smith 1994, Parmesan 2003).

Modellierung potentieller Auswirkungen

Unter den genannten Arten gilt das Auerhuhn (*Tetrao urogallus*) als geeigneter Indikator für die Auswirkung von Kli-

maveränderungen auf die Hochlagenlebensräume des Schwarzwaldes, da es gleichzeitig Indikatorart für strukturreiche, zusammenhängende Waldlebensräume borealer und montaner Prägung (Scherzinger 1989, Boag & Rolstad 1991, Storch 1993, 1995, Schroth 1995, Cas & Adamic 1998, Graf 1998, Simberloff 1998) und Schirmart für die genannten Bergwaldvogelarten (Suter et al. 2002) ist. Aufgrund seiner Stellung im Fokus der Naturschutzplanung liegen für

das Auerhuhn umfangreiche Datengrundlagen vor. Verbreitungsgebiete und Bestand wurden kontinuierlich und systematisch über zwei Jahrzehnte hinweg erfasst. Zusätzlich, aufgrund des jagdgeschichtlich großen Interesses an dieser Vogelart, liegen umfangreiche Daten zur historischen Verbreitung vor, anhand derer die raumzeitliche Entwicklung der Auerhuhnverbreitung innerhalb der vergangenen 100 Jahre rekonstruiert werden kann.



Auerhenne

Der Klimawandel: Auswirkungen auf das Auerhuhn

Klima und Witterungseinflüsse beeinflussen das Auerhuhn sowohl direkt als auch indirekt. Hauptaspekte sind:

1. Lebensraumbedingungen, Lebensraumfläche und Lebensraumverbundsituation

Aktuelle Untersuchungen aus dem Schwarzwald bestätigen die Bedeutung von Klimabedingungen für die Entwicklung auerhuhnrelevanter Vegetationsstrukturen und identifizierten insbesondere die Schneelagendauer als einer der Hauptprädiktoren für die Auerhuhnverbreitung (Braunisch & Suchant 2007). Sie zeigten darüber hinaus, dass sich das Auerhuhn im Schwarzwald bereits in einer „Randlagensituation“ hinsichtlich seiner ökoklimatischen Gesamtnische befindet und bereits ein Verschiebungstrend der Art-Habitatbeziehung stattgefunden hat: D. h. ein Teil der Population

befindet sich bereits unter suboptimalen Bedingungen (Braunisch et al., submitted), da ein weiteres „Aufwärtswandern“ im Schwarzwald nicht möglich ist. Ein fortgesetzter Erwärmungstrend könnte nicht nur zu einer weiteren Arealverkleinerung führen, sondern durch den Wegfall kleinerer Habitatsinseln auch die Lebensraumverbundsituation und damit die langfristige Überlebenswahrscheinlichkeit der Gesamtpopulation gefährden.

2. Reproduktionserfolg

Der Reproduktionserfolg des Auerhuhns ist maßgeblich von den Witterungsbedingungen im Frühjahr und Frühsommer abhängig (Moss et al. 2001). Frühe und gleichbleibende Temperaturanstiege im April führen zu einer gesteigerten Nahrungsverfügbarkeit für die Hennen und erhöhen so deren Reproduktionserfolg. Regnerisches und kaltes Wetter kurz nach dem Schlüpfen der Küken im Mai und Juni hat eine erhöhte Kükenmortalität zur Folge (Scherzinger 1982). Eine Häufung von Starkniederschlägen und zunehmende Temperatureinbrüche und Witterungsschwankungen im Frühsommer können die Reproduktion langfristig beeinträchtigen.

3. Prädatoreinfluss

Als eine Folge von Klimaerwärmungsprozessen wird eine Vermehrung von generalistischen Prädatoren (vor allem Fuchs, Dachs, Marder, Wildschwein) und eine Ausbreitung dieser Arten in die



Balzender Hahn (Foto: Erich Marek)

Hochlagen erwartet. Eine solche Verschiebung des Räuber-Beute-Verhältnisses in den Hochlagen kann, insbesondere in Verbindung mit den genannten Einflüssen auf Lebensraum und Reproduktionserfolg, die Populationsentwicklung nachhaltig beeinträchtigen (Baines et al. 2004, Summers et al. 2004).

Schirmart Auerhuhn

Das Auerhuhn ist Leitart für Naturschutzmaßnahmen in den Hochlagenlebensräumen des Schwarzwaldes. Aufgrund seiner aktuellen Gefährdung sowie der Funktion als Schirmart für die genannten Vogelarten wurde die Ausweisung der EU-Vogelschutzgebiete hier maßgeblich an der Auerhuhnverbreitung ausgerichtet. Zusätzlich zu der Managementplanerstellung für diese Gebiete wird derzeit im Auftrag des Ministeriums

für Ernährung und Ländlichen Raum ein schwarzwaldweiter Aktionsplan erstellt, der sowohl Maßnahmen zur langfristigen Sicherung der Population als auch prioritäre Flächen für diese Maßnahmen definiert.

Vor dem Hintergrund umfangreicher Maßnahmen mit finanziellem Aufwand wird vermehrt die Frage laut, inwieweit diese Maßnahmen bei fortschreitender Klimaerwärmung langfristig sinnvoll sind. Dabei werden die oben genannten potentiellen Folgen häufig pauschal in einen linearen Zusammenhang mit dem prognostizierten Ausmaß der Klimaerwärmung gebracht. Die vielfältigen landschaftsökologischen Faktoren, die auf die Populationsentwicklung wirken und die die klimainduzierten Auswirkungen teilweise kompensieren können, werden hierbei nicht berücksichtigt.

Mit dem vorgestellten Projekt soll die Frage nach den Auswirkungen der Klimaerwärmung differenziert beantwortet werden: Auf Grundlage regionalisierter



Das Gefieder als perfekte Tarnung bei der Auerhenne

Klimamodelle und bestehender Daten-Grundlagen und Forschungsergebnisse werden die Auswirkungen potentieller Veränderungen verschiedener Klimavariablen auf die Lebensraumbedingungen und Populationsentwicklung quantifiziert und flächenkonkret dargestellt. Dabei wird zwischen verschiedenen Szenarien der Klimaentwicklung unterschieden. Mit Hilfe ökologischer Nischenmodelle wird überprüft, ob und wie durch die Fokussierung auf eine Schirmart (Auerhuhn) umfassende Schutzstrategien für die dazugehörige Artengemeinschaft erarbeitet werden können, für die die not-

wendigen Datengrundlagen zur Validierung von Prognosemodellen nicht vorhanden sind.

Management

Basierend auf den Ergebnissen werden adaptive Managementstrategien erarbeitet sowie der strukturelle und finanzielle Aufwand quantifiziert, mit dem unter verschiedenen Entwicklungsszenarien ausreichende Lebensraumbedingungen für die genannten Hochlagenarten gesichert werden können.

Ziel des Projektes ist es, eine notwendige Grundlage für das zukünftige Management der EU-Vogelschutzgebiete im Schwarzwald und deren Vernetzung zu liefern und die Frage zu beantworten, ob und zu welchen Bedingungen es möglich sein wird, die genannten Hochlagen-Vogelarten des Schwarzwaldes langfristig zu erhalten.

Veronika Braunisch
FVA, Abt. Wald und Gesellschaft
Tel.: (07 61) 40 18 - 4 51
veronika.braunisch@forst.bwl.de

Literatur

- Araujo, M.B., Cabeza, M., Thuiller, W. (2004): Would climate change drive species out of reserves? An assessment of existing reserve selection methods. *Global Change Biology*, 10, 1618–1626.
- Araujo, M.B., Pearson, R.G., Thuiller, W., Erhard, M. (2005): Validation of species-climate impact models under climate change. *Glob. Change Biol.* 11, 1504–1513.
- Baines, D., Moss, R., Dugan, D. (2004): Capercaillie breeding success in relation to forest habitat and predator abundance. *J. Appl. Ecol.* 41/1: 59–71.
- Berthold, P. (1997): Wandel der Avifauna Mitteleuropas im Zuge rezenter Umweltveränderungen. In: Akademie für Natur- und Umweltschutz Ba-Wü (Hrsg.): *Zugvögel – Botschafter weltweiter Klima- und Lebensraumveränderungen. Tagungs-dok.* Stuttgart: 11–16.
- Boag, D.A.; Rolstad, J. (1991): Aims and methods of managing forests for the conservation of tetraonids. *Ornis Scandinavica* 22, 225–226.
- Böcker, R., Gebhardt, H.; Konold, W.; Schmidt-Fischer, S. (Hrsg.) (1995): *Gebietsfremde Pflanzenarten – Auswirkungen auf einheimische Arten, Lebensgemeinschaften und Biotope, Kontrollmöglichkeiten und Management.* Ecomed Verlag, Landsberg. 215 S.
- Botkin, D.B., Saxe, H., Araujo, M.B., Betts, R., Bradshaw, R.H.W., Cedhagen, T., Chesson, P., Dawson, T.P., Etterson, J.R., Faith, D.P., Ferrier, S., Guisan, A., Hansen, A.S., Hilbert, D.W., Loehle, C., Margules, C., New, M., Sobel, M.J., Stockwell, D.R.B. (2007): Forecasting the Effects of Global Warming on Biodiversity. *BioScience* 57 / 3: 227–236.
- Braunisch, V., Suchant, R. (2007): A model for evaluating the 'habitat potential' of a landscape for capercaillie *Tetrao urogallus*: a tool for conservation planning. *Wildlife Biology* 13/1: 21–33.
- Braunisch, V., Bollmann, K., Graf, R.F., Hirzel, A.H.: Living on the edge - Modelling habitat suitability for species at the edge of their fundamental niche. *Ecological Modelling*, in review.
- Brechtel, F.; Ehrmann, R.; Detzel, P. (1996): Zum Vorkommen der Gottesanbeterin in Deutschland. *Carolina* 54, Karlsruhe. 216 S.: 73–90.
- Cas, J.; Adamic, M. (1998): The influence of forest alteration on the distribution of Capercaillie leks in the Eastern Alps. *Zbornik* 57, 5–57.
- Gebhardt, H.; Kienzelbach, R.; Schmidt-Fischer, S. (Hrsg.) (1996): *Gebietsfremde Pflanzenarten – Auswirkungen auf einheimische Arten, Lebensgemeinschaften und Biotope, Situationsanalyse.* Ecomed Verlag, Landsberg. 314 S.
- Graf, P. (1998): Die Bedeutung des Auerhuhns als Indikator für eine hohe Biodiversität. *Dipl.-Arbeit. ETH Zürich, Professur für Natur- und Landschaftsschutz*, 38 S.
- Hulme, P.E. (2005): Adapting to climate change: is there scope for ecological management in the face of a global threat? *J. Appl. Ecol.* 42, 784–794.
- Moss, R., Oswald, J., Baines, D. (2001): Climate change and breeding success: decline of the capercaillie in Scotland. *Journal of Animal Ecology* 70 (1): 47–61.
- Ott, J. (2000): Die Ausbreitung mediterraner Libellenarten in Deutschland und Europa. In: Alfred Toepfer Akademie für Naturschutz (Hrsg.): *Klimaveränd. und Naturschutz. HHA Bericht* 13/2:13–35.
- Parnesan, C. (2003): Butterflies as bio-indicators of climate change impacts. In *Evolution and Ecology Taking Flight: Butterflies as Model Systems*, ed. CL Boggs, WB Watt, PR Ehrlich, pp. 541–560.
- Parnesan, C. (2006): Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 37: 637–669.
- Parnesan, C., Yohe, G. (2003): A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37–42.
- Scherzinger, W. (1982): Trials with natural broods of grouse. In: T. Lovel (Hrsg.) *Grouse. Suffolk*, S. 199–201.
- Scherzinger, W. (1989): Biotopansprüche bedrohter Waldvogelarten und ihre Eingliederung in die Waldsukzession. *Stapfia Linz*, 20: 81–100.
- Schroth, K. E. (1995): Lebensräume des Auerhuhns im Nordschwarzwald: dargestellt am Beispiel der Kaltenbronner Wälder. *Naturschutzreport* 10, 27–46.
- Simberloff, D. (1998): Flagships, umbrellas and keystones: is single-species management passé in the landscape area? *Biological Conservation*, 83 (3), 247–257.
- Smith R.I.L. (1994): Vascular plants as bioindicators of regional warming in Antarctica. *Oecologia* 99: 322–28
- Storch, I. (1993): *Habitat Use and Spacing of Capercaillie in Relation to Forest Fragmentation Patterns.* Diss. Univ. München, Fakultät für Biologie, 97 S.
- Storch, I. (1995): Annual home ranges and spacing patterns of capercaillie in Central Europe. *J. Wildl. Manage.* 59, 392–400.
- Summers, R.W., Green, R.E., Proctor, R., Dugan, D., Lambie, D., Moncrieff, R., Moss, R., Baines, D. (2004): An experimental study of the effects of predation on the breeding productivity of capercaillie and black grouse. *J. Appl. Ecol.* 41: 513–525.
- Suter, W., Graf, R. F., Hess, R. (2002): Capercaillie and avian biodiversity: testing the umbrella-species concept. - *Conservation Biology* 16: 778–788.

Waldbau und Klima – was tun?

von Helge von Gilsa

Der Sachstandsbericht der internationalen Expertengruppe der Vereinten Nationen zum Klimawandel (IPCC) lässt keinen Zweifel an der durch Menschen verursachten Klimaänderung. Temperaturanstieg, mehr und intensivere Stürme und längere Trockenzeiten im Sommer werden zur Gewissheit. Anders als in der Landwirtschaft überwiegen im Wald die Risiken. Die langen Generationszyklen verhindern im Wald eine schnelle Anpassung an die sich ändernden Umweltbedingungen. So werden die Schäden durch Extremereignisse weiter zunehmen. Lediglich bei der Waldbrandgefahr wird in Baden-Württemberg das Risiko wegen des fortgeschrittenen Waldumbaus mit hohen Laubholz- und Naturverjüngungsanteilen noch als gering eingeschätzt.

Insekten und Pilze treten nicht mehr nur als Schwächeparasiten auf, sondern neigen zur Massenvermehrung. Invasive Arten kommen hinzu. Der Borkenkäfer profitiert besonders vom früheren Vegetationsbeginn, den wärmeren und trockeneren Sommern und der Zunahme von Störungen.

Der Anteil der zufälligen Nutzungen an der Gesamtnutzung hat sich zwar in den Jahren 2005 bis 2007 wieder unauffällig bei 24 % eingependelt, doch in einzelnen Regionen (Schwäbisch-Fränkischer Wald, Oberschwaben, Oberrhein) ist die Situation viel kritischer. In mehreren Landkreisen werden innerhalb eines Jahrzehnts dramatische Fichtenrückgänge von mehr als 10 % beobachtet. Was ist nun zu tun?

Risikoeinschätzung

Es gibt waldbauliche Vorgehensmodelle, die von der Einstellung geprägt sind, Risikokapital gehöre auf die Bank und nicht in den Wald. Die aktive Begrenzung der Umtriebszeit, der Oberhöhe und des aufstockenden Vorrats soll die Sicherheit

einer planmäßigen Forstwirtschaft erhöhen und zugleich die Liquidität des Betriebes durch vorübergehend erhöhte Hiebssätze verbessern. Die entscheidenden Fragen aber sind: Entsprechen diese Arten des Waldbaus den ökologischen Erfordernissen, den gesetzlichen Vorgaben, den Zertifizierungsstandards, den unstrittigen gesellschaftlichen Anforderungen und den Eigentümerzielsetzungen? Bodenreinertrags- oder Waldreinertragsmodellen sind eine klare Absage zu erteilen. Ohne differenzierter Risikoeinschätzung und Klärung der richtigen Baumartenwahl bleiben bei solch radikalen waldbaulichen Empfehlungen die Risiken auch im Folgebestand bestehen. Der Wald als Zentralressource und besonders der öffentliche Wald muss auch andere Zielsetzungen wie Natur-, Boden-, Trinkwasserschutz und Tourismus und Erholung im Blick behalten.

Waldbaumodelle

Im öffentlichen Wald haben wir uns der naturnahen Waldwirtschaft verpflichtet. Die natürlichen Abläufe und Selbstregulierungsmechanismen von Waldökosystemen sollen zur Erfüllung ökologischer und ökonomischer Zielsetzungen weitgehend ausgenutzt werden. Der Rationalisierungsschub durch die Erfolge der naturnahen Waldwirtschaft und der „biologischen Automation“ waren in den letzten 25 Jahren gewaltig. Betriebswirtschaftlich erfolgreich zu arbeiten ist dabei genauso wichtig, wie den Anliegen des Naturschutzes und dem Erholungsbedürfnis gerecht zu werden.

Waldwirtschaft wird dabei als kontinuierliche Waldentwicklung und beständiges Weiterarbeiten mit gegenwärtigen Beständen und deren Verjüngungspotential aufgefasst. Die gültigen Waldbaugrundsätze sind in der Richtlinie landesweiter Waldentwicklungstypen niedergelegt. Die langfristigen Waldent-

wicklungsziele werden bisher als stabile, regenerationskräftige, strukturreiche und dem Standort angepasste Wälder, möglichst als Dauerwälder mit wesentlicher Beimischung mehrerer Baumarten, der lokalen natürlichen Waldgesellschaft beschrieben. Es soll wertvolles, möglichst starkes Holz von hoher Holzqualität, erzeugt werden.

Welches Vorgehensmodell ist nun angesichts der Zielsetzungen besser geeignet, um auf die Klimaveränderung angemessen zu reagieren? Wissen wir genug, um richtig zu handeln? Ist ein neues Waldbau-Konzept, also ein radikaler Waldumbau notwendig, oder haben wir in Baden-Württemberg eine günstigere Ausgangslage als anderswo?

Situation in Baden-Württemberg

Tatsache ist, dass in Baden-Württemberg seit Mitte der 80er Jahre messbare Erfolge beim ökologischen Waldumbau verzeichnet werden. Mit der Umsetzung von wissenschaftlich abgesicherten Produktionsprogrammen, die im Kern die Stabilisierung von Einzelbäumen zum Ziel haben, werden in der Pflege und Durchforstung die Produktionsziele schneller erreicht und die waldbauliche Qualität weiter verbessert.

Der Laubbaumanteil, die Baumartenvielfalt, der Strukturreichtum und die Mischung wurden erhöht und es wurde mit großer Konsequenz ein standortgerechter Waldbau betrieben. Große Erfolge wurden v. a. beim Waldumbau von Fichtenbeständen erreicht. Umfassende Vorbauprogramme gehören der Vergangenheit an und die Naturverjüngung läuft auf großer Fläche. Zum Konzept des naturnahen Waldbaus gehörte bereits die verstärkte Vorsorge gegen denkbare Risiken. Eine profunde standortkundliche Kartierung und Beratung mit einer strenger Beurteilung der Standortsgerech-

tigkeit legten den Grundstein für diesen Erfolg. Die langfristige regionale Waldbauplanung wurde letztmalig Anfang der 90er Jahre überarbeitet und ein anzustrebendes Baumartenverhältnis von 50 % Laubbäumen zu 50 % Nadelbäumen festgelegt. Bei der Fichte war bereits eine Abnahme um 9 % des Flächenanteils auf 29 % eingeplant. Bereits keine zwei Jahrzehnte später beträgt ihr Anteil nur noch 32 %. Der Rückgang der Fichte wird weitergehen, denn ca. 50.000 ha Fichte stocken auf ungeeigneten oder eingeschränkt geeigneten Standorten. Dagegen sollte sich der Douglasienanteil, standortkundlich angepasst, auf 6 % verdoppeln. Dieser aus damaliger Sicht vorsichtige Ansatz wird mit 4 % heute bei weitem nicht erreicht.

Klärungsbedarf

Eine radikale Neuausrichtung des Waldbaus erscheint also nicht notwendig. Aus heutiger Sicht sind für die Bewältigung der notwendigen Maßnahmen zur Anpassung an die Klimaveränderung dennoch fünf Aspekte zu klären:

1. Die Ausrichtung des Waldbaus auf Wertholzerzeugung in strukturreichen Wäldern hat in den vergangenen Jahrzehnten zu einer deutlichen Veränderung der Altersklassenverteilung geführt. Der Rückgang der Fläche jüngerer Altersklassen und der Anstieg produktiverer, älterer Bestände erhöhte die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit der Betriebe und den ökologischen Wert der Wälder. Es sind nun Klärungen notwendig, inwieweit sich das Produktionsrisiko in Abhängigkeit von Schäden (z. B. Rückeschäden) oder auch der Vorratshaltung und spezifischer topographischer oder standörtlicher Situationen erhöht. Darauf aufbauend müssen Empfehlungen zur Risikobegrenzung erarbeitet werden.
2. Zwingende Voraussetzung für die flächige Verjüngung der gewünschten Baumarten ohne Wildschutzmaßnahmen ist eine angepasste Wildbewirtschaftung. Die regional zunehmenden Verbisschäden an

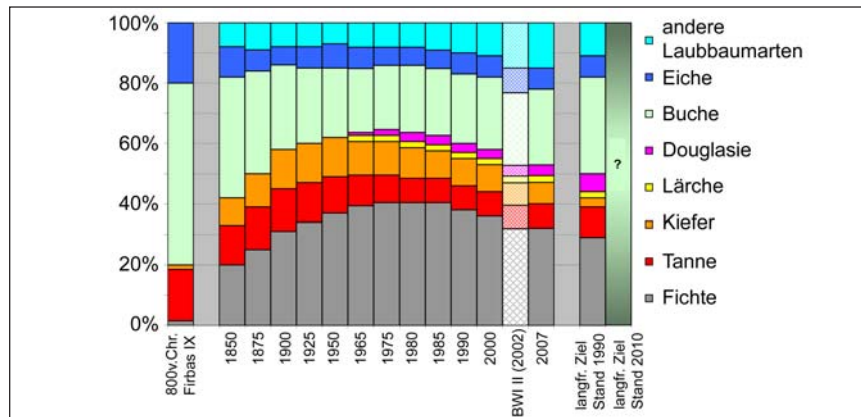


Abb. 1: Entwicklung der Baumartenanteile im Öffentlichen Wald Baden-Württemberg – langfristige Zielsetzung 2010

Eiche und Tanne müssen wieder auf ein waldverträgliches Maß abgesenkt werden. Im Zuge des klimabedingten Waldumbaus dürfen aufwendige Kulturmaßnahmen mit qualitätsgesicherten Forstpflanzen nicht dem Wildverbiss zum Opfer fallen.

3. Der klimabedingte Waldumbau ist mit einer Intensivierung der waldbaulichen Arbeit verbunden. Mit dem Schlagwort der „biologischen Automation“ im naturnahen Waldbau wurde häufig suggeriert, dass dieser mitarbeiterneutral und kostenlos zu haben sei. Es braucht aber ortskundige, auf der Fläche verankerte Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen, die ausreichend Zeit für das waldbauliche Umsteuern haben, gut vorbereitet und in der Lage sind, ihre örtliche Erfahrung einzubringen.
4. Die klimabezogenen Forschungsaktivitäten der FVA müssen weiter intensiviert werden. Klimaszenarien müssen auf ihre Folgewirkungen analysiert und Handreichungen zur Risikoeinschätzung und zum Waldumbau unter Klimagesichtspunkten erarbeitet werden. Die Möglichkeiten und Grenzen der einheimischen Baumarten sind ebenso wie die Chancen und Risiken fremdländischer Baumarten frei von jeglichen Vorurteilen abzuwägen. Ein wichtiges Ergebnis wird die neue Zielsetzung des anzustrebenden Baumartenverhältnisses innerhalb der Waldbestände sein.

5. Klimaschutz kostet Geld. Das gilt nicht nur für die Forschung, sondern auch für den klimabedingten Waldumbau. Die Mehrkosten für die Begründung und Pflege klimatoleranter und risikoreduzierter Mischwälder müssen durch ein waldbauliches Sonderprogramm abgedeckt werden. Die Schädlingsvorsorge mit einem intensiven Monitoring (z. B. bei Borkenkäfer und Maikäfer) führen ebenso wie Schutz- und Ausgleichsmaßnahmen (z. B. Bodenschutzkalkung) zu einem erhöhten Finanzbedarf.

Ausblick

Auch wenn wir heute noch nicht alle Entscheidungsparameter für den Waldbau der Zukunft kennen, so können wir doch mit Zuversicht nach vorne schauen. Mit dem gelungenen Wiederaufbau der devastierten Wälder des 19. Jahrhunderts und den Erfolgen eines ökologischen Waldumbaus können wir darauf vertrauen, über einen langen Zeitraum hinweg auch die neue Herausforderung des klimabedingten Waldumbaus zu bewältigen.

Helge von Gilsa
Ministerium Ländlicher Raum,
Referat 55
Tel.: (07 11) 126-2139
helge.gilsa@mlr.bwl.de

Dynamisierte Einstufung der Baumarteneignung als Grundlage für die waldbauliche Planung

von Hans-Gerd Michiels

Bei der Abschätzung der waldökologischen Folgen des rezenten Klimawandels sehen sich Forstliche Standortskunde und Waldbau einem sehr komplexen Phänomen gegenüber. Sicher ist, dass auf die veränderten Temperatur- und Feuchteregimes nicht nur die einzelnen Baumpopulationen reagieren werden, sondern auch ihre Konkurrenten in der Baum- und Strauchschicht, in der Bodenvegetation und vor allem auch die Herbivoren, Parasiten und Pathogene; z. T. letztere wiederum indirekt durch die Ausschaltung bzw. Förderung wichtiger Gegenspieler. Insbesondere Massenvermehrungen von Parasiten und Krankheitserregern können die ökologische Fitness der Bäume, d. h. ihre Vitalität und Konkurrenzstärke, erheblich limitieren (Schröter & Petercord 2008). Für den Waldbau stellt sich zudem die Frage nach der Produktionsleistung der Bäume sowie der Gesundheit, Qualität und Verwertbarkeit des nutzbaren Holzes.

In den europäischen Naturräumen ist Klimawandel kein neues Phänomen, selbst für den kurzen Zeitraum seit der letzten Eiszeit sind deutliche Fluktuationen der Jahresmitteltemperaturen nachgewiesen worden. Die chronologische Aufarbeitung der Vegetationsgeschichte mit Methoden der Dendrochronologie, Pollen- und Großrestanalysen, in jüngerer Zeit unterstützt durch Isoenzym- und DNA-Analysen, verschafft einen grobskaligen Überblick über die Reaktionen der Waldvegetation auf frühere klimatische Veränderungen. Arealkunde und Vegetationsgeographie beschreiben die aus der Vegetationsgeschichte resultierenden heutigen Vorkommen von Arten und Vegetationstypen. Sie bilden eine Basis für die Ableitung von Standortsansprüchen und Konkurrenzrelationen. In Deutschland liegen ergänzend dazu die systematisch und einheitlich erhobenen Daten der Bundeswaldinventuren (BWI) 1987

und 2002 vor. Für die Dokumentation von Reaktionen der Waldökosysteme auf Witterungsverläufe stehen Auswertungen der langjährigen Versuchs- und Monitoringreihen von Waldwachstumsforschung und Waldschutz zur Verfügung.

Zur Einschätzung der lokalen Standortbedingungen sind auf ca. 70 % der Waldfläche Baden-Württembergs die großmaßstäblichen Karten der forstlichen Standortaufnahme verfügbar. Ihre Inhalte sind über die Baumarteneignungstabellen (BAE-Tabellen) für die forstlichen Standortseinheiten verknüpft mit den waldbaulichen Erfahrungen, die regional in Waldbau- und Waldentwicklungstypen-Richtlinien (WET) niedergelegt wurden. Die BAE-Tabellen vermitteln u. a. eine standortsbezogene Risikoabschätzung unter den Verhältnissen der jüngeren Vergangenheit, wobei der Klimatrend der letzten 20 Jahre berücksichtigt wurde. Die Einstufung der Baumarteneignung wird gestützt durch Kenntnisse der Vegetationsökologie, der Pflanzenphysiologie und der Pflanzengenetik (Aldinger & Michiels 1997).

Ein noch unsicheres Planungskriterium ist das Klima, in dem sich unsere Waldbäume bewähren müssen. Der Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)-Bericht 2007 nennt eine Reihe differierender Szenarien, die jeweils mit einer eigenen Prognose-Unschärfe ausgestattet sind. Gemeinsam ist die Vorhersage eines globalen Temperaturanstiegs, der bis zum Jahr 2100 zwischen 1,8 und 6,4° C betragen könnte. Die räumliche Verteilung dieses Temperaturanstiegs soll aber uneinheitlich sein, den Landmassen der nördlichen Hemisphäre wird eine überproportionale Zunahme vorhergesagt. Regionalspezifische Modelle versuchen, diese Szenarien für Süddeutschland zu präzisieren (Kliwa 2006). Art (linear-kontinuierlich, progres-

siv-kontinuierlich oder diskontinuierlich), Ausmaß und Geschwindigkeit der Erwärmung bleiben also vorerst unsicher, ihre Kenntnis ist aber eine Voraussetzung der waldbaulichen Planung. Der Anstieg der Jahresmitteltemperaturen erfolgte in Baden-Württemberg - parallel an allen Klimamessstationen - seit 1988 relativ abrupt. Zwischen den Messperioden 1960-1987 und 1988-2006 beträgt dieser Anstieg ca. 0,8-1,2 °C. Zuvor war im 20. Jahrhundert keine gerichtete Entwicklung bzw. nur eine Erholung vom Klimapessimismus Ende des 19. Jahrhunderts zu beobachten. Sprunghafte Veränderungen der thermischen Wuchsbedingungen werden für die Vitalität der Baumpopulationen als nachteilig vermutet. Relativierend ist dazu jedoch zu bemerken, dass die Schwankungsamplitude der Monatsmittel in Mitteleuropa schon immer gewaltig war (z. B. 16 °C für den Februar, Messstation Karlsruhe 1900-1999). Dies beruht auf der hohen Variabilität der Lufttemperatur in Abhängigkeit von der Herkunft der Luftmassen, die unseren Raum erreichen.

Neben der Temperatur ist auch die Niederschlagsmenge und -verteilung eine wichtige regionale Klimakenngröße. Auch hier sind die Szenarien nicht einheitlich, z. T. wird ein Rückgang der Niederschläge für die Sommermonate prognostiziert, während im Jahresmittel keine Verminderung oder gar eine Zunahme erwartet wird (Kliwa 2006). Eine geringfügige Abnahme der Niederschläge im Frühsommer (Mai/Juni) ist in den letzten 20 Jahren in einigen Gebieten Baden-Württembergs verzeichnet worden.

Meist wird auch die Zunahme der Häufigkeit extremer Witterungslagen vorhergesagt. Einzelne extreme Witterungsereignisse sind nach bisherigen Aussagen nicht räumlich und zeitlich prognostizierbar. Witterungsanomalien wirken auf das Waldökosystem umso

stärker, je seltener sie auftreten und je stärker sie von dem bisherigen Variationsrahmen des Witterungsmerkmals abweichen. Bei sehr seltenen Ereignissen kann keine Anpassung der Pflanzenindividuen erfolgen (z. B. in Südwestdeutschland im extremen Trockenjahr 2003), bei regelmäßigen Ereignissen passt sich die Vegetation hingegen an. Dies gilt beispielsweise für den mediterranen Raum mit seinen regelmäßig gering ausfallenden Sommer-Niederschlägen. Witterungsextreme wirken als auslösende Faktoren für Absterbeprozesse, wenn sie auf nicht angepasste Individuen treffen, oder wenn sich die betroffene Population insgesamt am Rande ihrer potenziellen Verbreitung befindet. In diesen Fällen erfolgt die Schädigung nicht direkt, sondern den letztlich letalen Schadfaktoren (z. B. Käfer, Pilze) wird der Weg bereitet. Randpopulationen, die durch regelmäßigen Trockenstress und Parasitenbefall geschwächt sind, sind dafür besonders disponiert (Dobbertin et al. 2005). Für das Baumindividuum gilt dabei auch ein hohes Lebensalter als Risikomerkmale. Es gibt Hinweise darauf, dass sich die Absterbevorgänge nach Witterungsextremen in Populationen am Arealrand von solchen im Arealzentrum unterscheiden; es werden jeweils unterschiedliche bestandessoziologische Gruppen (Herrschende, Nachwachsende, Wartende, Jungwuchs) betroffen. Eine Quelle für Überraschungseffekte kann die Populationsentwicklung von Pathogenen bieten, insbesondere wenn diese aufgrund der Klimaverschiebung neu einwandern.

Zur Beurteilung der möglichen Folgen des erwarteten Klimawandels für den Wald müssen die analytisch oder empirisch gewonnenen wissenschaftlichen Kenntnisse zu den noch unscharfen Klima-Prognosen in Beziehung gesetzt werden. Es gilt auf der Basis der verfügbaren Klima-Szenarien Modelle zu konstruieren, welche die möglichen Entwicklungen zutreffend abbilden.

Herleitung und Darstellung

Einer der am häufigsten diskutierten Aspekte des Klimawandels bezieht sich

auf Veränderungen an den Verbreitungsgrenzen der Baumarten. Natürliche Verbreitungsgrenzen werden nicht nur durch die abiotischen Wuchsbedingungen, sondern auch durch interspezifische Konkurrenz und Pathogene mitbestimmt. Die aktuellen Verbreitungsgrenzen sind Resultat der regionalen Standorts- und Vegetationsgeschichte, und in den meisten Fällen von der historischen Nutzung der Wälder erheblich beeinflusst.

Die physiologische Anpassung an den Standort spielt für die Arealbildung von Gehölzarten eine wesentliche Rolle. Sie wird unter natürlichen Bedingungen aber erst durch die damit einhergehende Entfaltung von Konkurrenzstärke im Ökosystem wirksam. Die Kenntnis der physiologischen Belastbarkeit einer repräsentativen Zahl von Baumindividuen erlaubt die Definition von physiologischen Grenzwerten für Teilpopulationen oder gar für die Gesamtpopulation einer Art. Anpassungen auf wiederkehrende, durch die Umwelt induzierte Belastungen erfolgen beim Individuum morphologisch und physiologisch während seiner Lebensspanne (z. B. durch Begrenzung der Wuchshöhe). In den Populationen erfolgen sie parallel durch Selektion der am besten angepassten Genotypen und im Ökosystem interspezifisch durch Artwechsel bei Verschiebung der Konkurrenzverhältnisse. Rein physiologisch bedingte Verbreitungsgrenzen von Baumarten finden wir deshalb in den Wäldern fast nirgendwo realisiert (Ausnahmen in Grenzbereichen des Gehölzwachstums: z. B. Baumgrenze in Hochmooren). Aus diesem Grund ist auch ein schlagartig allein durch physiologische Ursachen bedingter Ausfall einer größeren Teilpopulation einer Baumart in Mitteleuropa selten.

Eine Möglichkeit zur Abschätzung des ökologischen Potenzials von Baumpopulationen ist die Analyse ihrer realisierten geographischen Vorkommen. Der Ansatz, diese mittels ausgewählter Standortfaktoren in der Form von Ökogrammen zu beschreiben, ist seit langem eine Grundlage der Vegetationsgeographie und -ökologie. Ein solches Verfahren hat Kölling (2007) gewählt, der mit der Jahresmitteltemperatur und dem mittlere

ren Jahresniederschlag einen klimatisch definierten Existenzbereich als „Klimahülle“ beschreibt. Die Daten wurden durch Auswertung von Verbreitungskarten von Baumarten bzw. Waldgesellschaften gewonnen und mit einem regionalisierten Klimamodell verschnitten.

Grenzen der Methode

1. Die Aussagekraft der Datengrundlagen

Werden kleinmaßstäbliche Karten der potenziellen natürlichen Waldvegetation (pnV) (z. B. Bohn & Neuhäusl 2003) verwendet, wird damit das ökologische Potenzial einzelner Arten unterschätzt. Dies ist z. B. bei der Fichte der Fall, die ihre physiologische Tauglichkeit und waldbauliche Anbaueignung in Mitteleuropa auch auf Flächen bewiesen hat, auf denen sie in der pnV fehlt oder aber nur als akzessorische Baumart auftritt. Bei der Konstruktion der Klimahüllen aus aktuellen Verbreitungskarten (z. B. der Flora Europaea) stellt sich hingegen mehr die Frage nach der Vollständigkeit der Erfassung. Heutige Artvorkommen geben das Ergebnis der Vegetationsgeschichte wieder, unter Einschluss der waldbaulichen Bemühungen der Vergangenheit. Wenn eine Baumpopulation nutzungsgehistorisch an ihrer Ausbreitung gehindert wurde, wird ihr Potenzial ebenfalls zu gering eingeschätzt. Zusätzlich lässt sich innerhalb eines Verbreitungsareals die Vitalität und damit die Überlebensfähigkeit einer Baumart durch waldbauliche Maßnahmen steuern. Gerade dies ist eines der ureigensten Handlungsfelder der forstwissenschaftlichen Disziplinen Waldbau und Waldwachstum. Es ist also nicht ausgeschlossen, dass mit angepassten Formen der Bewirtschaftung die „Klimahülle“ von Baumarten gedehnt werden kann.

2. Die sachliche und räumliche Gültigkeit der Darstellung

Wenn das betrachtete Areal weiträumig ist und auch boreale, hyperozeanische oder mediterrane Klimaräume mit

einbezieht, treten vegetationswirksame standortsökologische Phänomene auf, die mit Jahresniederschlag und -temperatur nicht hinreichend beschrieben sind. Dies gilt insbesondere für die Wirkung sehr niedriger absoluter Winterkälte oder sehr ausgeprägter Sommertrockenheit auf die Vegetation, oder aber auch auf wichtige pathogene Organismen. Hier liegen Ökosystem-Beziehungen vor, die außerhalb des mitteleuropäischen Erfahrungsbereiches liegen. Derartige vegetationsökologische Situationen können deswegen leicht falsch interpretiert werden, wenn sie in einer Klimahülle nur mit den Faktoren Jahresmitteltemperatur oder Jahresniederschlagsumme erscheinen und davon abgeleitete Aussagen auf unsere Wuchsräume übertragen werden.

3. Die Begrenztheit der Aussage

Die Ansätze berücksichtigen in allen Fällen zunächst nur das Vorkommen der Baumart. Das Vorkommen selbst beinhaltet jedoch noch keine Aussagen über Konkurrenzstärke, Wuchsleistung, durchschnittliche und maximal erreichbare Lebensdauer der Individuen, Gesundheitszustand und Mortalitätsraten. Alle diese Merkmale sind wichtig, um die Vitalität einer Population zu beschreiben. Ein Klimamodell auf Rasterbasis berücksichtigt lokale Mesoklimate nicht ausreichend, was bei Baumpopulationen am

klimatischen Arealrand durchaus notwendig wäre (z. B. Beachtung des „Schluchtwald“-Effektes = hohe Luftfeuchte in engen Tälern).

Weil der Boden mit seinem Wasserhaushalt nicht einbezogen wird, fehlt auch die notwendige Betrachtung der örtlichen standortsökologischen Einmischung. So kann eine Baumart wie die Schwarzerle zwar in mediterranen Klimatypen vorkommen, bleibt dort aber strikt auf grundwassernahe Wälder beschränkt. Allein mit der Darstellung der Klimahülle fällt daher die standortsökologische Beschreibung sehr unvollständig aus, was beachtet werden muss, wenn daraus Schlussfolgerungen formuliert werden.

4. Die Betrachtung der Populationen auf Artniveau

Die Ebene der „Art“ (Spezies) ist für die ökologische Betrachtung fallweise bereits zu grob, weil in Teilarealen ökologische Rassen auftreten können. In diesen Fällen verhalten sich die Teilpopulationen gegenüber Klima- und Witterungsphänomenen nicht einheitlich. So scheinen mediterrane Buchen generell Probleme mit der Frosthärte zu haben. Wieweit dies für die jeweils gesamte Teilpopulation gilt, also die Frage, ob vielleicht einzelne frostharte Individuen auch in mediterranen Teilpopulationen der Buche existieren, ist noch nicht geklärt. Ebenso wenig die Frage, ob in unseren heimischen Buchen-Populationen Anpassungspotenziale an mediterranen Hitze- oder Trockenperioden schlummern.

Schwellenwerte der Baumartenverbreitung

Die Verknüpfung der Daten einer Großrauminventur (z. B. BWI II) mit wichtigen Klimakennwerten bietet eine weitere Möglichkeit, mit vertretbarem Aufwand eine ausreichend große Datenbasis zur Klärung von Fragen nach Verbreitungsmustern und ökologischen Grenzen forstlich relevanter Baumarten zu untersuchen. Mit statistischen Modellen las-

sen sich dafür Wahrscheinlichkeitsfunktionen für das Vorkommen berechnen und Schwellenwerte herleiten.

Abbildung 1 zeigt das Ergebnis einer solchen Berechnung an einem Beispiel für die Fichte. Aufgetragen ist die Verteilung der berechneten Wahrscheinlichkeit des Auftretens (0 = 0 %; 1 = 100 %) über der Mitteltemperatur der Vegetationszeit (Mai-September); die Boxplots (rot) geben den 50 %-Wertebereich, die „Schwänze“ den 99 %-Wertebereich an. Im Bereich von Sommermitteln zwischen 9,5 und 11,5 °C, das entspricht etwa der hochmontanen Höhenstufe, ist die Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Fichte nahe dem Wert $n = 1$, d. h. sie besiedelt - bei geringer Streuung - praktisch alle Standorte. Auch im montanen Höhenbereich (- 13,0 °C) ist sie noch beinahe omnipräsent. Im Submontan zeigt sich hingegen bereits ein Absinken der berechneten Vorkommen, bei höherer Streubreite, d. h. die Kombinationen der Standortfaktoren teilen sich in Fichtengünstige und Fichten-ungünstige Bereiche. Diese Tendenz verstärkt sich im Kollin mit Temperaturen in der Vegetationszeit zwischen 14,5 und 16,0 °C. Oberhalb dieses Wertebereichs, d. h. im untersten Kollin und im Planar, sinkt die Vorkommenswahrscheinlichkeit der Fichte markant ab und liegt oberhalb 17 °C, das entspricht einem Jahresmittel von ca. 10,5 °C, nahe dem Nullpunkt.

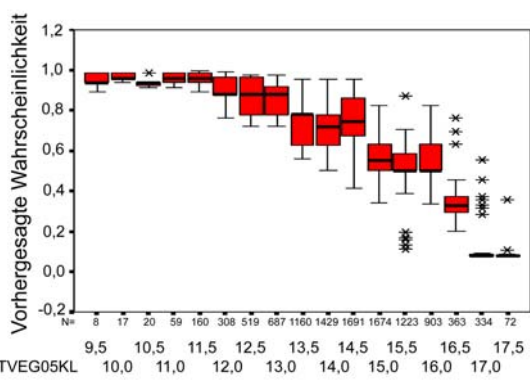


Abb. 1: Berechnete Wahrscheinlichkeit des Vorkommens der Fichte in Abhängigkeit von der Mitteltemperatur in der Vegetationszeit Mai-September (BWI II)

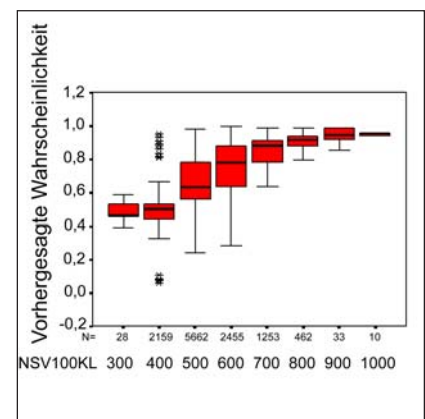
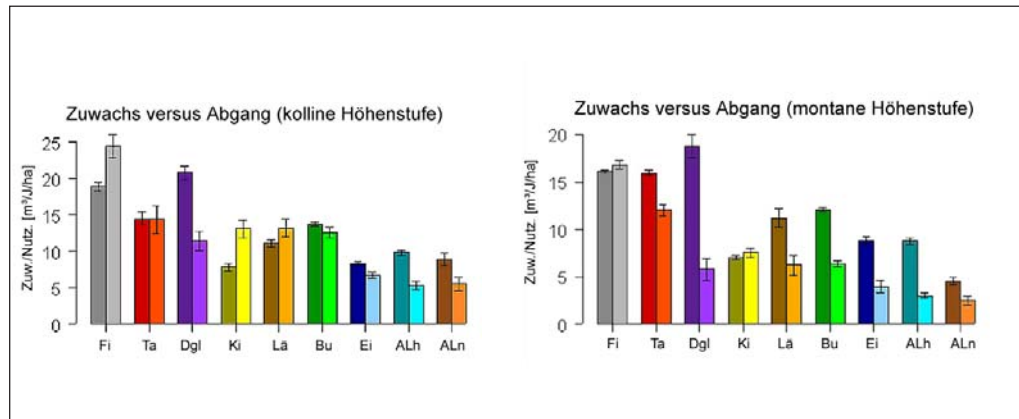


Abb. 2: Berechnete Wahrscheinlichkeit des Vorkommens der Fichte in Abhängigkeit von der Niederschlagssumme in der Vegetationszeit Mai-September (BWI II)

Eine regionale oder zonale Niederschlagsgrenze der Fichte lässt sich für Baden-Württemberg auf diesem Wege nicht nachweisen (Abb. 2). Ein Schwellenwert der Verbreitung wird nach Angaben ostdeutscher und Schweizer Kollegen bei einer Niederschlagssumme in der Vegetationszeit (Vz) von 250 mm vermutet, die Sommer-Niederschläge liegen aber selbst in den niederschlagsarmen Landesanteilen Baden-Württembergs nahe bei 300 mm/Vz.

Die Interpretation dieser Schwellen unterliegt teilweise den gleichen Vorbehalten, wie sie schon für die genannten Klimahüllen formuliert wurden. Die dargestellten Zustände sind das Ergebnis der Waldgeschichte, also der nacheiszeitlichen Entwicklung der Waldökosysteme, die zumindest in den letzten Jahrhunderten stark der menschlichen Steuerung unterlag. Absolute physiologische Grenzen von Baumarten können daraus keinesfalls abgeleitet werden, immerhin ergeben sich für ökologische Grenzen Anhaltswerte, die aber einer weiteren kausalen Klärung bedürfen.

Hierfür geben die Betrachtung der Vorratsentwicklung (Abb. 3) und die der Flächenausstattung der Altersklassen (Abb. 4) Hinweise auf die Struktur und Vitalität von Baumpopulationen entlang von Temperaturgradienten. Die gewählte Darstellung zeigt einen Vergleich der kollinen mit der montanen Höhenstufe bezüglich der Entwicklung zwischen 1987 und 2002. Bei der Gegenüberstellung von periodischen Zuwächsen und Abgängen stellt sich ein deutlicher Biomassezuwachs der Buche dar, und zwar ausgeprägter in den montanen als in den kollinen Lagen. Die Fichte hat in der montanen Stufe ihre Biomasse etwa gehalten, während in der kollinen Zone eine deutliche Abnahme erkennbar ist. Die Altersklassenverteilung der Fichte zeigt ebenfalls deutliche Besonderheiten der Höhenzonierung. In der kollinen Höhenstufe ist die Fichte nur bis zur V. Altersklasse mit bedeutsamer Fläche ausgestattet, ältere Bestände gibt es kaum. Dagegen reicht in der montanen Höhenstufe die Flächenausstattung bis in die VIII. Altersklasse. Die Bestände der warmen Tieflagen werden also nicht sehr alt.



Zudem ist die Konstanz der Verjüngung in der kollinen Höhenstufe unterbrochen, erkennbar am starken Rückgang der I. Altersklasse.

Auch bei diesen Daten muss eine detaillierte Analyse folgen, welche der Faktoren Sturm, Insekten und Dürre den Rückgang der Fichte in der kollinen Höhenstufe überproportional verursacht haben. Bei dem hohen Prozentsatz außerplanmäßiger Nutzungen in diesen Gebieten darf die waldbauliche Steuerung als nachrangig betrachtet werden (vgl. Stahl & Gauckler 2007). Beim Rückgang der Verjüngungszahlen ist zu prüfen, in welchem Maße vorausseilender waldbaulicher Vollzug beziehungsweise fehlende Investitionsbereitschaft dem Klimawandel bereits vorweg geht.

Entsprechende Auswertungen wurden auch für die anderen in der BWI II erfassten Wirtschaftsbaumarten durchgeführt. Für die Buche haben die Ergebnis-

Abb. 3: Durchschnittlicher periodischer Zuwachs (linke Säulen) und Abgang (rechte Säulen) der Hauptbaumarten im Zeitraum 1987-2002, Vergleich der kollinen und der montanen Höhenstufe Baden-Württembergs (BWI II)

se gezeigt, dass sich derzeit in Baden-Württemberg keine klimatischen Grenzwerte nachweisen lassen. Sie steht in weiten Teilen Baden-Württembergs in ihrem ökologischen Optimum, wobei derzeit noch ihre Bestockungsanteile und Produktivität von der kollinen bis zur hochmontanen Stufe hin abnehmen.

Nach den Untersuchungen französischer Kollegen scheinen semiaride Sommermonate (Juni/Juli), das heißt Mittelwerte der monatlichen Niederschläge von unter 50 mm, der Verbreitung der Buche ein Limit zu setzen (Badeau et al. 2004).

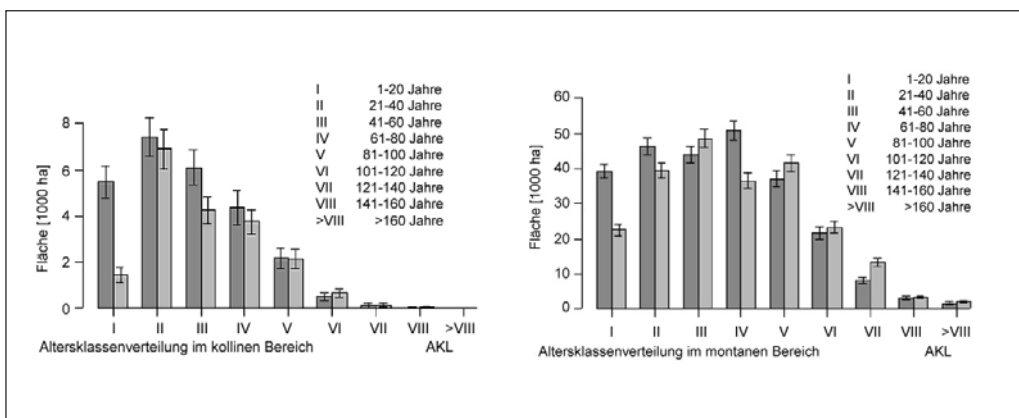


Abb. 4: Altersklassenverteilung der Fichte im Vergleich der Jahre 1987 (linke Säulen) und 2002 (rechte Säulen) sowie der kollinen mit der montanen Höhenstufe in Baden-Württemberg (BWI II)

Tab. 1: Dynamisierte BAE-Bewertung: Einstufung der Klimastabilität der Fichte bei T/Vz +4,5 °C (Basis 1961-90): Anstieg Temp. T um +2,5°C bis 2050, um +4,5 °C bis 2100; ohne Reduktion Niederschlag, in Abhängigkeit von der aktuellen Jahresmitteltemp. und Höhenstufe

Klimatische Ausgangslage (1961-90)		dynBAE 2010	dynBAE 2030	Wärmestufe Prog 2050	Wärmestufe Prog 2100
Wärmestufe T °C/a	Standortskundl. Höhenstufe	bei T °C/a			
		+ 1 °C	+ 1,5 °C	+ 2,5 °C	+ 4,5 °C
10 - 11	planar			12,5 - 13,5	14,5 - 15,5
8,5 - 10	kollin			11 - 12,5	13 - 14,5
7 - 8,5	submontan			9,5 - 11	11,5 - 13
5,5 - 7	montan			8 - 9,5	10 - 11,5
4 - 5,5	hochmontan			6,5 - 8	8,5 - 10
3 - 4	subalpin			5,5 - 6,5	7,5 - 8,5

Legende: Risikozonen (Rz) 0 bis 3
0 klimastabil: bis 2100 keine Überschreitung Schwellenwert 10,5 °C/a
1 langfristig klimalabil: in 40-90 Jahren Übersch. Schwellenw. 10,5 °C/a
2 klimalabil: bis in 40 Jahren Übersch. Schwellenw. 10,5 °C/a
3 hochgradig klimalabil: aktuelle Übersch. Schwellenw. 10,5 °C/a

Trotz der Mängel stellen großräumige pflanzengeographische Ansätze bisher den anschaulichsten Weg dar, um rasch zu einer Abschätzung der Wirkung von Klimaveränderungen auf die Waldökosysteme zu kommen. Im FVA-Projekt „Klimatische Grenzen für den Waldbau mit Buche und Fichte“ werden fundierte Aussagen zu Vitalität, Mortalität und

Tab. 2: Dynamisierte BAE-Bewertung: Einstufung der Klimastabilität der Buche bei T/Vz +4,5 °C (Basis 1961-90): Anstieg Temp. T um +2,5°C bis 2050, um +4,5 °C bis 2100; ohne Reduktion Niederschlag, in Abhängigkeit von der aktuellen Jahresmitteltemp. und Höhenstufe

Klimatische Ausgangslage (1961-90)		dynBAE 2010	dynBAE 2030	Wärmest. Prog 2050	Wärmest. Prog 2100	
Wärmestufe T °C/a	Niederschlagstyp mm/Vz	Standortsk. Höhenstufe	bei T °C/a			
			+ 1 °C	+ 1,5 °C	+ 2,5 °C	+ 4,5 °C
10 - 11	< 350	planar			12,5 - 13,5	14,5 - 15,5
	> 350					
8,5 - 10	< 350	kollin			11 - 12,5	13 - 14,5
	> 350					
7 - 8,5	< 350	submontan			9,5 - 11	11,5 - 13
	> 350					
5,5 - 7	< 350	montan			8 - 9,5	10 - 11,5
4 - 5,5	< 350	hochmontan			6,5 - 8	8,5 - 10
3 - 4	< 350	subalpin			5,5 - 6,5	7,5 - 8,5

Legende: Risikozonen (Rz) 0 bis 2
0 klimastabil: bis 2100 keine Überschreitung Schwellenwert 10,5 °C/a
1 langfristig klimalabil: in 40 - 90 Jahren Übersch. Schwellenw. 10,5 °C/a
2 klimalabil: bis in 40 Jahren Übersch. Schwellenw. 10,5 °C/a

Wachstum von Buche und Fichte entlang der Klimagradienten in Baden-Württemberg hergeleitet. Damit ist das Ziel verbunden, Kriterien der Baumarteneignung, die bisher nur wenig quantifizierbar waren, einer verbesserten, quantitativ abgesicherten Bewertung zuzuführen. Weil die Klimaprognosen den aktuellen Klimarahmen Baden-Württembergs verlassen, werden auf diese Prognosen ausgerichtete waldbauliche Empfehlungen nur mit der Erweiterung des geographischen Betrachtungsraumes möglich sein. Dabei müssen besonders Regionen mediterraner Klimatypen einbezogen werden.

Langfristige Baumarteneignung

Die seitherige Einstufung der Baumarteneignung beruhte auf der Annahme, dass ein Bestand im Laufe seiner Geschichte keine gerichteten Klimaveränderungen erfährt, d. h. dass die Temperaturwerte im langjährigen Mittel den Bereich von ca. ± 1 °C um den Mittelwert der Referenzperiode nicht verlassen. Mit der Temperaturerhöhung entsteht für die forstliche Standortkunde eine neuartige Aufgabe, denn nun soll sie nicht nur die aktuelle BAE beurteilen, sondern diese auch für weit in der Zukunft liegende Phasen der Bestandesentwicklung dynamisch einschätzen.

Ein erster Ansatz einer dynamisierten BAE-Bewertung ist die Darstellung der aktuellen und zukünftigen räumlichen Verteilung von den erwähnten Schwellenwerten der BAE. Ihre Fixierung steht derzeit noch auf schwachem Fundament, so dass die vorgestellten Ergebnisse mehr der Darstellung methodischer Ansätze dienen und konkrete Handlungsempfehlungen allenfalls vorläufig gezogen werden können. Abbildung 5 visualisiert die aktuelle Verbreitung der Fichte in Baden-Württemberg nach den Aufnahmeflächen der BWI II (rote+gelbe Rasterquadrate) und zeigt, in welchen Räumen bei einer Erwärmung um 4 °C bis 2100 nach den bisherigen waldbaulichen Realisierungen eine herkömmliche Bewirtschaftung des WET Fichten-Misch-

wald nicht mehr möglich sein wird (gelbe Rasterquadrate). Die Darstellung resultiert aus einer Abfrage und Abbildung eines Grenzwertes für den Fichten-Anbau auf der Basis der Temperatur in der Vegetationszeit (Monate V-IX) von 17 °C.

Für die Buche muss die vergleichbare Darstellung die regionale Niederschlagshöhe mit einbeziehen, weil die Buche dort gegenüber Reduktionen besonders sensibel ist. Abbildung 6 zeigt, dass bei einer Erwärmung um 4 °C und gleichzeitiger Reduktion der Niederschlagssumme in der Vegetationszeit um 10 % auch die Buche in den warm-trockensten Naturräumen Baden-Württembergs, insbesondere im nördlichen Oberrheinischen Tiefland und im kollinen Neckarland, ihre Standorttauglichkeit verlieren würde.

Damit in der forstlichen Planung auch die zukünftige BAE angemessen bewertet wird, müssen die BAE-Tabellen um das Kriterium der Klimalabilität erweitert werden. Das Kriterium der Klimalabilität von Baumarten wird auf die klimatischen Verhältnisse hin geprüft, der die heutigen Bestände der Hauptnutzungs-, der Durchforstungs- (Df) und der Jungbestandsphase (JB) ausgesetzt sein werden. Die zeitliche Staffelung dieses Risikokriteriums wird in 4 Klassen (K) ausgewiesen, die sich wie folgt definieren:

- K 0, klimastabil: voraussichtlich keine Schwellenwert-Überschreitung bis ins Jahr 2100, keine Anpassung der aktuellen BAE-Bewertung notwendig.

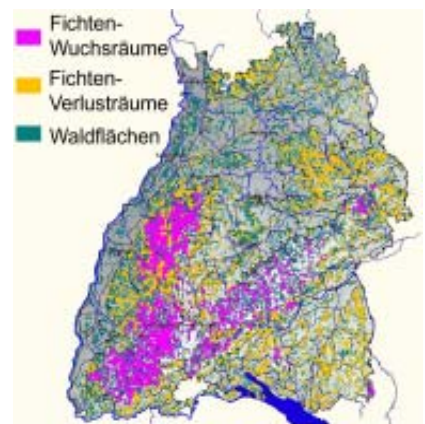


Abb. 5: Modellierter Wuchs- und Verlustflächen der Fichte

- K 1, langfr. klimabil: Schwellenwert-Überschreitung in 40 bis 90 Jahren, JB- und Df-Bestände werden betroffen. Die Baumart ist bei günstiger Konkurrenz- und Leistungsbeurteilung auf dem Standort in der Gesamtbewertung „möglich“, sonst „wenig geeignet“ oder „ungeeignet“.
- K 2, klimabil: Schwellenwert-Überschreitung bis in 40 Jahren; d.h. auch Bestände der Hauptnutzung noch betroffen; Risiko hoch, Vitalität (Konkurrenzstärke, Leistung) vermindert, auch auf bislang günstigen Standorten nur noch „wenig geeignet“.
- K 3, hochgradig klimabil: bereits aktuelle Schwellenwert-Überschreitung. Ausschlusskriterium für die Baumart (Gesamtbewertung = „ungeeignet“).

Die für eine zeitlich gestaffelte Darstellung der Baumarteneignung eigentlich entscheidenden Grundfragen sind der unterstellte Verlauf der Klimaentwicklung und die Fixierung der Risikoschwellen. Hier mögen zwei Beispiele für Buche und Fichte stehen (Tab. 1 und 2), in denen das Risikokriterium der BAE für die standortkundlichen Höhenstufen Baden-Württembergs abgebildet wird. Jeweils vorausgesetzt wird in den Darstellungen ein Anstieg der mittleren Jahrestemperatur bis zum Jahr 2100 von 4,5 °C, ausgehend von der Periode 1961-90. Dies entspricht ungefähr dem IPCC-Szenario A2. Die Planung 2010 wird bereits auf einem Niveau von 1 °C Erhöhung starten, dies folgt aus der Temperaturent-

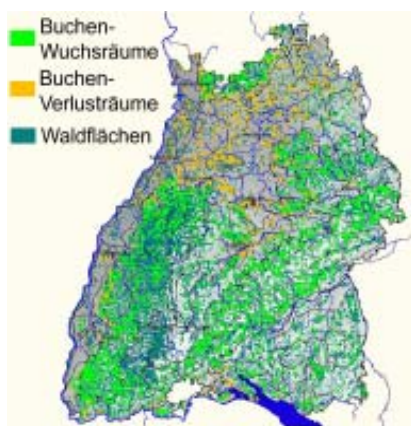


Abb. 6: Modellerte Wuchs- und Verlustflächen der Buche

wicklung des Mess-Zeitraumes 1991-2007. Bis zum Jahr 2030 wird eine weitere Zunahme der mittleren Jahrestemperatur um 0,5 °C, bis 2050 um weitere 1 °C unterstellt.

Die Fichte ist mit dem Grenzwert der mittleren Jahrestemperatur von 10,5 °C berechnet. Es ist zu beachten, dass dieser Schwellenwert von 10,5 °C nahe der absoluten aktuellen Verbreitungsgrenze liegt, und dass für die Fichte bereits bei 8,5 °C und noch einmal bei 9,5 °C Vitalitäts-Schwellenwerte erkennbar sind (Michiels & Wagner, in prep.; vgl. Lebourgeois 2006). Das Ergebnis zeigt deutlich, welche Dramatik für die Zukunft der Fichte einer derartigen Temperaturentwicklung innewohnt. Auswirkungen könnten sich langfristig bis in die montane Höhenstufe hinein zeigen.

Für die Buche ist die Methodik der Fixierung klimatischer Grenzwerte noch unsicherer, weil sie in einer Kombination von Temperatur und Niederschlagsverhältnissen resultieren, die in Baden-Württemberg in der aktuellen Messperiode 1961-90 nirgendwo vorliegen. Spanische, französische und italienische Populationen der Buche, die weiter in mediterrane Klimaräume vorstoßen, sind mit den mitteleuropäischen genetisch wahrscheinlich nicht identisch (Musch et al. 2007). Die gewählten Grenzwerte, 13 °C für niederschlagsreiche Räume mit > 350 mm/Vz, und 12 °C bei < 350 mm/Vz sind erste Anhaltswerte (vgl. Kölling 2007). Sollt sich auch der Niederschlag in der Vegetationszeit deutlich vermindern, wie das in manchen Klimaszenarien prognostiziert wird, würden sich diese Temperaturgrenzen noch verschärfen.

Basierend auf den skizzierten Risikoklassen kann eine angepasste waldbauliche Planung und Behandlung aufbauen (Kohnle et al. 2008). Wenn zukünftig besser abgesicherte Klimaprognosen und präzisierte waldböologische Erkenntnisse vorliegen werden, sind diese Empfehlungen zu aktualisieren. Es muss das Ziel der dynamisierten BAE-Bewertung sein, angesichts der Unsicherheiten der Klimaprognosen, waldbauliche Steuerungsmöglichkeiten in Reaktion auf die dann tatsächlich eintretende klimatische Situation zu erhalten.

Dr. Hans-Gerd Michiels
FVA, Abt. Waldökologie
Tel.: (07 61) 40 18 – 1 78
hans-gerhard.michiels@forst.bwl.de

Literatur

- Aldinger, E., Michiels, H.-G. (1997): Baumarteneignung in der forstlichen Standortkartierung Baden-Württemberg. *AFZ/Der Wald* 52, 234-238.
- Badeau, V., Dupouey, J.L., Cluzeau, C., Drapier, J., Le Bas, C. (2004): Modélisation et cartographie de l'aire climatique potentielle des grandes essences françaises. In: *Rapport final Carbofor. Volet D 1*.
- Bohn, U., Neuhäusl, R., unter Mitarbeit von Hettwer, C., Gollub, G. & Weber, H. (2000/2003): Karte der natürlichen Vegetation Europas/Map of the Natural Vegetation of Europe. Maßstab/Scale 1 : 2 500 000. Teil 1: Erläuterungstext mit CD-ROM; Teil 2: Legende; Teil 3: Karten. Münster (Landwirtschaftsverlag).
- Dobbertin, M., Wohlgemuth, Th., Feldmeyer-Christe, E., Graf, U., Mayer, P., Zimmermann, N., Rigling, A. (2005): The decline of *Pinus sylvestris* L. forests in the Swiss Rhone Valley - a result of drought stress? *Phyton* 45 (4), 153-156.
- Kliwa (Hrsg.) (2006): Regionale Klimaszenarien für Süddeutschland. *Kliwa-Berichte Heft 9*.
- Kölling, Ch. (2007): Klimahüllen für 27 Baumarten. *AFZ/Der Wald* 23, 1242-45.
- Kohnle, U., Hein, S., Michiels, H.-G. (2008): Waldbauliche Handlungsmöglichkeiten angesichts des Klimawandels. *FVA einblick+ . 01/08: 50-53*.
- Lebourgeois, F. (2006): Reponse au climat du sapin (*Abies alba* Mill.) et de l'epicéa (*Picea abies* (L.) Karst) dans le réseau renecofor. *Revue forestière française* 18/5, 419-433.
- Michiels, H.-G., Wagner, U. (in prep.): Revealing ecological patterns of forest trees distribution from German forest survey data - a methodological contribution.
- Musch, B., Valadon, A., Petit, R. (2007): L'histoire du hêtre au Quaternaire: un nouvel éclairage et des enseignements pour l'avenir. *Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série 2*, 59-65.
- Schröter, H., Petercord, R. (2008): FVA-einblick+ 01/2008: 36-39.
- Stahl, S. & Gauckler, St. (2007): Wie fit sind die Fichtenwälder in Oberschwaben für den Klimawandel? *AFZ/Der Wald* 23, 1250-55.

Waldbauliche Handlungsmöglichkeiten angesichts des Klimawandels

von Ulrich Kohnle, Sebastian Hein und Hans-Gerd Michiels

Entscheidungsgrundlagen

In Anbetracht der Diskussionen und des Kenntnisstandes um Klima- und Umweltwandel sind Strategien zum sinnvollen Umgang mit dem Wandel offenkundig zwingend erforderlich. Weil Veränderungen längerfristig erwartet werden bzw. längerfristig wirksam sein dürften, gilt dies in besonderem Maße für waldbauliche Strategien: Zum einen muss sich waldbauliches Handeln in besonderem Maße an langfristigen Zielen oder Erwartungen ausrichten und zum anderen müssen aufgrund der langen forstlichen Produktionsdauer für die Zukunft erwartete Veränderungen in angemessener Weise bei heutigen Entscheidungen berücksichtigt werden.

Das Zauberwort ist „in angemessener Weise“ – auch im Zusammenhang mit Klimawandel. Es gilt zu einer abgewogenen waldbaulichen Strategie zu kommen, die weder die Unsicherheiten der Prognosen negiert, noch gesichertes Wissen über die Beziehungen zwischen Bäumen und relevanten Standorts- und Witterungsfaktoren ignoriert.

Zusätzlich zu den Unschärfen der Klima- und Witterungsprognosen bestehen weitere Unsicherheiten bezüglich des Reaktionsmusters der Baumpopulationen auf die erwarteten Umweltveränderungen. Allerdings steht hier der Waldbau aufgrund des umfangreichen wachstums- und standortkundlichen Wissens alles andere als mit leeren Händen da: Berücksichtigt man, dass diese Kenntnisse aus der Vergangenheit stammen, die nicht vollständig in die Zukunft übertragbar sind, lassen sich daraus durchaus belastbare und entscheidungsrelevante Erwartungen ableiten. Dies enthebt jedoch keinesfalls der Notwendigkeit, die aktuell verfügbaren Entscheidungsgrundlagen durch gezielte Untersuchungen zur Klimaanpassungsfähigkeit von

Bäumen weiter zu verbessern.

Eine seriöse Anpassung waldbaulicher Strategien muss den Prognoseunsicherheiten (v. a. Klimaänderung) zum einen dadurch angemessen Rechnung tragen, dass die Ausrichtung auf Zeithorizonte beschränkt wird, bei denen noch vertretbare Prognoseunsicherheiten auftreten. Dabei kann es sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt allenfalls um einige Jahrzehnte handeln, aber keinesfalls um Jahrhunderte! Zum anderen verbieten sich vor dem Hintergrund unsicherer Prognose radikale Wechsel. Vielmehr gilt es flexible Strategien zu entwickeln, die eine kontinuierliche Anpassung ermöglichen.

Insbesondere bei markanten Änderungsraten von Witterungsabläufen ist es plausibel, zumindest von einer Verstärkung bereits vorhandener Risikopotenziale auszugehen. Gegebenenfalls muss sogar mit dem Auftreten neuer Risikofaktoren gerechnet werden. Waldbauliche Strategien müssen daher zukünftig verstärkt ihr Augenmerk auf den Umgang und die Begrenzung natürlicher Risikopotenziale richten.

Von der Baumarteneignung zur Baumartenwahl

Die Wahl der Baumart bzw. Baumartenmischung wirkt sich entscheidend sowohl auf die Angepasstheit eines Bestandes als auch auf seine Anpassungsfähigkeit aus. Im Grundsatz gilt dabei auch vor dem Hintergrund anzunehmender Klimaveränderungen das Prinzip der standortsangepassten Baumartenwahl weiter. Veränderungen ergeben sich daraus, dass die Baumarten-Eignungsbeurteilungen hinsichtlich der erwarteten Änderungsraten angepasst („dynamisiert“) werden (Michiels 2008). Zusätzlich ist verstärkt Wert darauf zu legen, dass bestehende Freiheiten bei der Baumartenwahl dahingehend zu nutzen sind,

tenwahl dahingehend zu nutzen sind, dass prinzipiell nur solche Baumarten gewählt werden, deren Ansprüche in den nächsten drei bis vier Jahrzehnten in vollem Umfang erfüllt werden. Baumarten, für die vorauszusehen ist, dass sie am jeweiligen Standort in den nächsten drei bis vier Jahrzehnten den Grenzbereich ihrer Ansprüche erreichen, sollten nicht aktiv gewählt werden. Bestände aus Baumarten, die an ihren Wuchsorten bereits jetzt als „klimalabil“ (Michiels 2008) eingestuft werden, sind mittelfristig in standortsgerechte Bestockungen umzubauen.

Unter Berücksichtigung der gebotenen standörtlichen und regionalen Differenzierung lassen sich unter Annahme einer zunehmend mediterranen Klimatönung gegenwärtig exemplarisch folgende Tendenzen bei den Hauptbaumarten abschätzen. Dargestellt sind grob skizzierte Verallgemeinerungen landesweiter Tendenzen. Bei der Baumartenwahl selbst sind selbstverständlich zusätzlich die spezifischen Merkmale des jeweiligen Standorts zu berücksichtigen (z. B. Bodenwasserhaushalt):

Fichte, Douglasie, Tanne

Das natürliche Areal der Fichte hat zwar boreal-kontinental-subalpinen Klimacharakter. Ihr künstlicher Anbau zeigt jedoch, dass die Baumart bei ausreichender Wasserversorgung auch in klimatischen Übergangssituationen beste Wuchsleistungen erbringt. Unter gravierend wärmeren Verhältnissen wirkt jedoch das Temperaturregime an sich begrenzend und kann nicht mehr durch entsprechende Wasserversorgung ausgeglichen werden. So gibt es beispielsweise in Gebieten mit mediterranem Temperaturregime auch bei bester standörtlicher Wasserversorgung keine Beispiele für erfolgreichen Waldbau mit der Fichte. Es

zeichnet sich daher deutlich ab, dass der Fichte in den wärmeren, tiefer gelegenen Bereichen Baden-Württembergs größere Flächenanteile verloren gehen. Als vollwertige, leistungsfähige Nadelbaum-Alternative bietet sich die Douglasie an. Innerhalb des natürlichen Tannengebietes empfiehlt sich bis auf weiteres auch eine Verschiebung zur Tanne, die hinsichtlich wärmerer Witterungsregime ein etwas höheres Anpassungs- und geringeres Risikopotenzial als die Fichte verspricht. Die Möglichkeiten für Douglasie und Tanne dürften sich zudem im hochmontanen Bereich verbessern.

Kiefer, Lärche

Als Baumart mit ausgeprägt kontinentalem, borealem Arealcharakter fehlt die Waldkiefer typischerweise im mediterranen Raum. Ihr dürfte deshalb auch in Zukunft keine größere Bedeutung zukommen. Ähnliches gilt für die europäische Lärche. Wesentlich günstiger ist in diesem Zusammenhang, zumindest auf Karbonatböden, die Prognose für die Schwarzkiefer. Die für die nächsten Jahrzehnte erwarteten klimatischen Veränderungsdaten lassen jedoch vorerst noch keine verstärkte Hinwendung zu dieser Baumart erforderlich erscheinen.

Buche, Eiche, Esche, Ahorn

Mit Ausnahme im planaren Bereich sind für die Buche in den nächsten Jahrzehnten grundsätzlich noch keine kritischen Verhältnisse zu erwarten. Ihre überragende Konkurrenzstärke in naturnahen Wäldern wird sich in Baden-Württemberg, dessen Waldflächen sich überwiegend in der submontan-montanen Höhenstufe befinden, noch verstärken. In wärmeren, tiefer gelegenen Bereichen (kollin) ist es jedoch bei geringen Sommer-Niederschlägen aus Gründen der Vorsicht angezeigt, verstärkt Traubeneiche als Beimischung zu konzipieren. Günstige Prognosen zeichnen sich auch für die Esche ab. Auch die Klimaelasticität des Bergahorns erscheint noch nicht ausgereizt, sie wird im Vergleich zur Esche aber als etwas geringer eingeschätzt. Dagegen dürfte der Spitzahorn

aufgrund seines im Schwerpunkt kontinentalen natürlichen Areals keine großen Erweiterungen seiner Potenziale erfahren. Ansonsten bieten sich noch Esskastanie, Sommer- und Winterlinde, Hainbuche, Vogelkirsche und Elsbeere für eine Erweiterung ihrer Bestockungsfläche an.

Verjüngung

Grundsätzlich ist anzustreben, dass in den Waldentwicklungstypen (WET) Baumarten mit ungünstiger Klimaprognose nur in untergeordnetem Umfang bei der Bestandesbegründung berücksichtigt werden, bzw. Verjüngungen mit geeigneten Baumarten angereichert werden. Bei der waldbautechnischen Umsetzung der genannten Prinzipien im Zuge der Baumartenwahl ist dabei grundsätzlich zu unterscheiden, ob ein Bestand aus Naturverjüngung oder reiner Pflanzung begründet wird:

Pflanzung

Sofern zum Zeitpunkt der Bestandesbegründung keine nennenswerten Naturverjüngungsvorräte vorhanden sind, bestehen bei der Baumartenwahl die vollen Freiheitsgrade. In diesem Falle sollten ausschließlich Baumarten gewählt werden, für die aufgrund der dynamisierten Eignungsbeurteilung in den nächsten Jahrzehnten keine besonderen Probleme erwartet werden. Um angestrebte Mischungen möglichst wirtschaftlich und stabil umsetzen und erhalten zu können, ist generell von flächigen Einzelmischungen abzusehen. Unter Berücksichtigung der standortspezifischen Konkurrenzverhältnisse sind Mischungen vorzugsweise horst- bis kleinbestandsweise umzusetzen.

Naturverjüngung

a) Werden die in Naturverjüngungen vorhandenen Baumarten auf der Grundlage der dynamisierten Eignungsbeurteilung als geeignet angesprochen, erübrigen sich besondere zusätzliche Maßnahmen. Vergleichbares gilt, wenn der in der Wuchsdynamik dominierenden, klimageeigneten Baumart eine weniger geeignete Baumart beigemischt ist.

- b) Dominiert dagegen in gemischten Naturverjüngungen eine Baumart mit ungünstiger Klimaprognose über eine aktuell wuchsunterlegene Baumart mit günstiger Prognose, so ist diese durch geeignete Maßnahmen der Mischwuchsregulierung in maßgeblichen Anteilen zu sichern. Im Regelfall ist dies durch flächige Entmischung zugunsten der wuchsunterlegenen Baumart sicher zu stellen.
- c) Im ungünstigsten Fall besteht die Naturverjüngung vollständig aus Baumarten mit kritischer Prognose. Dann müssen durch künstliche Einbringung Anteile geeigneter Baumarten geschaffen werden. Im Regelfall dürfte dies durch Auspflanzung von Bereichen geschehen, in denen gegebenenfalls vor der Pflanzung die vorhandene Naturverjüngung zurückgenommen wird (Gruppen- bis Horstgröße). Pflegekonzepte, die einer frühzeitigen Vitalisierung Rechnung tragen, leisten hier einen Beitrag zur Reduktion der naturalen Risiken für die Bestände.

Stabilisierung auf Einzelbauebene

Im Prinzip ist anzunehmen, dass Bäume mit guter Kronen- und Wurzelentwicklung grundsätzlich höhere Stabilitäts- und Anpassungspotenziale besitzen als unter starkem Konkurrenzdruck stehende Bäume. Durch gezielt fortgeführte Standraumerweiterungen werden die für die Hauptzuwachs- bzw. Stabilitätsträger angestrebten günstigen Standraumkonstellationen geschaffen, erhalten oder verbessert. Besonders zu betonen ist die Bedeutung frühzeitiger ausreichender Standräume für die Bewurzelung: Konkurrenzbedingte Einschränkungen der Wurzelentwicklung in der frühen Jugend sind in späteren Entwicklungsphasen nur noch sehr eingeschränkt kompensierbar. Die Umsetzung der Stabilisierungsziele erfolgt entsprechend dem in den WET verbindlich fest-



gelegte Prinzip der Z-Baum-orientierten Auslesedurchforstung (MLR 1997, MLR 1999) – es bestehen derzeit keine Anhaltspunkte dafür, dass die vor dem Hintergrund der Klimaänderung anzustrebende Einzelbaum-Vitalisierung durch andere Pflegekonzepte wirkungsvoller erreicht werden kann.

Um dem Anliegen der Stabilisierung und Vitalisierung in besonderem Maße Rechnung zu tragen, empfiehlt es sich, zum einen die Vitalität als Auswahlkriterium zu betonen. Zweckmäßigerweise sollten Bäume unterhalb der Kraftklassen 1 & 2 nicht in das Z-Baumkollektiv einbezogen werden. Zum anderen erscheint es empfehlenswert, die Anzahl der Z-Bäume an der Untergrenze der Rahmenwerte der WET zu orientieren und diese betont zu begünstigen. Der Vollständigkeit halber sei in diesem Zusammenhang festgehalten, dass eine Durchforstung ohne eindeutige Markierung der zu begünstigenden Z-Bäume nicht den Kriterien einer Z-Baum-orientierten Auslesedurchforstung entspricht!

Stabilisierung auf Bestandesebene

Mischbestandswirtschaft

Insbesondere bei unsicherer Beurteilung der Baumarteneignung bietet die Mischbestandswirtschaft die Möglichkeit, Betriebsrisiken auf mehrere Baumarten mit unterschiedlichen natürlichen Risiken zu verteilen. Aus ertragswirtschaftlicher Sicht ist dabei ein akzeptabler Kompromiss anzustreben zwischen a)

dem Gewinn an Betriebssicherheit durch Beteiligung einer stabileren aber weniger ertragreichen Baumart, und b) dem Verzicht auf potenziell maximalen Ertrag durch Einschränkung einer ertragreichen, aber vergleichsweise stärker risikobehafteten Baumart.

Die Ausgestaltung der Mischungsform spielt eine zentrale Rolle beim erforderlichen Ausgleich zwischen dem wirtschaftlichem Aufwand und dem Gewinn bezüglich Anpassungs- und Risikopotenzial: Je stärker die zu mischenden Baumarten in ihrer Konkurrenzkraft differieren, umso aufwendiger wird es, die wuchsunterlegene Baumart in kleinräumigen Mischungen zu erhalten. Als waldbauliche Konsequenz ergibt sich daher, dass zunehmende Unterschiede in der Konkurrenzkraft größerflächige Mischungsformen bedingen. Der Erhalt einer aktuell wuchsunterlegenen Mischungsbaumart in kleinräumigen Mischungsformen ist zu aufwendig bzw. gefährdet die dauerhafte Sicherung dieser Baumart.

Effiziente (rasche) Erreichung von Produktionszielen

Bei der Mehrzahl der wichtigsten natürlichen Risikofaktoren wie Sturm, Fäulen und Borkenkäfer nimmt das Risikopotenzial mit der Höhe bzw. dem Alter der Bäume zu. Bei der Realisierung betrieblicher Produktionsziele (z. B. Zieldurchmesser) sind daher solche Durchforstungskonzepte grundsätzlich vorteilhafter zu beurteilen, die es ermöglichen, diese Ziele innerhalb vergleichsweise kurzer Zeiträume mit Bäumen geringerer Höhe zu errei-

chen. Ungünstig sind Konzepte, die für dasselbe Dimensionsziel zu einer unnötigen Verlängerung der Produktionszeiten führen. Damit werden die Bäume zum einen den Risikofaktoren über einen längeren Zeitraum ausgesetzt und zum anderen steigen aufgrund der größeren Baumhöhen viele Risiken (z. B. Sturm) überproportional stark an.

Waldbauliche Produktionsmodelle, die angestrebte Produktionsziele möglichst frühzeitig erreichen, erscheinen vor dem Hintergrund von Umweltveränderungen im Übrigen auch dadurch besonders vorteilhaft, dass sie in besonderem Maße das hohe physiologische und morphologische Anpassungspotenzial jüngerer Bestände nutzen.

Begrenzung von Endhöhen/ Vorräten

Zur Begrenzung höhen- bzw. altersgebundener Risiken und zur Verringerung beispielsweise von Wasserkonkurrenz kann es sinnvoll sein, in älteren Beständen die Endhöhen bzw. die Vorratshaltung zu begrenzen. Entscheidend wird sein, dass die Einführung solcher Begrenzungen nicht der subjektiven Beliebigkeit unterliegt, sondern im Rahmen einer gesamtbetrieblichen Entscheidung qualifiziert abgewogen werden. Hierfür ist im Rahmen der Forsteinrichtung ein geeignetes Indikatorenbündel zu entwickeln.

Ein wesentlicher Aspekt bei risikobedingten Begrenzungen von Endhöhen oder Vorräten ist die Einhaltung rechtlicher Vorgaben und eigentümerspezifischer Richtlinien. Im öffentlichen Wald, insbesondere im Staatswald, bedeutet dies, dass neben den Vorgaben für ordnungsgemäße Forstwirtschaft sowie der PEFC-Zertifizierung die Prinzipien der naturnahen Waldwirtschaft (MLR 1993) nicht verlassen werden dürfen. Allerdings sollten die vorhandenen Spielräume konsequent genutzt werden.

Verjüngungsvorräte als „Risiko-Versicherung“

Günstig ist es, wenn insbesondere in stärker risikobehafteten Beständen oder

Bestandesphasen Verjüngungsvorräte (vorzugsweise aus Naturverjüngung) aufgebaut sind. Sie dienen im Schadensfall als Fundament für eine rasche und wirtschaftliche Wiederbewaldung. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass die gültigen waldbaulichen Prinzipien wirkungsvoll diesem Ziel dienen: Unter dem Einfluss von Pflegekonzepten mit frühzeitiger Standraumerweiterung der Hauptzuwachs- und Stabilitätsträger sowie der Begrenzung der Vorratshaltung in reiferen Bestandesphasen auf ein sinnvolles, risikoangepasstes Niveau, ergeben sich in aller Regel Strukturen, bei denen bereits ab mittleren Bestandessaltern die Dynamik der Naturverjüngung einsetzt – angepasste Wildbestände vorausgesetzt. Selbstverständlich erfolgen zu solch frühen Zeitpunkten außer der Schlagpflege als obligatem Bestandteil der Holzernte noch keine Maßnahmen zur Pflege oder Förderung von Verjüngungsvorräten.

Verstärkte Berücksichtigung von Risiken bei der Planung

Die erwartete Klimaveränderung führt zusätzlich zu den bestehenden Risikofaktoren nahezu zwangsläufig zu gesteigerten Risikobelastungen der an heutige Umweltverhältnisse angepassten Bestände. Anpassungsvermögen der Wälder sowie Erfolg von Forstbetrieben werden ganz wesentlich davon abhängen, dass es gelingt, naturale Risikofaktoren noch stärker als bisher ins Zentrum waldbaulicher Strategien zu rücken. Prinzipiell behalten Aspekte wie beispielsweise Holzqualität oder Sortenertrag für den Betriebserfolg auch weiterhin große Bedeutung. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass zukünftig der angemessene Umgang mit naturalen Risikofaktoren für den Betriebserfolg eine vergleichsweise größere Rolle spielen dürfte. Vor diesem Hintergrund scheint es erforderlich, dass die von der Forsteinrichtung entwickelte waldbauliche Planung und die darauf aufgebauten betriebsspezifischen Behandlungskonzepte stärker als bisher Konsequenzen aus der differenzierten bestandesspezifischen Risikoneigung

der Bestände ziehen müssen.

Prinzipiell bietet der Grundsatz der standortgerechten Baumartenwahl in Verbindung mit den Behandlungs- und Entwicklungszielen der WET eine gute Grundlage zur Berücksichtigung standortsgebundener Risikoaspekte in der waldbaulichen Planung. Vor dem Hintergrund der erwarteten zunehmenden Risikobelastung erscheint es jedoch zweckmäßig, dieses bereits vorhandene Instrumentarium der Forsteinrichtung weiter zu entwickeln. Einen möglichen Ansatzpunkt könnte die Ausweisung differenzierter Risikostraten innerhalb eines WET bieten.

Grundlage für die Zuordnung von Beständen eines WET zu unterschiedlichen Risikostraten wäre die Beurteilung der Risikofaktoren in ihrer bestandesspezifischen Ausprägung. Ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung der bestandesspezifischen Risikoneigung könnte die unter den Aspekten der erwarteten Klimaveränderung dynamisierte, standortkundliche Eignungsbeurteilung der Baumarten des Bestandes sein. Zusätzlich wären „klassische“ Risikofaktoren in die Beurteilung einzubeziehen wie beispielsweise die topographische Situation eines Bestandes (z. B. besonders sturmgefährdete Kuppenlage) oder risikorelevante Bestandesmerkmale (Sturmanriss, Borkenkäferbefall, Rückeschäden, Trocknissrisse, Kernfäule etc.). Da sich die bestandesspezifische Ausprägung verschiedener Risikofaktoren im Lauf der Zeit ändern kann (z. B. unvorhergesehene Klimaveränderung, Kalamitäten, Holzernte), sollte die Risikobeurteilung der Bestände regelmäßig aktualisiert werden.

Als Konsequenz aus der unterschiedlichen Risikoneigung der Bestände erscheint es für die betriebliche Gesamtplanung zweckmäßig, innerhalb der waldbaulichen Bandbreite des jeweiligen WET nach Risikostraten differenzierte Pflege- und Nutzungskonzepte abzuleiten. Um keine unangemessene planungssystematische Komplexität zu provozieren, wäre eine Beschränkung auf wenige, markant verschiedene Straten anzustreben. Vorgeschlagen wird daher die Bildung von zwei Risikostraten innerhalb eines WET: ein Stratum für Bestän-

Literatur

- Michiels, H.-G. (2008): *Dynamisierte Einstufung der Baumarteneignung als Grundlage für die waldbauliche Planung. FVA einblick+ . 01/08: 44-49.*
- MLR (1993): *Wald, Ökologie und Naturschutz - Leistungsbilanz und Ökologieprogramm der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg. Ministerium für Ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Baden-Württemberg, Stuttgart, 128 S.*
- MLR (1997): *Richtlinien zur Jungbestandspflege. Ministerium Ländlicher Raum Baden-Württemberg, Stuttgart, 16 S.*
- MLR (1999): *Richtlinie landesweiter Waldentwicklungstypen. Ministerium Ländlicher Raum Baden-Württemberg, Stuttgart, 54 S.*

de mit normaler (geringer) Risikobelastung und ein Stratum für Bestände mit erhöhten (überdurchschnittlichen) Risiken; zu letzterem gehören auch Bestände aus Baumarten, die regional bzw. höhenzonal als „langfristig klimabil“ (Michiels 2008) eingeschätzt werden.

Für die Anpassung der Pflege- und Nutzungskonzepte an die Risikostraten erscheint die Orientierung an folgendem, allgemein anwendbarem Grundprinzip sinnvoll und ausreichend:

Der obere Rahmen WET-spezifischer möglicher Produktionsdauer bzw. Dimensionsziele (Zielstärke) sollte nur in Beständen mit geringer (normaler) Risikoneigung angestrebt werden. Bei innerhalb eines WET überdurchschnittlich risikogeneigten Beständen tragen dagegen reduzierte Dimensionsziele in Verbindung mit verkürzten Produktionszeiträumen zu einer verbesserten Risikoanpassung bei.

PD Dr. Ulrich Kohnle
FVA, Abt. Waldwachstum
Tel.: (07 61) 40 18 - 2 51
ulrich.kohnle@forst.bwl.de

Dr. Hans-Gerd Michiels
FVA, Abt. Waldökologie
Tel.: (07 61) 40 18 - 1 78
hans-gerhard.michiels@forst.bwl.de

Die Rolle des Waldes im CO₂-Haushalt des Landes Baden-Württemberg

von Christoph Hartebrodt

Es steht außer Zweifel, dass Veränderungen im CO₂-Haushalt der Erde zu einer Veränderung des Klimas führen. Der Wald nimmt in dreifacher Hinsicht eine wichtige Rolle im Klimawandel ein: Er ist Betroffener und Helfer, kann aber auch (Mit-) Verursacher sein. Die Rolle des Waldes und die künftigen Bewirtschaftungsstrategien müssen daher differenziert betrachtet werden.

In diesem Beitrag sollen die drei wesentlichen Rollen des Waldes und deren Wirkungen auf den Kohlenstoffhaushalt erörtert werden. Abschließend soll kurz auf Wechselwirkungen zur Holzwirtschaft eingegangen werden.

Wald als Betroffener

Nach einheitlicher Expertenmeinung werden klimatische Extremereignisse an Häufigkeit und Intensität zunehmen (siehe Literatur in Hartebrodt et al. 2007). Dabei richtet sich das Augenmerk zunehmend auf das Risiko Trockenheit und in deren Folge auf biotische Schäden (insb. Borkenkäfer), unter bestimmten standörtlichen Gegebenheiten auch auf abiotische Schäden wie Trocknis oder Feuer. Betrachtet man die Entwicklung der letzten zwei Jahrzehnte, wird deutlich, dass die Phasen ohne einen relevanten Ein-

fluss von Zwangsnutzungen immer kürzer werden. Insofern darf erwartet werden, dass die Forstwirtschaft künftig eher „mit der Katastrophe“ wirtschaften muss als, wie bisher üblich, ihre Managementstrategien auf einen sogenannten „Normalzustand“ auszurichten (siehe hierzu Hartebrodt 2008).

In waldbaulicher und ökologischer Hinsicht gibt es eine Vielzahl an negativen, neutralen und zumindest partiell positiven Folgen von solchen, leider zunehmend häufiger auftretenden Großschadereignissen. Für die ökonomische Dimension der Waldwirtschaft hingegen kann aufgrund der bisherigen Entwicklungen gefolgert werden, dass ungeplante Einschläge, im Vergleich zu einem planmäßigen Betriebsablauf, in jedem Fall negative Effekte aufweisen (vgl. u. a. Hartebrodt 2004).

Wald als Helfer

Auch die „Helferrolle“ des Waldes ist viel diskutiert. Sicher ist, dass die Wälder Baden-Württembergs in der Vergangenheit in relevantem Umfang CO₂ gespeichert haben. Zwischen der Bundeswaldinventur (BWI) I und der BWI II wurden knapp 7 % der CO₂-Emissionen des Landes gespeichert (Pistorius 2007).



Damit liegen die hiesigen Wälder im europäischen Trend. Jannsens et al. (2003) publizieren eine Rate von 7-12 % der Emissionen, schließen jedoch andere biogene Speicher (z. B. Grünlandböden) mit ein. Die Wälder Baden-Württembergs haben damit eine – auch gesamtgesellschaftlich – relevante Senkenwirkung entfaltet. Sicher ist, dass Wälder in kurz- bis mittelfristigen Zeiträumen weiterhin als CO₂-Senke genutzt werden können. Allerdings gilt hier für Baden-Württemberg, das ein rekordverdächtig hohes Holzvorratsniveau aufweist, dass die „Speicher-Bäume nicht mehr in den Himmel“ wachsen werden. So lassen nahe liegende Abhängigkeiten zwischen Baumhöhe und Sturmrisiko erkennen, dass mit einer Zunahme der Durch-



schnittshöhen und Vorratsanreicherung möglicherweise der Grundstein für den Wechsel in die Verursacherrolle gelegt wird.

Wald als Verursacher

Nimmt man die Tatsache zur Kenntnis, dass das Risiko von kalamitätsbedingten Waldverlusten eher zu- als abnimmt, kann dauerhaft nicht ausgeschlossen werden, dass auch Wälder in Baden-Württemberg zu CO₂-Emittenten werden. Schon eine besitzartenbezogene Betrachtung der Ergebnisse der Vorratsentwicklung zwischen der BWI I und II zeigt, wie „labil“ die Vorratsbilanz sein kann. Zweifelsfrei hat der Gesamtwald in Baden-Württemberg zwischen 1987 und 2002 einen Vorratsaufbau erfahren. Es gibt aber durchaus Besitzarten, die in dieser Periode einen Vorratsverlust erkennen lassen. So hat beispielsweise im Staatswald das Sturmereignis Lothar in Kombination mit einem zuvor planmäßig hohen Holzeinschlag dazu geführt, dass die Vorräte leicht zurückgegangen sind (Tab. 1).

Auch wenn dies bisher nur ein Schlaglicht ist und im Staatswald dieser Verlust in der Sturmfolgezeit (nach 2002) durch Einschlagszurückhaltung längst wieder kompensiert wurde, zeigt dies doch, dass das Szenario Vorratsverlust auch im Land Baden-Württemberg denkbar ist.

Tab. 1: Entwicklung der Holzvorräte in den einzelnen Waldbesitzarten im Vergleich der BWI I und II

Jahr	Vorratsfestmeter [m ³ /ha]					
	Staatswald	Kommunalwald	Kleinprivatwald	Mittlerer Privatwald	Großprivatwald	Gesamtwald
1987	350	336	354	384	384	352
2002	331	342	435	462	350	367

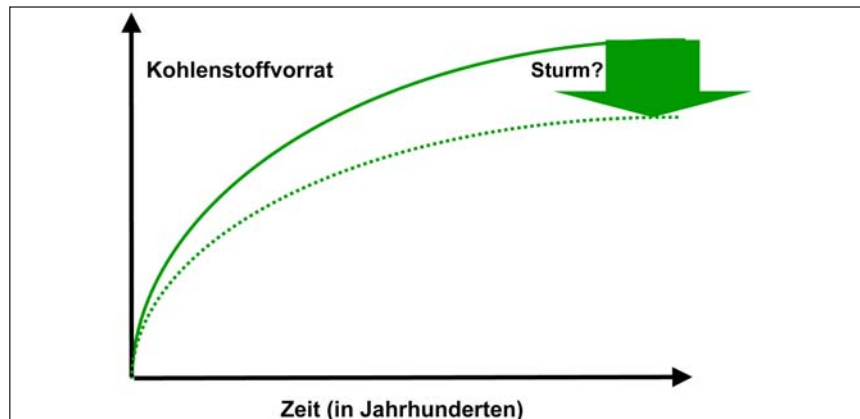


Abb. 1: Mögliche Wechselwirkungen zwischen theoretischer Vorratsanreicherung und Zunahme der Sturmwahrscheinlichkeit und –intensität

Allerdings greift die alleinige Betrachtung des Waldspeichers zu kurz, da in Bäumen gespeicherter Kohlenstoff nicht zum Zeitpunkt der Ernte emittiert wird. Daher gilt es, den Produktlebenszyklus von Holz im Gesamten zu betrachten.

Wald als CO₂-Speicher

Die heimischen Wälder haben einen Beitrag zur Kompensation der CO₂-Emissionen geleistet. Aufgrund der Tatsache, dass hierbei praktisch keine Primärenergie zugeführt werden muss, ist diese Speicherform zunächst einmal sehr effizient. Auf die Dauer ist aber zu berücksichtigen, dass alle Waldökosysteme einem Fließgleichgewichtszustand zustreben, in dem dann kein zusätzlicher Kohlenstoff mehr eingelagert werden

kann. Der Speichereffekt im Wald ist daher endlich und nicht wiederholbar.

Fasst man die jüngsten Erkenntnisse der Sturmschadensforschung vereinfacht zusammen, kann festgestellt werden, dass die Sturmschadenswahrscheinlichkeit mit zunehmender Baumhöhe, letztere normalerweise mit höheren Vorräten verknüpft, zunimmt. Die mit dem Klimawandel verbundene höhere Sturmhäufigkeit kann dazu beitragen, dass das theoretisch erreichbare maximale Speichervolumen in einer Region oder in einem Land eher früher als später erreicht wird. Das theoretisch maximale Speichervolumen unter verschiedenen Risikozszenarien kann derzeit nicht sicher quantifiziert werden. Insofern sind Aussagen über das verbleibende Rest-Speicherpotenzial in Baden-Württemberg nicht möglich. Festzuhalten bleibt aber, dass Wechselwirkungen zum Klimawandel bestehen, und dass es sich um eine endliche Wirkung handelt (Abb. 1).

Die Rolle von Holzprodukten

Aktuell wird diskutiert, auch die Holzprodukte in die Betrachtung mit einzubeziehen. Dies ist sinnvoll, da die Wald-Sphäre und die Technosphäre sehr eng miteinander verbunden sind (Abb. 2, aus Hartebrodt und Pistorius 2007). Richtig ist, dass in Holzprodukten der Effekt der CO₂-Speicherung in Wäldern verlängert werden kann. Je nach Holzprodukt können dabei unterschiedliche, bei langlebigen Produkten recht beachtliche Zeiträume der Verlängerung des Speichereffektes eintreten. So beträgt die

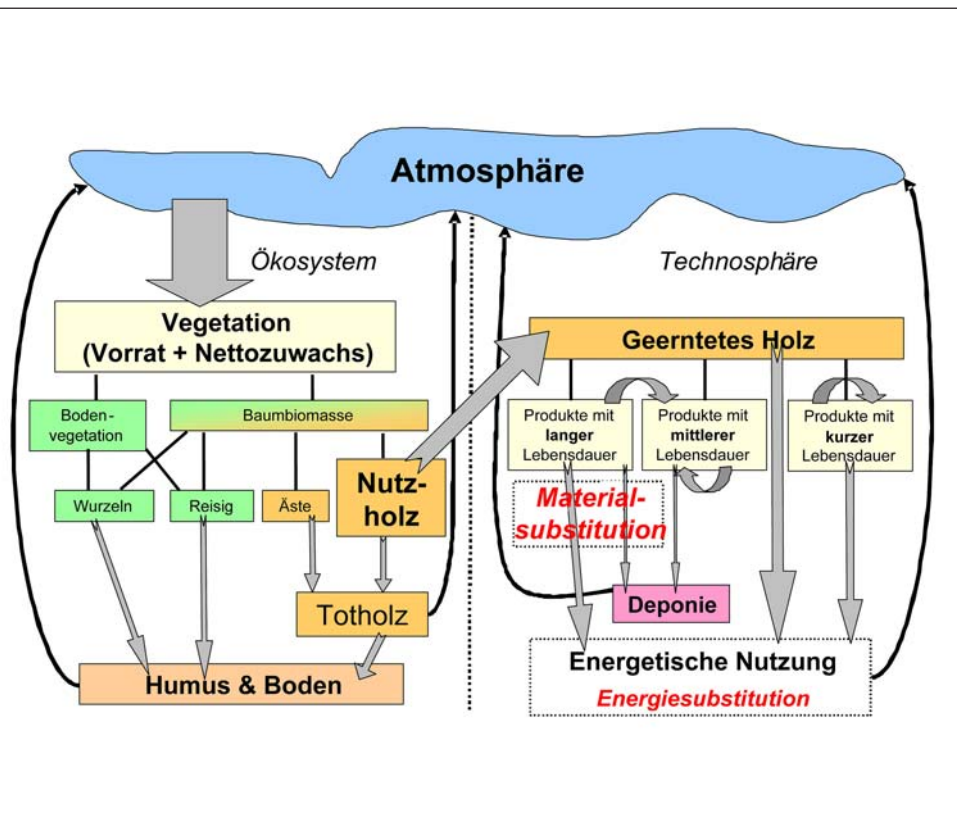


Abb. 2: Holzflüsse im Ökosystem und in der Technosphäre

„Halbwertszeit“ von Bauholz 36 Jahre, bei Möbeln immerhin noch 24 Jahre. Papier verbleibt nur ca. 2 Jahre im Produktkreislauf und verlängert die Speicherwirkung nur unwesentlich (Pistorius 2007).

Durch Veränderungen im „Produktmix“, z. B. einer intensiveren Nutzung von Holz zu Bauzwecken, also in einer Form, in der das CO₂ wesentlich länger der Atmosphäre entzogen wird, kann diese

Wirkung deutlich erhöht werden. Trotzdem lassen Simulationsergebnisse erkennen, dass auch der Produktspeicher in der Tendenz zur Sättigung neigt. Insgesamt haben wir es auch hier mit einer endlichen Funktion zu tun.

Die Substitutionseffekte

Damit bleibt abschließend der Substitutionseffekt, also der Austausch von Produkten und Energieträgern, die unter Einsatz von oder als fossile Energieträger

einen Ausstoß von CO₂ auslösen. Die Material- und Energiesubstitution sind die einzigen Effekte, die dauerhaft wiederholt werden können, solange es nicht gelingt, gänzlich auf den Einsatz von nicht erneuerbaren Materialien und Energieträgern zu verzichten. Aus heutiger Sicht scheint dies bei der Energie allenfalls noch theoretisch denkbar zu sein, beim Material wohl kaum. Im Bereich der Substitutionswirkung kann es durch Nutzung der Ressource Holz dauerhaft gelingen, einen positiven Beitrag zur CO₂-Reduktion zu leisten.

Simulationsergebnisse

Pistorius (2007) vergleicht drei kurzfristige Nutzungsszenarien (der Jahre 2002 bis 2012) hinsichtlich ihrer Effekte auf die Speicherung im Wald, auf Produkte und Substitutionseffekte. Bei Nutzungsszenario 1, einer vollständigen Nutzung aller zuwachsenden Holz-mengen gemäß den Ergebnissen der BWI II bzw. der darauf aufbauenden Holz-aufkommensprognosen schneidet CO₂-bilanziell am schlechtesten ab. Hohen Substitutionseffekten von ungef. 17 Mio. t C steht eine weitgehende Konstanz beim Produkt- und Waldspeicher gegenüber. Das zweite Szenario „Aufgabe der Holznutzung“ führt zwar zu einer maximalen Erhöhung der C-Volumina in den Wäldern (plus ungefähr 36 Mio. t), löst aber eine markante Reduktion von Kohlenstoff im Produktspeicher und eine deutliche Verminderung der Substitutionseffekte aus. Das dritte Szenario, eine Fortführung der bisherigen Bewirtschaf-





tion, nimmt eine intermediäre Rolle ein. Zwar liegt die Speicherung im Wald um etwa 6 Mio. t unter dem Niveau, das bei einer Aufgabe der Nutzung erreicht werden könnte, etwa 4 Mio. t dieses Niveauunterschieds werden aber durch eine weitgehende Aufrechterhaltung von Substitutionseffekten und Speicherung in Holzprodukten weitgehend kompensiert. Die Szenarien „Bisherige Nutzung“ und „Nutzungsverzicht“ kommen sich damit CO₂-bilanziell vergleichsweise nahe. Eine Fortführung der bisherigen Bewirtschaftung führt damit also nicht zu substantziellen Einbußen in der Frage der C-Bilanz, ermöglicht aber im Gegensatz zur Variante „Nutzungsverzicht“ im erheblichem Umfang die Nutzung anderer gesellschaftlich wichtiger Waldfunktionen.

Die Situation außerhalb der CO₂-Sphäre

Es ist nach wie vor richtig, dass Wald nicht allein auf dessen monetäre Dimension reduziert werden darf.

Gleichermaßen darf man aber in der Zukunft ebensowenig den Fehler begehen Wald ausschließlich auf seine Kohlenstoffdioxid-Bilanz zu reduzieren. Kohlenstoffspeicherung ist nur ein Ziel von vielen im Rahmen der Waldbewirtschaftung. Auf den ersten Blick muss (aus Sicht der Forstwirtschaft vielleicht schmerzlich) festgestellt werden, dass auf kurz- bis mittelfristige Sicht (aber nur in dieser Zeitdimension und mit permanent steigendem Risiko) der Waldspeicher aufgrund fehlender Transformationsverluste die effizienteste Speicherform ist. Gleichwohl muss festgehalten werden, dass eine Reduktion auf diese Waldfunktion alle anderen Waldfunktionen verhindert, die mit einer Nutzung des nachwachsenden Rohstoffs Holz einhergehen. Hier kann auf die bereits zahlreich vorhandenen Clusterstudien verwiesen werden, die die erhebliche gesamtgesellschaftliche Bedeutung der Forst- und Holzwirtschaft eindrücklich belegen. Die meisten der dort beschriebenen Effekte sind mit einer einseitigen Bevorzugung der Speicherwirkung von Wäldern nicht vereinbar.

Literatur

- Hartebrodt, C., (2004): 'The Impact of Storm Damage on Small-Scale Forest Enterprises in the Southwest of Germany', *Smallscale Forest Economics, Management and Policy*, 3 (2): 203-222.
- Hartebrodt, C., (2008): Die Katastrophe als Normalität begreifen - Was uns Testbetriebsnetze zum Thema Risikomanagement offenbaren können. In: *Österreichische Forstzeitschrift* 1/2008, S. 30-31.
- Hartebrodt, C., Holthausen, N., Bitz, S., (2007): Versicherungslösungen als Bestandteil des Risikomanagements in Forstbetrieben. In: *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*. 178 (5/6); S. 90-97.
- Hartebrodt, C., Pistorius, T., (2007): Die Rolle des Waldes und der Forstwirtschaft im Kohlenstoff-Haushalt des Landes Baden-Württemberg. Vortragsfolien zum Vortrag gehalten auf der Tagung: „Der Beitrag der Land- und Forstwirtschaft zur Minderung von Treibhausgasemissionen in Baden-Württemberg“. 27.02.2007, Universität Hohenheim.
- Janssens, I. A., A. Freibauer, P. Ciais, P. Smith, G.J. Nabuurs, G. Folberth, B. Schlamadinger, R.W.A. Hutjes, R. Ceulemans, E.-D Schulze, R. Valentini, A.J. Dolman (2003): „Europe's terrestrial biosphere absorbs 7 to 12% of European anthropogenic CO₂ emissions“. *Science* 300: S. 1538-1542.
- Pistorius, T. (2007): Untersuchungen zur Rolle des Waldes und der Forstwirtschaft im Kohlenstoffhaushalt des Landes Baden-Württemberg. In: *Berichte Freiburger Forstliche Forschung*. Heft 73, 182 S.

Fazit

In der abschließenden Gesamtbetrachtung müssen Fragen der Kohlenstoffbilanz immer zusammen mit volkswirtschaftlichen und gesellschaftlichen Aspekten betrachtet sowie diskutiert werden. Wie in vielen anderen Lebensbereichen gilt auch hier: Ein Königsweg, bei dem alle Ziele maximal erreicht werden können, existiert in dieser Frage bedauerlicherweise nicht.

Dr. Christoph Hartebrodt
FVA, Abt. Forstökonomie
Tel.: (07 61) 40 18 -2 62
christoph.hartebrodt@forst.bwl.de

Abmilderung des Klimawandels durch Forstwirtschaft? Nutzung von Bioenergie in Baden-Württemberg

von Frank Brodbeck

Der Europäische Rat beschloss beim EU-Frühjahrgipfel ein Reduktionsziel für Treibhausgasemissionen von 20 % bis zum Jahr 2020 (bezogen auf das Basisjahr 1990). Sofern andere Industriestaaten vergleichbare Ziele vereinbaren, will sich die Europäische Union zu einer Reduktion um 30 % (EU 2007), Deutschland sogar um 40 % (BMU 2005), verpflichten. Baden-Württemberg unterstützt diese Ziele unter anderem mit seinem „Klimaschutzkonzept 2010“ (UM Ba-Wü 2005). Bis 2005 wurde deutschlandweit bereits eine Einsparung um 18,7 % erreicht (UBA 2007). Um die genannten ehrgeizigen Klimaschutzziele zu erreichen, setzt man auf die „Drei E“:

- Einsparen,
- Effizienz steigern und
- Erneuerbare Energien.

Drei mal 20 bis 2020

Die Ziele der Europäischen Union lassen sich auch in der plakativen Formel „Drei mal 20 bis 2020“ (BARROSO 2008) zusammenfassen:

- Reduktion der Emissionen bis 2020 um 20 %
- Energieeffizienz bis 2020 um 20 % steigern
- Anteil der erneuerbaren Energien bis 2020 auf 20 % anheben

Insgesamt hatten die erneuerbaren Energien 2007 einen Anteil von rund 8,4 % am gesamten Endenergieverbrauch Deutschlands. Der Anteil der erneuerbaren Energien am gesamten Stromverbrauch konnte von rund 11,5 % im Jahr 2006 auf rund 14 % im Jahr 2007 gesteigert werden. Bei der Wärmebereitstellung

lag der Beitrag der erneuerbaren Energien in Deutschland 2007 bei 6,5 % (BMU 2008). Hierbei hatte die Nutzung von biogenen Festbrennstoffen (hauptsächlich Holz) mit über 80 % den größten Anteil (FNR 2008).

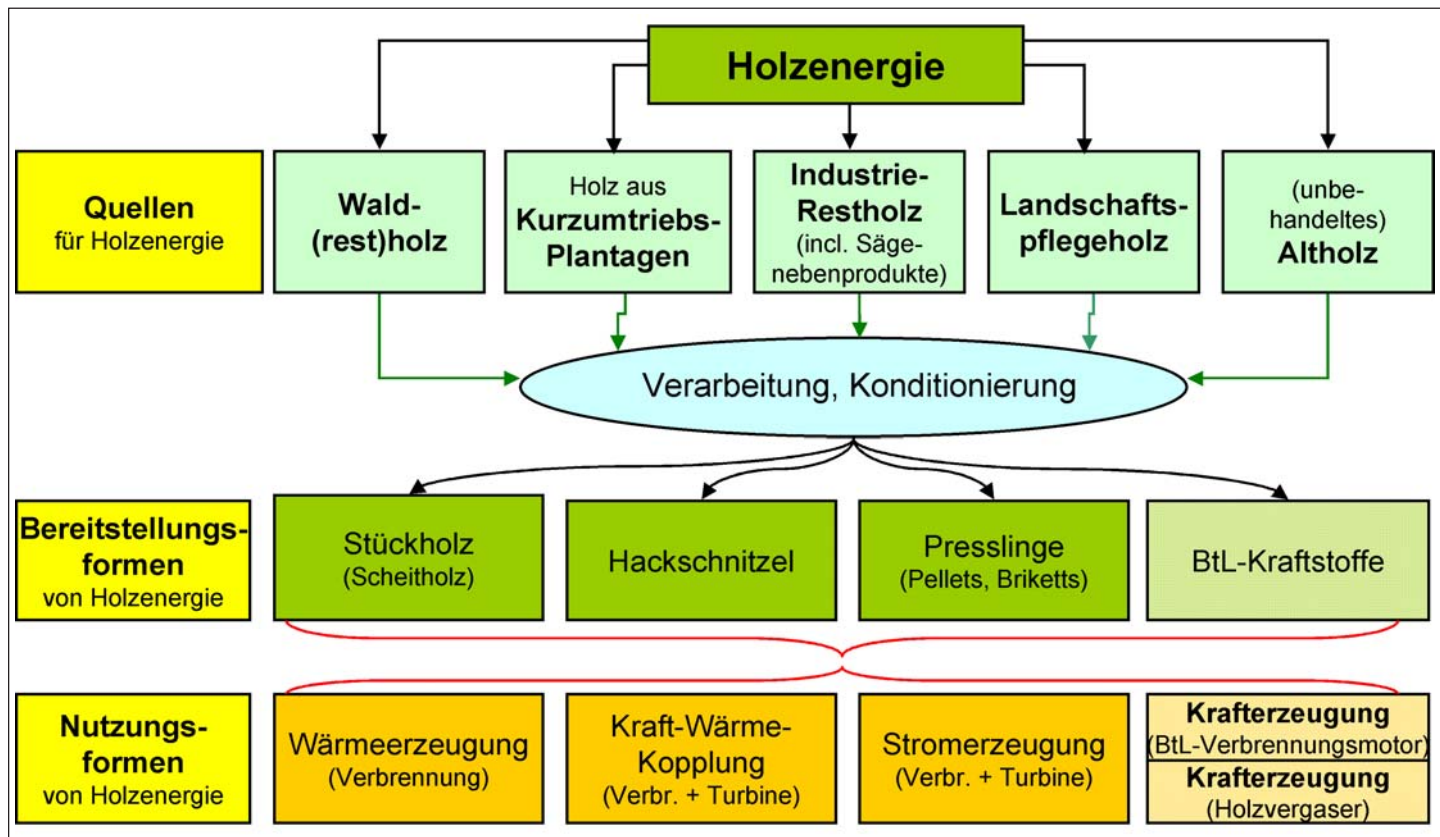
Während also Holz als erneuerbare Energie für die Wärmebereitstellung eine sehr große Rolle spielt, sind im Bereich der Strombereitstellung Wasserkraft und Windenergie mit zusammen über 70 % die wichtigsten erneuerbaren Energiequellen (BMU 2007). Bei den biogenen Kraftstoffen, die 2006 immerhin 6,6 % des gesamten Kraftstoffverbrauchs ausmachten, spielt Holz praktisch keine Rolle. Dieser Sektor wird von Biodiesel, Pflanzenöl und Bioethanol, aus zumeist einjährigen Pflanzen, bestimmt.

Während die Nutzungspotentiale für Wasserkraft in Deutschland weitgehend ausgeschöpft sind, gibt es im Bereich der Windenergie, Sonnenenergie und Biomasse noch erhebliche Steigerungspotentiale, so dass sich der weitere Ausbau der erneuerbaren Energien hauptsächlich auf diese Sektoren stützen wird (BMU 2007). So schätzt das Öko-Institut (2004), dass erneuerbare Energien bis ins Jahr 2030 22 % des Energiebedarfs decken könnten, wobei Biomasse mit gut 14 % den Löwenanteil stellen wird.

Hohe Flexibilität

Ein Vorteil der Biomasse gegenüber anderen Formen der erneuerbaren Energie, liegt in der hohen Flexibilität der Nutzung. So kann Biomasse je nach Erfordernis für die Strom-, Wärme-, und Kraftstoffbereitstellung eingesetzt werden. Außerdem kann Biomasse entweder direkt nach mechanischer Aufbereitung (Holzhackschnitzel, Pflanzenöl), nach chemischer Umwandlung (Synthesegas, Pflanzenmethylester), oder biologischer





Holzenergie: Quellen, Bereitstellungs- und Nutzungsformen

Umwandlung (z.B. Biogas) energetisch genutzt werden (LUBW 2006).

Holzige Biomasse stammt bisher überwiegend aus Wald- und Industrie-restholz, Altholz und Landschaftspflegeholz, das auch weiterhin von der Holzwerkstoff- sowie der Papier- und Zellstoffindustrie stark nachgefragt wird. Daher muss die Forstwirtschaft der Frage nachgehen, wie die Versorgung der Abnehmer für die energetische und stoffliche Verwertung von Holz langfristig gesichert werden kann, ohne dass es zu Angebotsengpässen kommt. Eine verstärkte Nutzung der Potentiale im Wald ist sicher möglich, aber durch den Grundsatz der Nachhaltigkeit sind der Biomassenutzung aus Wald bestimmte Grenzen gesetzt. Zusätzliche Biomasse kann zwar auch auf Flächen außerhalb von Wald erzeugt werden, allerdings muss hier die Biomasse mit der Nahrungs- und Futtermittelproduktion um die begrenzten Anbauflächen konkurrieren. Darüber hinaus besteht eine Konkur-

renz zwischen der stofflichen und energetischen Nutzung von Biomasse. Auch innerhalb der energetischen Nutzung gibt es verschiedene, miteinander konkurrierende Nutzungspfade von Biomasse wie Biodiesel aus Rapsöl, Bioethanol aus Getreide oder Zucker, Biogas aus Silomais oder thermischer Nutzung von Holz.

Situation in Baden-Württemberg

Für Baden-Württemberg soll ein „Biomasse-Aktionsplan“ (MLR 2006) die stoffliche und energetische Nutzung von Biomasse voranbringen. In diesem Aktionsplan wird auch die derzeitige Nutzung von Bioenergie im Land dem Nutzungspotential gegenübergestellt: so lag im Jahr 2004 der Anteil der Bioenergie am gesamten Primärenergieverbrauch (PEV) in Baden-Württemberg nur bei rund 2%. Demgegenüber wird das gesamte Bioenergiepotenzial im Land auf 8-10 % des PEV geschätzt. Diese Schätzung geht davon aus, dass der Anteil der landwirt-

schaftlich genutzten Ackerfläche für den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen (Winterraps, Silomais, Energiegetreide u.a.) von 5 % im Jahr 2005 auf 10-15 % gesteigert werden kann. Dazu sollen vor allem Stilllegungs- und freiwerdende Flächen aus der Futtermittelproduktion zukünftig mit Energiepflanzen (auch schnellwachsende Baumarten in Kurzumtrieb) bestellt werden. 2007 waren in Baden-Württemberg 41.000 ha Ackerland stillgelegt (STALA 2007). Wenn man davon ausgeht, dass überwiegend ertragsschwache Flächen stillgelegt





werden und hierfür Hektarerträge von 7-8 t Trockensubstanz pro Jahr zugrunde legt, könnten bei Nutzung aller Stilllegungsflächen in Baden-Württemberg für die Anlage von Kurzumtriebsplantagen rund 290.000-330.000 t atro Biomasse pro Jahr zusätzlich erzeugt werden. Bei einem Heizwert von 4,9 kWh/kg (Laubholz, Wassergehalt 0%) entspricht dies einer Energiemenge von rund 1,4 bis 1,6 TWh. Die Anlage und Bewirtschaftung von Kurzumtriebsplantagen in Baden-Württemberg soll anhand eines Forschungsprojekts des MLR mit einem

Volumen von 500.000 EUR für die Jahre 2008-2012 vorangetrieben werden. Ziel des Projekts ist die Beratung beim Anbau, sowie die wissenschaftliche Begleitung von ca. 250 ha Kurzumtriebsflächen in fünf verschiedenen Wuchsgebieten im Land. Die Erfahrungen aus diesem Projekt sollen zukünftig für lokal angepasste Anbau- und Bewirtschaftungsempfehlungen genutzt werden. Weitere Auskünfte zu dem Projekt erteilt das Landwirtschaftliche Technologiezentrum Augustenberg, Außenstelle Forchheim, Tel. 0721/9518-30 (zuständig für die Re-

gierungsbezirke Stuttgart und Karlsruhe), oder die Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt in Freiburg, Tel. 0761/4018-205 (Regierungsbezirke Freiburg und Tübingen).

Nutzungsreserven

Das zweite große Potential zur Steigerung des Bioenergie-Anteils liegt in der Mobilisierung von Nutzungsreserven im Wald. Der Holzeinschlag über alle Waldbesitzarten in Baden-Württemberg lag im Jahr 2006 bei circa 8,3 Millionen Festmeter (MLR 2007). Dem steht ein nachhaltiges Nutzungspotential von 11,5 Millionen Festmeter gegenüber (Prognose 2008 bis 2017) (BMELV 2008). Das freie, leicht verfügbare Potential an Energieholz aus Wald liegt dabei nach unterschiedlichen Schätzungen zwischen 2,2 Mio. Festmeter (MLR 2006) und 2,6 Mio. Festmeter (Hepperle et al. 2007) jährlich. Um die Nachfrage nach Holz zu steigern und somit das Energieholzpotential aus dem Wald zu mobilisieren, fördert das Land in einem speziellen Programm seit 1994 bisher 209 Hackschnitzelheizanlagen (Gesamtleistung 306 Megawatt (MW)) mit knapp 14 Mio. Euro. Der jährliche Brennstoffbedarf dieser Anlagen liegt bei 835.000 Schüttraummeter (FD Freiburg 2008). Für die Betreiber solcher Heiz(kraft)werke und bei der Planung neuer Anlagen sind Informationen über die tatsächliche Verfügbarkeit von Energieholz, sowie die räumliche und zeitliche Verteilung des Energieholzanfalls, eine wichtige Planungsgröße. Um hier zuverlässige Daten zu liefern, entwickelt die



FVA in Zusammenarbeit mit dem Institut für Forstbenutzung und Arbeitswissenschaften der Universität Freiburg ein Prognosemodell zur Abschätzung des Energieholzpotentials, die sogenannte „Freiburger Methode“ (Hepperle 2007). Die Weiterentwicklung der „Freiburger Methode“ beinhaltet unter anderem die Integration einer Wachstumssimulation, um auch längerfristige Prognosen zum Energieholzpotential, die über den Forsteinrichtungszeitraum von 10 Jahren hinausgehen, zu ermöglichen. Auf Basis dieses Modells wird eine Software entwickelt, mit deren Hilfe Entscheider auf regionaler Ebene (Landkreise, Heiz(kraft)werksbetreiber; etc.) unter Einbezug aller relevanten Restriktionen den Energieholzanzahl aus den einbezogenen Waldgebieten abschätzen können.

Eine intensivere Nutzung von Energieholz aus dem Wald bedeutet auch einen verstärkten Entzug von Biomasse aus dem Bestand und somit einen Entzug von essentiellen Nährelementen aus dem Waldökosystem. Die Nachhaltigkeit der Waldwirtschaft ist bei intensiverer Holznutzung nur gewährleistet, wenn die Pufferfähigkeit der Standorte nicht überschritten oder der Nährstoffexport kompensiert wird (von Wilpert et al. 2007). In diesem Zusammenhang erarbeitet die FVA in einem Kooperationsvorhaben mit der EnBW (Energie Baden-Württemberg) ein Holzbiomasse-Holzasche-Kreislaufkonzept.

In einer gemeinsamen Studie der FVA mit der Pacific Northwest Research Station (PNW) in Portland, Oregon, die auf der Basis eines Joint Venture Agreements mit dem US-Forest Service durch-

Literatur

- Barroso, J.M. (2008): *Drei mal 20 bis 2020: Klimapolitik als Motor für Wachstum und Beschäftigung.*
- BMELV (2008): *Bundeswaldinventur II, Holzaufkommensmodellierung, BMELV, Bonn/Berlin.*
- BMU (2005): *Nationales Klimaschutzprogramm 2005. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin.*
- BMU (2007): *Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung. Stand: Juni 2007. BMU, Berlin.*
- BMU (2008): *Erneuerbare Energien kräftig im Aufwind. Pressemitteilung vom 22.01.2008. BMU, Berlin.*
- EU (2007): *Der Frühjahrsgipfel des Europäischen Rats: Integrierte Klimaschutz- und Energiepolitik. Europäische Union, Pressemitteilung vom 12.03.2007.*
- FD Freiburg (2008): *Aktuelle Zahlen zum Förderprogramm Holzenergie. Unveröffentlichter Bericht, Forstdirektion Freiburg.*
- FNR (2008): *Bioenergie: Basisdaten Deutschland. Stand: Januar 2008. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow.*
- Hepperle, F.; Sauter, U.H.; Becker, G.; Hehn, M. (2007): *„Weiterentwicklung GIS-kompatibler Prognosemodelle für Waldenergieholz auf der Grundlage forstlicher Inventur- und Planungsdaten“, Forstarchiv Jrg.-Nr. 78, S. 82-87*
- LUBW (2006): *Umweltdaten 2006 Baden-Württemberg. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.*
- MLR (2006): *Biomasse-Aktionsplan Baden-Württemberg: Nachwachsende Rohstoffe als Zukunftsmotor. MLR Ba.-Wü., Stuttgart.*
- MLR (2007): *Weltweiter Boom bei Rohstoffen und Binnennachfrage beleben den Holzmarkt. MLR Baden-Württemberg, Stuttgart. Pressemitteilung 64/2007.*
- Öko-Institut (2004): *Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. Endbericht. Verbundprojekt gefördert vom BMU im Rahmen des ZIP, Projektträger: FZ Jülich.*
- STALA (2007): *Bodennutzung in Baden-Württemberg 2007: Anbau auf dem Ackerland. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stuttgart.*
- UBA (2007): *Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2007. Umweltbundesamt, Dessau.*
- UM Ba-Wü (2005): *Klimaschutz 2010 – Konzept für Baden-Württemberg. Umweltministerium Baden-Württemberg, Stuttgart.*
- Wilpert, K. von; Schäffer, J.; Zirlwagen, D. (2007): *Erhöhte Nutzungsintensität und Standortnachhaltigkeit. FVA-Einblick Nr. 3, Jahrgang 11. Freiburg.*
- WM Ba-Wü (2002): *Holzenergie-Fibel: Holzenergienutzung, Technik, Planung und Genehmigung. Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Stuttgart.*

geführt wird, werden wesentliche räumliche Eigenschaften von Energieholzmärkten und Energieholzpotenzialen mit Hilfe von regionalökonomischen Methoden untersucht.

Die hier vorgestellten Forschungsaktivitäten sind Teil des Forschungskonzepts der FVA zum Thema „Energie aus

Holz“. Dieses Thema ist unter anderem ein Arbeitsschwerpunkt der FVA.

Dr. Frank Brodbeck
FVA, Abt. Waldnutzung
Tel.: (07 61) 40 18 -2 45
frank.brodbeck@forst.bwl.de



09.10.2008
Kurhaus Casino
Baden-Baden



Wald & Klima – was tun?

Schlüsselfragen des eintägigen Klimakongresses, der durch einen starken Praxisbezug auch interessierte Laien ansprechen möchte, sind unter anderem: Welche Risiken und Auswirkungen haben extreme Witterungsereignisse und anhaltend milde Witterung auf das Ökosystem Wald? Welche Abmilderungs- und Anpassungsmöglichkeiten bieten die Forstwirtschaft und Forstgenetik beim Klimawandel? Wie wird der Wald der Zukunft in Südwestdeutschland aussehen? - Die fachlichen Kurzvorträge werden durch studentische Vorführungen ergänzt und durch gemeinsame Diskussionen vertieft.

Den Einführungsvortrag hält ZDF-Meteorologe Dieter Walch. Er geht darauf ein, wie weit das heutige Witterungsgeschehen überhaupt von bisherigen Erfahrungswerten abweicht und was uns die Zukunft bringt.

Veranstalter:
Ministerium für Ernährung und
Ländlichen Raum
Baden-Württemberg

Weitere Informationen:
Elli Mindnich
elli.mindnich@forst.bwl.de
Tel. (07 61) 40 18 - 1 90
Kaisu Makkonen-Spieker
kaisu.makkonen-spiecker@forst.bwl.de
Tel. (07 61) 40 18 - 3 71
oder im Internet
www.fva-bw.de



Im Dossier

Klimawandel und Auswirkungen auf die Forstwirtschaft

auf <http://www.waldwissen.net/dossier>
finden Sie eine Vielzahl aktueller Beiträge zum Thema.

waldwissen.net - fundiert und praxisnah

24.-27.09.2008, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Forstwissenschaftliche Tagung 2008 Ressourcenknappheit und Klimaänderung: Herausforderungen für die Forstwissenschaft

Die weltweite Verknappung von Rohstoffen und Energie, der fortschreitende Klimawandel, die gewachsenen Anforderungen an die Bereitstellung des Rohstoffes Holz und andere vielfältige konfliktbeladene gesellschaftliche Ansprüche an den Wald stellen die forstwissenschaftliche Forschung vor neue große Herausforderungen.

Die Forstwissenschaftliche Tagung 2008 bietet eine Plattform für forstwissenschaftliche und benachbarte Disziplinen: in Plenumsveranstaltungen, vier Vortragsreihen und zwei Foren besteht die Gelegenheit zur Darstellung und Diskussion des aktuellen Forschungsstands. Zum Abschluss der Veranstaltung finden geführte Exkursionen statt, die zur Ergänzung und Vertiefung der Tagungsthemen beitragen.

Alle weiteren Informationen zur Tagung und zum Begleitprogramm finden Sie unter www.fowitagung2008.de



Forstliche Versuchs-
und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg

Wonnhaldestr. 4
D-79100 Freiburg

Tel.: + 49 (0)7 61 40 18 -0
Fax: + 49 (0)7 61 40 18 -3 33
E-Mail: fva-bw@forst.bwl.de
Internet: www.fva-bw.de