

## Inhalt

### Klimawandel – Auswirkungen auf die Forstwirtschaft

KURT NICOLUSSI und GERNOT PATZELT Klimawandel und Veränderungen an der alpinen Waldgrenze – aktuelle Entwicklungen im Vergleich zur Nacheiszeit .....	3
REINHARD BÖHM Klimawandel oder Klimavariation? .....	6
ERNST LEITGEB und MICHAEL ENGLISCH Klimawandel – Standörtliche Rahmenbedingungen für die Forstwirtschaft .....	9
THOMAS GEBUREK Klimawandel – Forstliche Maßnahmen aus genetischer Sicht .....	12
HANNES KREHAN und GOTTFRIED STEYRER Klimaänderung – Schadorganismen bedrohen unsere Wälder .....	15
KLEMENS SCHADAUER Wie wirkt das Klima auf das Wachstum von Fichtenbeständen? .....	18
MARKUS NEUMANN Wie reagieren die Bäume auf Temperatur und Niederschlag? .....	21
MANFRED J. LEXER, RUPERT SEIDL, WERNER RAMMER, DIETMAR JÄGER Waldbaukonzepte im Klimawandel - ein simulationsgestützter Vergleich .....	25

Der Waldbewirtschafter wird vor den Folgen des Klimawandels den Kopf nicht in den (Wüsten-) Sand stecken können. Denn sicher ist: wüstenartige Bedingungen werden in unseren Breiten nicht vorherrschen, Panik ist nicht angebracht. Der Alpenraum erwärmt sich jedoch derzeit rascher als Europa oder die Welt, sagen viele Wissenschaftler. Der Waldbewirtschafter muss jetzt schon viele Entscheidungen unter gewissen Unsicherheiten und Rahmenbedingungen treffen. Der Klimawandel kommt nun hinzu. Diesen muss er künftig bei seiner Risikoabschätzung berücksichtigen (Mit welcher Baumart verjünge ich? Mit welchem Saat- oder Pflanzgut?). In dieser Ausgabe der BFW-Praxisinformation versuchen Experten, den Klimawandel und seine Auswirkungen auf die Forstwirtschaft aus ihrem Fachbereich heraus zu beleuchten und Empfehlungen für Maßnahmen zu geben.

#### Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft

Seckendorff-Gudent-Weg 8, 1131 Wien, Österreich  
<http://bfw.ac.at>





## Forstwirtschaft unter Klimawandel

*In den Alpen wurde es in den letzten 150 Jahren um rund 2 Grad wärmer. Prognosen gehen davon aus, dass die Temperatur weiter steigen wird. Regional unterschiedlich soll die Entwicklung des Niederschlags verlaufen:*

*In den Westalpen gehen die Modelle eher von einer Niederschlagszunahme aus, während es im Osten und Süden eher trockener werden dürfte. Was bedeutet eine Klimaänderung für die Forstwirtschaft? Welche neuen Erkenntnisse gibt es dazu? Wie kann der Waldbauer darauf reagieren? Mit diesen Fragen beschäftigte sich der BFW-Praxistag 2006, der an den beiden Forstlichen Ausbildungsstätten Ort und Ossiach abgehalten wurde.*

*Wir sehen den BFW-Praxistag als ein Instrument zur Verstärkung des Informations- und Erfahrungsaustausches zwischen Wissenschaft und Praxis. Wir widmen diesen Praxistag jährlich einem Thema, das aus unserer Sicht von hoher Aktualität für das österreichische Forstwesen ist. Zum zweitenmal haben wir „Der Klimawandel und die Auswirkungen auf die Forstwirtschaft“ gewählt. Der Grund dafür: Gerade zum Spannungsfeld Klimawandel und Forstwirtschaft wurden in den vergangenen Jahren zahlreiche Untersuchungen in Europa und Österreich durchgeführt. Unsere eigenen Arbeiten am BFW reichen vom Monitoring von Treibhausgasen, der Kohlenstoffbilanz von Bäumen, über waldwachstumskundliche und genetische Aspekte bis hin zur Risikoabschätzung der synergistischen Wirkung von Ozonbelastung und Klimastress sowie den Vorbereitungsarbeiten für das verpflichtende Berichtswesen Österreichs zum Kyoto-Protokoll.*

*Eine regionalisierte Analyse der Auswirkungen von Klimaänderungen auf Waldökosysteme sowie die Entwicklung und Evaluierung von geeigneten Maßnahmen der Forstwirtschaft verlangen neue Antworten aus der Forschung und benötigen die Unterstützung durch Monitoringprogramme. Hervorheben möchte ich die Frage der Baumartenwahl, die Auswirkungen von forstlichen Maßnahmen auf Umfang und Qualität der Wasserspende aus Waldflächen, die Folgen für die Rolle des Waldes im regionalen Wasserhaushalt oder die Auswirkungen auf das Naturgefahrengeschehen.*

*Wenn sich Temperaturen und Niederschläge ungünstig verändern, dann steigt auf gewissen Standorten das Risiko für die forstlich wichtige Baumart Fichte, da sie einerseits physiologisch geschwächt wird und andererseits Schädlinge günstigere Bedingungen vorfinden. In welchen Regionen ist also das Gefährdungspotenzial für Fichte unter der angenommenen Klimaveränderung höher als bisher? Inwieweit können negative Auswirkungen durch Baumartenwahl und -mischung sowie Waldbehandlung verringert werden? Antworten auf diese Fragen sind zum Teil möglich, die Referate des BFW-Praxistages 2006, die in dieser Ausgabe der BFW-Praxisinformation zusammengefasst wurden, liefern Ihnen den Stand des Wissens und Denkanstöße dazu.*

*Der BFW-Praxistag 2007 soll sich wieder mit einem Schwerpunktthema beschäftigen, das der Forstbranche „unter den Fingernägeln brennt“. Ich lade Sie ein, uns dazu Ihre Vorschläge zu schicken, und würde mich freuen, wenn Sie auch nächstes Jahr den BFW-Praxistag als Diskussionsplattform nutzen.*

*Ein informatives Lesevergnügen wünscht*

*Dipl.-Ing. Dr. Harald Mauser  
Leiter des BFW*

## Impressum

ISSN 1815-3895

© April 2006

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet.

Presserechtlich für den Inhalt verantwortlich:

Harald Mauser

Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald,  
Naturgefahren und Landschaft (BFW)

Seckendorff-Gudent-Weg 8, 1131 Wien, Österreich

Tel.: +43 1 87838 0

Fax: +43 1 87838 1250

<http://bfw.ac.at>

Redaktion: Christian Lackner, Markus Neumann

Grafik und Layout: Johanna Kohl, Gerald Schnabel

Druck: Druckerei, Bundesforschungs- und  
Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren  
und Landschaft (BFW)

Bezugsquelle: Bibliothek, Bundesforschungs- und  
Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und  
Landschaft (BFW)

Tel.: +43 1 87838 1216

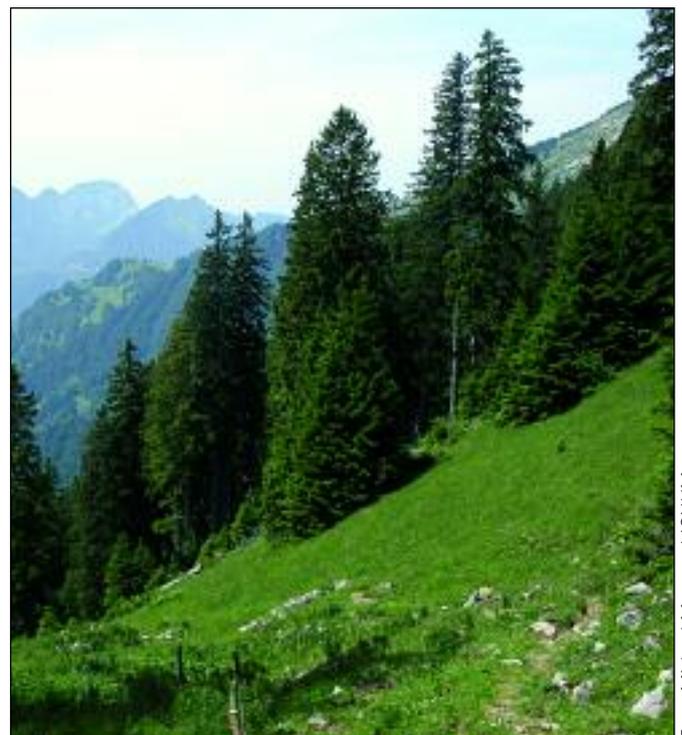


Foto: Michael Meutter, LIGNUM

# Klimawandel und Veränderungen an der alpinen Waldgrenze – aktuelle Entwicklungen im Vergleich zur Nacheiszeit

Kurt NICOLUSSI und Gernot PATZELT

**Meteorologische Messdaten zeigen einen deutlichen Temperaturanstieg während der letzten 100 Jahre im Alpenraum. Diese Klimaänderung schlägt sich teilweise deutlich im Umweltbereich, besonders markant etwa durch das Abschmelzen der Gletscher, nieder.**

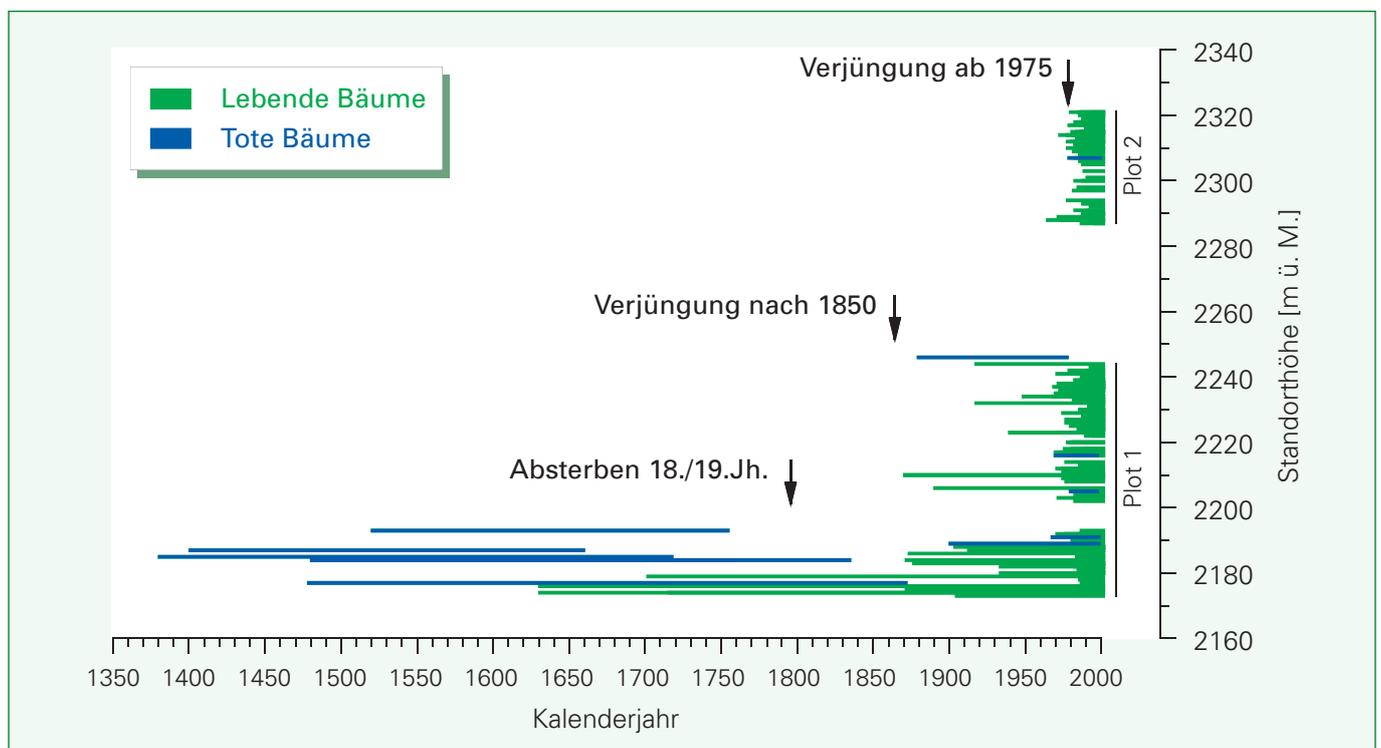
Die alpine Waldgrenze ist eine klima-sensitive Grenzzone. Mittel- und langfristige Temperaturzunahmen während der Vegetationszeit sollten demnach zu einem Anstieg der Waldgrenze bzw. einer Verdichtung des Bestandes im Grenzbereich, kontinuierliche Temperaturrückgänge hingegen zur Auflichtung der Waldgrenzwälder und zu einem Absinken der Baumgrenze führen.

## Wie reagieren Waldgrenzbestände und wie rasch?

Inwieweit reagieren nun die Waldgrenzbestände auf die veränderten klimatischen Bedingungen und wie schnell geht das? Zu dieser Frage führten wir detaillierte Untersuchungen unter Anwendung der Jahrringanalyse (Dendrochronologie) im Bereich der Tiroler Zentralalpen, im Kauner- und Schnalstal, durch. Dort wird die Waldgrenze und die Kampfzone von Zirbenbeständen dominiert. Die Studien zeigen ein Ansteigen der Verbreitungsgrenze von erwachsenen Bäumen und Jung-

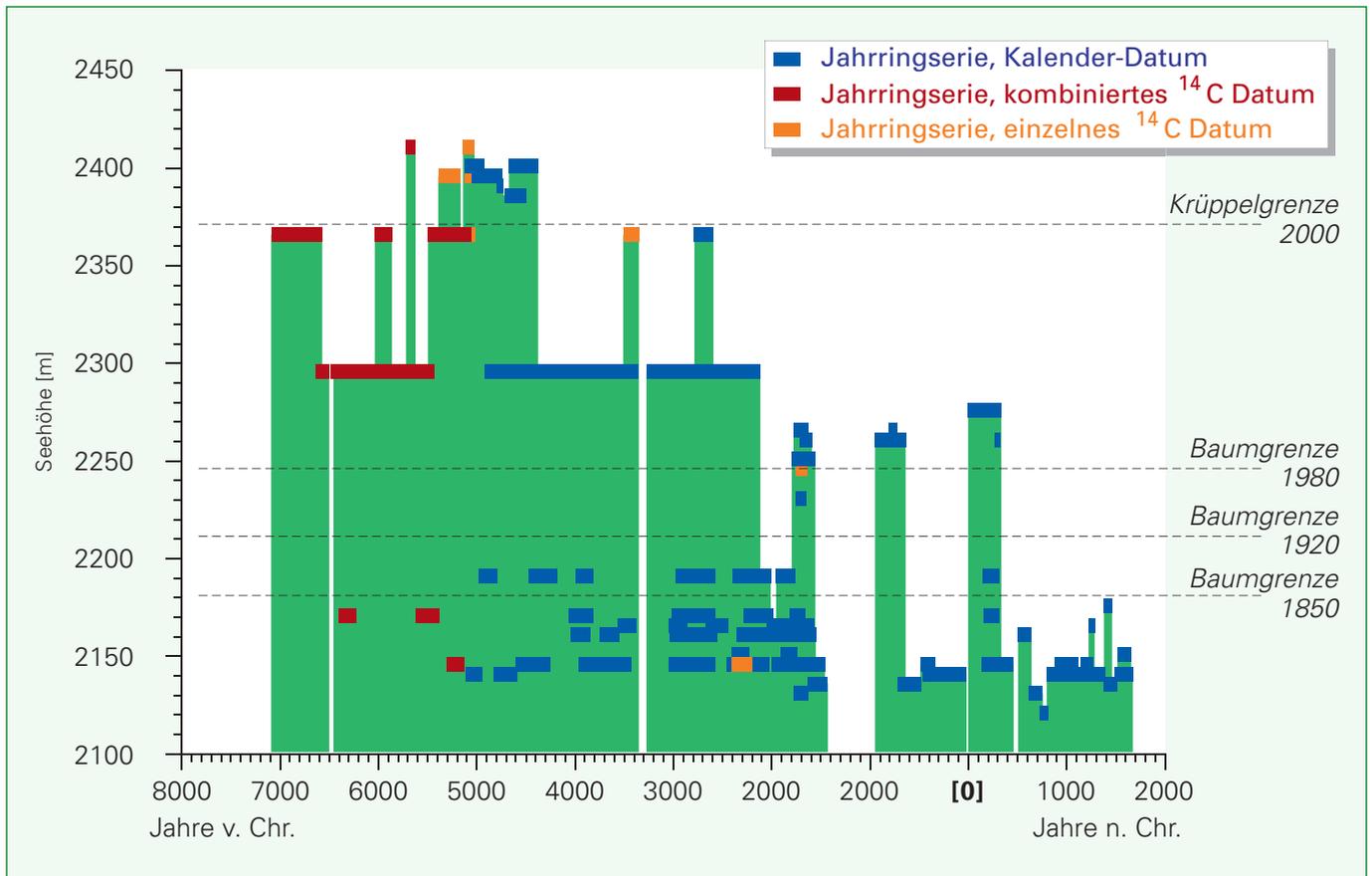
wuchs während der letzten 150 Jahre. Demgegenüber war etwa das frühe 19. Jahrhundert im zentralalpinen Bereich durch eine temperaturbedingte Auflichtung der Hochlagenwälder und ein Absinken der Baumgrenze gekennzeichnet (Abbildung 1).

Der Anstieg der Baumgrenze bzw. das Aufkommen der heute im Waldgrenzbereich wachsenden Zirben und Lärchen seit der Mitte des 19. Jahrhunderts erfolgte jedoch nicht kontinuierlich. Ein erstes starkes Anwachsen von Jungwuchs lässt sich ab etwa 1860 und damit synchron zu einer Gletscherabschmelzphase nach einem Hochstand um 1855 feststellen. Weitere Phasen vermehrter Bestandesverdichtung im Waldgrenzbereich bzw. eines Höhersteigens der potenziellen Baumgrenze (nach 1920 bzw. 1980) gehen gleichfalls mit Perioden markanten Gletscherrückgangs einher. Gerade die letzten 25 Jahre sind in den Tiroler Zentralalpen von einer starken Verjüngung auch über der bereits etablierten Baumgrenze geprägt. Speziell der Zirbenjungwuchs reagiert unmittelbar auf die verbesserten Klimabedingungen. Unter der Voraussetzung, dass die gegenwärtigen Temperaturverhältnisse andauern, es also nicht zu einem Klimarückschlag und damit zu einem Absterben dieser neu aufgewachsenen Bäumchen kommt, wird sich in den Zentralalpen eine neue Baum- bzw. Waldgrenze rund 100 bis 150 Höhenmeter über jener zur Mitte des 19. Jahrhunderts einstellen.

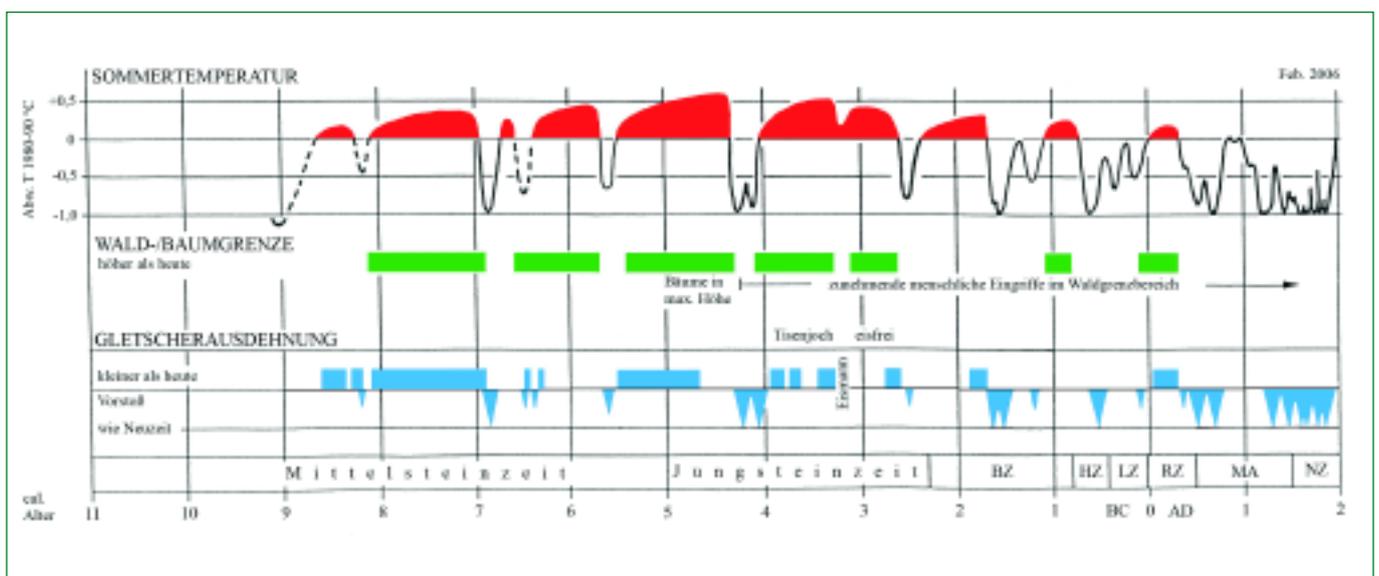


**Abbildung 1:**

**Höhenmäßige Verteilung der im Kaunertal erfassten Zirben. Jeder Balken steht für einen Baum und zeigt über die Länge dessen individuellen Wuchszeitraum an. Mitte des 19. Jahrhunderts lag die Baum- und Waldgrenze im Untersuchungsgebiet in 2180 m Seehöhe, inzwischen findet sich Jungwuchs bis in Höhen um 2370 m.**



**Abbildung 2.** Höhenmäßige und zeitliche Verteilung von subfossilen Holzproben aus dem inneren Kaunertal. Die Längen der Balken geben die Mindestwachsungszeit von Proben bzw. Probengruppen an. Die Datierungen der Hölzer basieren auf <sup>14</sup>C-Analysen (rote Balken) bzw. dendrochronologischen Synchronisationen. Für den Zeitraum der letzten 7000 Jahre liegen überwiegend dendrochronologische Daten (blaue Balken) mit einer Genauigkeit von einem Jahr vor. Für die letzten rund 4000 Jahre ist die Belegung aufgrund klimatischer Störungen, aber vor allem wegen der Rodungstätigkeit des Menschen lückenhaft. Demgegenüber ist für die fünf Jahrtausende davor ein praktisch zusammenhängender Nachweis für eine Baum- und Waldgrenze im bzw. über dem gegenwärtigen potenziellen Niveau gegeben.



**Abbildung 3:** Nacheiszeitliche Temperaturentwicklung im Ostalpenraum, abgeleitet aus Gletscher- und Waldgrenzschwankungen. Aus der bisher erfassten Gletscherausdehnung (unten) und den Wald- und Baumgrenzlagen, die oftmals höher lagen als es unter gegenwärtigen Klimabedingungen möglich wäre (Mitte), wurde die Entwicklung der Sommertemperatur (Mai-September) für die letzten 11.000 Jahre abgeleitet. In über 65 % dieser Zeit lagen die Temperaturen über dem Mittelwert von 1980-90. Das letzte Jahrtausend war durch überwiegend kühle Verhältnisse gekennzeichnet. Das gegenwärtige Temperaturniveau liegt nur geringfügig über dem nacheiszeitlichen Mittelwert.

## Ungewöhnliche Klimaverhältnisse?

Sind die gegenwärtigen Verhältnisse und Veränderungen etwas Besonderes oder gab es Vergleichbares schon früher? Veränderungen werden im Vergleich zu Bestehendem und bisherigen Verhältnissen verstanden. Unser traditionelles Bild der Klima- und Umweltverhältnisse im Alpenraum ist nicht zuletzt stark geprägt von der Situation in der Neuzeit, die durch Schrift- und Bilddokumente, aber auch durch frühe Messungen vergleichsweise gut dokumentiert ist. Diese neuzeitlichen Jahrhunderte sind jedoch durch wiederholt ungünstige Klimabedingungen charakterisiert, häufige und weit reichende Gletschervorstöße sowie die große Ausdehnung dieser Eismassen führten gar zur Benennung dieses Zeitraums als „Kleine Eiszeit“. Letztlich erweckt diese bekannt ungünstige Klima-Vorgeschichte den Eindruck, dass die heutigen Temperaturbedingungen und die Entwicklungen in der Umwelt außerordentlich wären. Für die Bewertung und Einordnung der gegenwärtigen Verhältnisse sollten jedoch nicht nur die letzten Jahrhunderte, sondern die gesamte Nacheiszeit, d.h. die letzten etwa 11.000 Jahre, herangezogen werden.

Zur Entwicklung der Waldgrenze in der Nacheiszeit konnten in den letzten Jahren neue Ergebnisse über die dendrochronologische Analyse von Baumresten, die teilweise vor Jahrtausenden gewachsen sind, gewonnen werden. Gefunden und geborgen wurden diese im zentralen Ostalpenraum an Stellen, die im Höhenbereich der heutigen potenziellen Baumgrenze und darüber liegen. Durch die Synchronisation der Jahrringreihen dieser alten Hölzer untereinander und über eine Vielzahl von  $^{14}\text{C}$ -Daten kann nun ein zeitlich präzises und gut abgesichertes Bild der Veränderungen der Baumgrenze über die Jahrtausende erstellt werden (Abbildung 2). Nachweisbar ist vor allem für die mittlere Nacheiszeit (von mindestens 9000 bis 4000 Jahren vor heute) eine Baumgrenze, die durchwegs über der momentanen potenziellen Höhe lag. Im Kautertal wuchs beispielsweise zwischen 4674 und 4377 v. Chr. ein Baum auf 2400 m Seehöhe. In dieser Höhe ist dort heute kein Baumwachstum möglich. Auch der Vergleich der Entwicklung der alpinen Waldgrenze mit den Gletscherschwankungen in den letzten 11.000 Jahren bestätigt das Bild einer überwiegend klimatisch günstigen frühen und mittleren Nacheiszeit (Abbildung 3). Die heutigen mittleren Temperaturverhältnisse haben dabei noch nicht die mittelfristigen Maxima dieses Zeitraumes erreicht, auch wenn das gegenwärtige Niveau deutlich über dem Mittel des vergangenen Jahrtausends liegt.

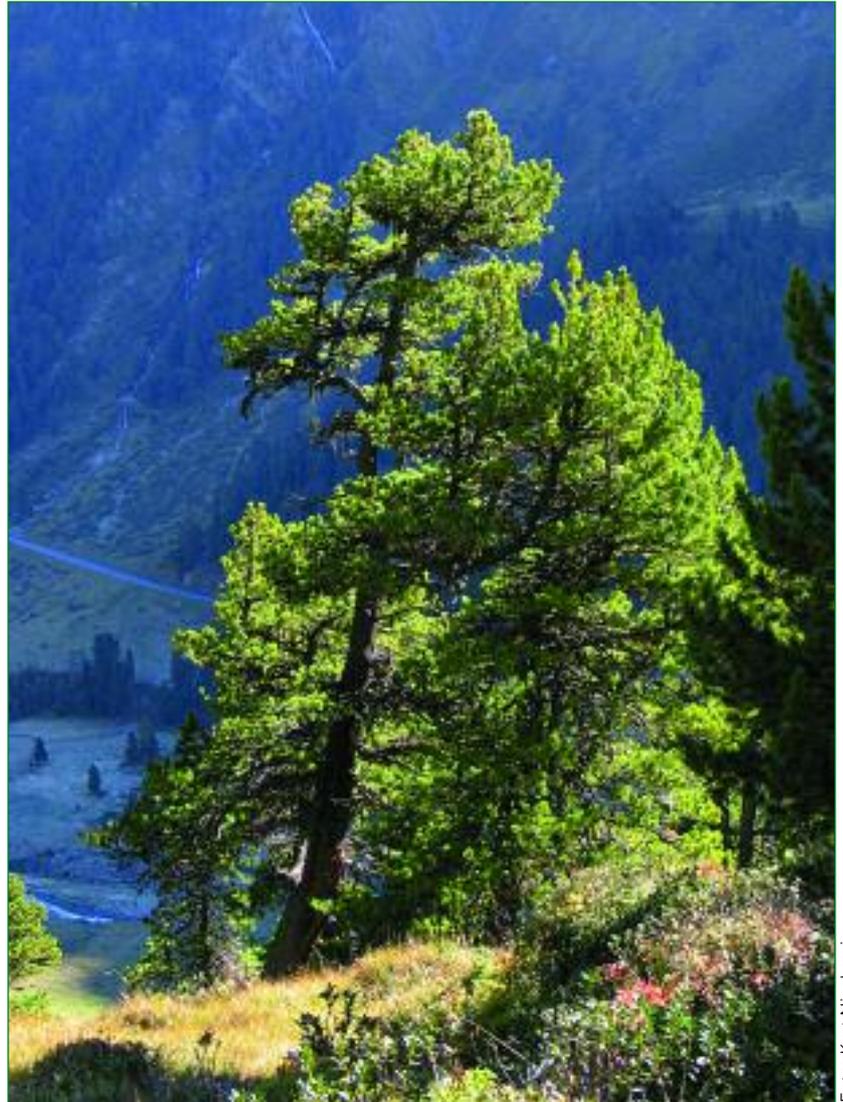


Foto: Kurt Nicolussi

**Eine Hochlagen-Zirbe (*Pinus cembra* L.) im Kautertal. Diese Baumart dominiert den Waldgrenzbereich der zentralen Ostalpen. Bisher wurden Bäume mit Lebensaltern von bis zu 800 Jahren untersucht.**

## Literatur

- Kaufmann, N.; Nicolussi, K. (in Vorbereitung): Changes of the Potential Tree Line Position in the Central Eastern Alps During the Past 1500 Years.
- Nicolussi, K.; Patzelt, G. (2001): Untersuchungen zur holozänen Gletscherentwicklung von Pasterze und Gepatschferner (Ostalpen). Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 36, 1-87.
- Nicolussi, K.; Kaufmann, M.; Patzelt, G.; van der Plicht, J.; Thurner, A. (2005): Holocene tree-line variability in the Kauner Valley, Central Eastern Alps, indicated by dendrochronological analysis of living trees and subfossil logs. Vegetation History and Archaeobotany 14, 221-234.

Ao. Univ.-Prof. Mag. Dr. Kurt Nicolussi,  
Univ.-Prof. Dr. Gernot Patzelt  
Institut für Geographie, Universität Innsbruck,  
Innrain 52, A-6020 Innsbruck  
E-Mail: kurt.nicolussi@uibk.ac.at

# Klimawandel oder Klimavariation?

Reinhard BÖHM

**Globale Ozean-Atmosphäre-Klimamodelle erlauben relativ gut abgesicherte großräumige Ausblicke auf die thermische Entwicklung der Erde in den kommenden 100 Jahren. Je nach Szenario ist wegen des zweifellos nicht zu verhindernden weiteren Anstieges einiger Treibhausgase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) mit einem steigenden Trend der globalen Mitteltemperatur der unteren Atmosphärenschichten um 1,5 bis 5,5 °C bis Ende des 21. Jahrhunderts zu rechnen. Deutlich geringer ist die Fähigkeit der Klimamodelle, diese Aussage regional bis lokal aufzulösen, und ebenfalls problematisch ist die Modellierung der hydrologischen Parameter (zum Beispiel Verdunstung und Niederschlag).**

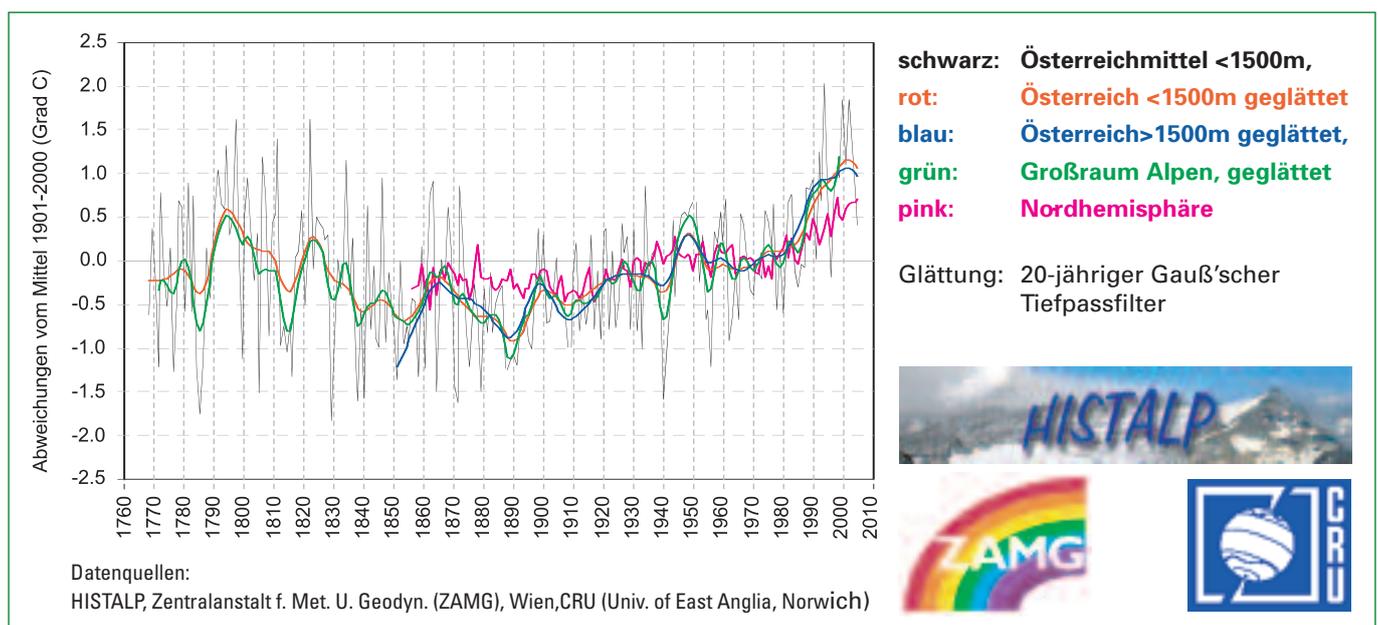
Die meisten Extremereignisse wie Gewitter, Hagel, Starkregen und Tornados sind zum größten Teil in der Modellphysik gar nicht enthalten oder gegenüber der räumlichen Gitterdistanz der Rechenmodelle „subskalig“. Trotzdem beherrschen gerade derartige Ereignisse die öffentliche Debatte, wie Trockenperioden, Überschwemmungen oder heiße Sommer. Sogar Ausreißer in die andere Richtung werden mit dem „Klimawandel“ erklärt, der nicht zuletzt auch die Variabilität des Klimas erhöhen soll.

## Österreich reagiert klimatisch empfindlicher

Unterstützt werden derartige Statements durch eine hervorstechende Eigenschaft des Klimas, seine starke (hochfrequente) Kurzzeitvariabilität, welche die (nieder-

frequenten) langfristigen Trends bei weitem übertreffen, vor allem, wenn regionale bis lokale Klimazeitreihen betrachtet werden. Abbildung 1 zeigt das anhand der Zeitreihe der Österreichmittel (31 Einzelreihen) der Jahrestemperaturen 1768-2005. Der Schwankungsbereich der Einzeljahre beträgt 4 Grad, der Trend der geglätteten Kurve von der kühlen 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts bis zum aktuellen Niveau hingegen beträgt lediglich 1,5 Grad. Verglichen mit der gleichzeitigen Erwärmung der gesamten Nordhemisphäre (die Kurve in pink) um etwa 0,8 Grad, reagiert Österreich klimatisch „empfindlicher“, aber auch wesentlich variabler als die Erde insgesamt. Extreme Einzeljahre in Österreich sind in der Regel keine solchen des globalen Mittels (in pink), manchmal gibt es sogar Gegenläufigkeiten über mehrere Jahre (z.B. um 1890, 1940, 1950). Bemerkenswert ist, dass in Österreich (und im gesamten Alpenraum - grüne Kurve) die langfristigen Temperaturentrends überall gleich verlaufen. Das zeigen die drei geglätteten Kurven (rot, blau, grün) für das Tiefland und für das Hochalpinum in Österreich bzw. für alle 131 Langzeitreihen des Großraums Alpen.

Die Daten aus Österreich und dem Großraum Alpen stammen aus der HISTALP-Klimadatenbank der ZAMG (Auer et al., 2006), die gerade in Fertigstellung begriffen ist. Hier wurden in mehr als zehnjähriger internationaler Zusammenarbeit 500 100- bis 240-jährige Klimazeitreihen auf Monatsbasis (Luftdruck, Temperatur, Niederschlag, Bewölkung, Sonnenscheindauer, relative Feuchte, Dampfdruck) zusammengetragen, digitalisiert und homogenisiert (d.h.: die alten Datensätze der Zeitreihen wurden mit den modernen Messmethoden vergleich-



**Abbildung 1:**  
Regionale und hemisphärische Zeitreihen der Jahresmittel der Lufttemperatur



Fotos: Alois Holzer

**Aufgenommen am 18. Mai 2005 in Frohnleiten: Die meisten Extremereignisse wie z.B. Hagel sind in den Klimamodellen nicht enthalten und vorhersagbar, dominieren aber die öffentliche Debatte.**

bar gemacht). Nicht homogenisierte Langzeitreihen sind im Allgemeinen nicht verwendbar, da etwa alle 25 Jahre eine nicht klimatische Inhomogenität (Stationsverlegung, Beobachtungszeiten, Instrumentenwechsel, Veränderungen der Umgebung) den Vergleich vor und nach dem „Break“ erschwert. Derartige Inhomogenitäten sind zahlreich, ihr „nichtklimatisches Rauschen“ verdeckt das wahre Klimasignal. Ab dem Frühsommer 2006 werden die HISTALP-Klimadaten frei über die ZAMG-Homepage ([www.zamg.ac.at](http://www.zamg.ac.at)) verfügbar sein. Gerade Anwendungen im Forstwesen (wissenschaftlich und praktisch) erscheinen sinnvoll, da hier ebenfalls der Langzeitaspekt im Vordergrund steht.

**Vier Hauptklimazonen im Großraum Alpen**

Erste HISTALP-Analysen zeigen, dass – im Gegensatz zur Temperatur – bei anderen Klimaelementen keine einheitlichen Trends vorliegen. Eine Regionalisierung ergab für den Großraum Alpen vier horizontale Hauptklimazonen (Abbildung 2) - plus eine fünfte, das in der Abbildung nicht aufscheinende Hochalpinum.

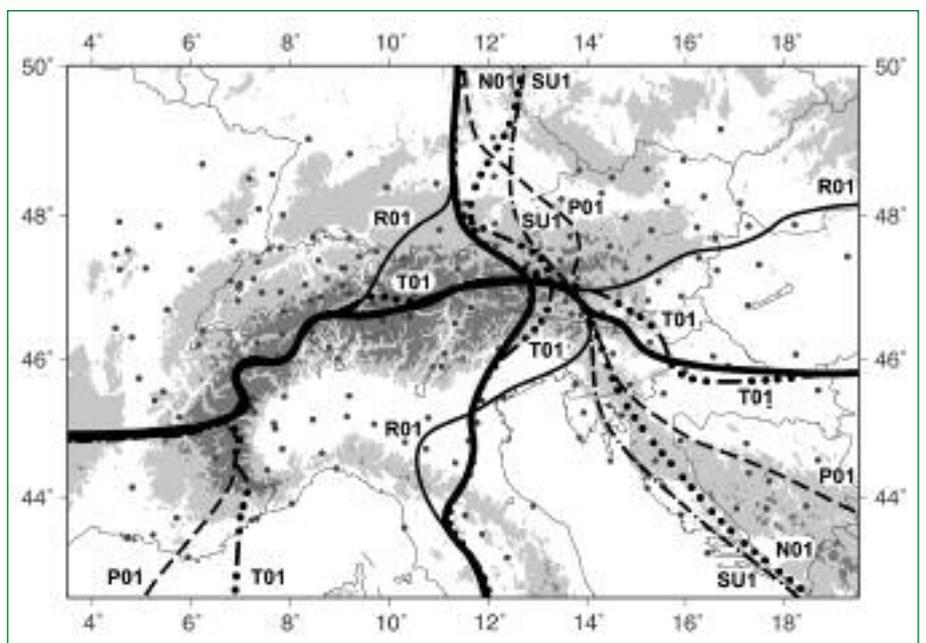
Die markantesten Langzeit-Trendunterschiede bestehen für den Niederschlag, der auch für forstliche Fragestellungen von großem Einfluss ist. Am unterschiedlichsten haben sich in den beiden letzten Jahrhunderten die Subregionen NW (mit einem signi-

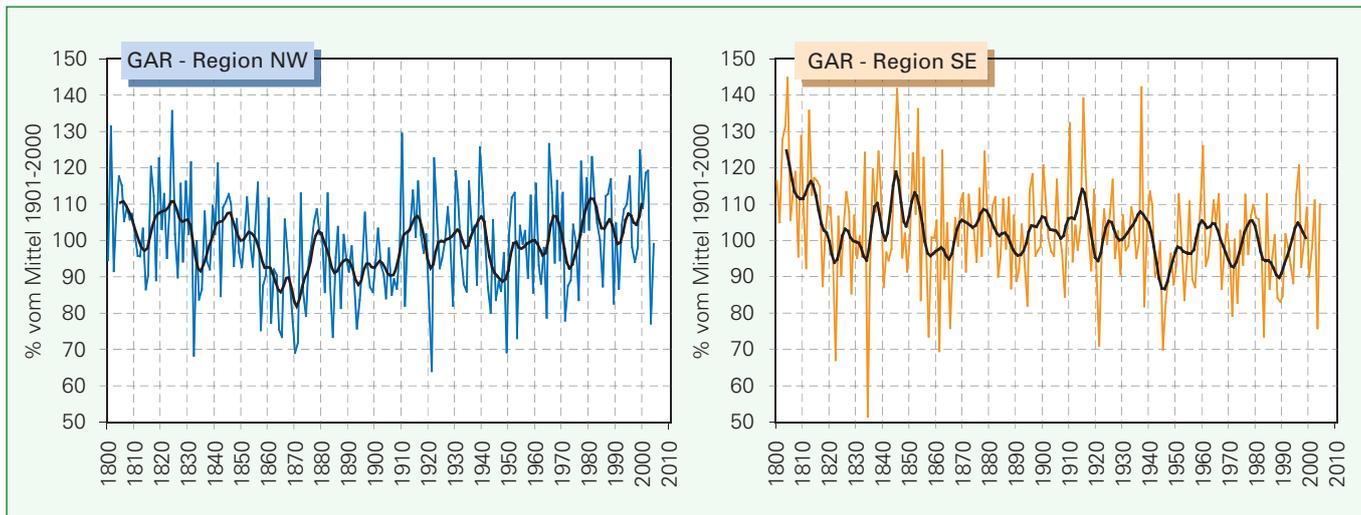
fikanten Niederschlagsanstieg um etwa 15 % seit den 1860er Jahren) und SE (200-jähriger Trend ca. -15 %) verhalten. Österreich hat an beiden Regionen Anteil, und die Frage „Austrocknung“ oder „feuchter werden“ kann somit für unser Land nicht einheitlich beantwortet werden – wie auch die Zukunft des Niederschlagsklimas von den Klimamodellen sehr unterschiedlich simuliert wird. Aus der Vergangenheit können wir lernen, dass für ganz Österreich nicht mit einheitlichen Entwicklungen zu rechnen ist.

Die Beispiele decken natürlich bei weitem nicht das volle Spektrum der für jedes Klimaelement für die verschiedenen Monate, Jahreszeiten und Zeitabschnitte vorliegenden Klimaschwankungen und –trends ab. Es wird hier auf ausführlichere Analysen verwiesen, die bereits erschienen sind oder im Zusammenhang mit HISTALP demnächst erscheinen werden. Sie beschreiben unsere Region im Einflussbereich von drei kontinentalen Klimazonen (atlantisch, mediterran, kontinental), zusätzlich modifiziert und verschärft durch die Alpen, als ein „klimatisch empfindlich“ reagierendes Gebiet mit sowohl horizontal als auch vertikal unter-

**Abbildung 2: Die vier horizontalen Hauptklimaregionen im Großraum Alpen (GAR)**

Dünne Linien: einzelne Klimaelemente  
 T01: Temperatur  
 R01: Niederschlag  
 P01: Luftdruck  
 SU1: Sonnenscheindauer  
 N0: Bewölkung  
 Dicke Linien: Hauptklimagrenzen als Kompromiss der fünf Einzelregionalisierungen  
 Quelle: Auer et al. (2006)





**Abbildung 3:** Regionale Zeitreihen der Niederschlagsjahressummen 1800-2004 für die Hauptregionen NW (links) und SE (rechts) Einzeljahre (% des Mittels des 20. Jahrhunderts) und geglättet (Gauß'scher Tiefpass, Filterweite 10 Jahre) Quelle: ZAMG-HISTALP

schiedlichen Klimavariationen und Trends. Jegliche Ableitungen von Klimaszenarien aus globalen Modellrechnungen („downscaling“) müssen deshalb mit großer Vorsicht und räumlicher Präzision vorgenommen werden, wenn nicht Fehler bis hin zu Trends in die falsche Richtung in Kauf genommen werden sollen.

### Klimadaten ab Sommer 2006 erhältlich

Die HISTALP-Datenbank wird auch künftig von der ZAMG als Datenmonitoring im Großraum Alpen betrieben werden. Eigene wissenschaftliche Analysen und enge Kontakte mit den Datenerzeugern in der Region werden die Qualität garantieren. Die Daten stehen ab Sommer 2006 für Forschung und praktische Anwendungen zur Verfügung. Die Klimaschwankungsgruppe der ZAMG sieht Kooperationen interessiert entgegen.

### Weiterführende Literatur

Auer, I.; Böhm, R.; Schöner, W. (2001): Austrian long-term climate 1767-2000 – Multiple instrumental climate time series from Central Europe. *Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik* 25: Central Institute for Meteorology and Geodynamics. Vienna.

Auer, I.; Böhm, R.; Mohn, Hl.; Potzmann, R.; Schöner, W.; Skomorowski, P. (2001): OEKLIM – Digitaler Klima atlas Österreichs. Interaktive CD mit mehr als 4000 Elementen (Karten, Zeitreihen, Kurzartikel, Diagramme, Glossar...), ZAMG, Wien

Auer, I.; Böhm, R.; Jurkovic, A.; Lipa, W.; Orlik, A.; Potzmann, R.; Schöner, W.; Ungersböck, M.; Matulla, Ch.; Briffa, K.; Jones, P.; Efthymiadis, D.; Brunetti, M.; Nanni, T.; Maugeri, M.; Mercali, L.; Mestre, O.; Moisselin, JM.; Begert, M.; Müller-Westermeier, G.; Kveton, V.; Bochnicek, O.; Stastny, P.; Lapin, M.; Salai, S.; Szentimrey, T.; Cegnar, T.; Dolinar, M.; Gajic-Capka, M.; Zaninovic, K.; Majstorovic, Z.; Nieplova, E. (2006): HISTALP – Historical Instrumental Climatological Surface Time Series of the Greater Alpine Region. *International Journal of Climatology* 26 (im Druck).

Brunetti, M.; Maugeri, M.; Nanni, T.; Auer, I.; Böhm, R.; Schöner, W. (2006): Precipitation variability and changes in the Greater Alpine Region over the 1800-2003 period. *Journal of Geophysical Research* 111 (im Druck).

Jones, P.D.; Moberg, A. (2003): Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001. *Journal of Climate* 16: 206-223.

Ruddiman, W.F. (2001): Earth's Climate – Past and Future. W.H. Freeman and Company, New York (Lehrbuch auch für Nicht-Fachleute, 463 Seiten).

Stehr, N.; von Storch, H. (1999): Klima, Wetter, Mensch. Beck Verlag München, ISBN 3-406-44613-2, 128 Seiten.

Von Storch, H.; Güss, S.; Heimann, M. (1999): Das Klimasystem und seine Modellierung. Eine Einführung. Springer Verlag, ISBN 3-540-65830-0, 255 Seiten.

### Weiterführende Websites

[www.zamg.ac.at](http://www.zamg.ac.at) – Quelle für HISTALP-Klimadaten aus dem Großraum Alpen

[www.uea.cru.ac.uk](http://www.uea.cru.ac.uk) – führendes wissenschaftliches Institut für Klimaschwankungen sowie Quelle für globale Klimadaten

[www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch) – „Intergovernmental Panel on Climate Change“, fasst alle fünf Jahre den Stand der Forschung über Klimavergangenheit und -zukunft in den IPCC-Reports zusammen. Der nächste Gesamtreport wird 2007 erscheinen (dreiteilig: Wissenschaft – Auswirkungen – Politik)



Foto: Ludwig Rasser

**Nicht die Abendsonne, sondern Wüstensand hat den Sonnblick orange eingefärbt**

Dr. Reinhard Böhm  
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik  
F.Abt. Klimatische Landesaufnahme und Klimavariabilität  
Hohe Warte 38, A-1190 Wien  
E-Mail: reinhard.boehm@zamg.ac.at

# Klimawandel – Standörtliche Rahmenbedingungen für die Forstwirtschaft

Ernst LEITGEB und Michael ENGLISCH

**Globale Klimaänderungen und deren Konsequenzen für das Waldwachstum werden derzeit intensiv diskutiert. Ein Klimawandel wird allgemein angenommen, bezüglich des Ausmaßes gibt es aber noch viele offene Fragen. Großräumige Veränderungen des Klimas wirken sich auch auf regionaler, lokaler und standörtlicher Ebene aus.**

Zweifellos wird die prognostizierte Änderung der Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse gravierende Auswirkungen auf die Vegetation haben. Sie ist daher eine große Herausforderung für die Waldbewirtschaftung, da waldbauliche Entscheidungen (zum Beispiel die Baumartenwahl) sehr langfristig wirken und künftige Entwicklungen der Umwelt vorwegnehmen müssen.

## Globale Klimaänderung – vom Menschen verursacht?

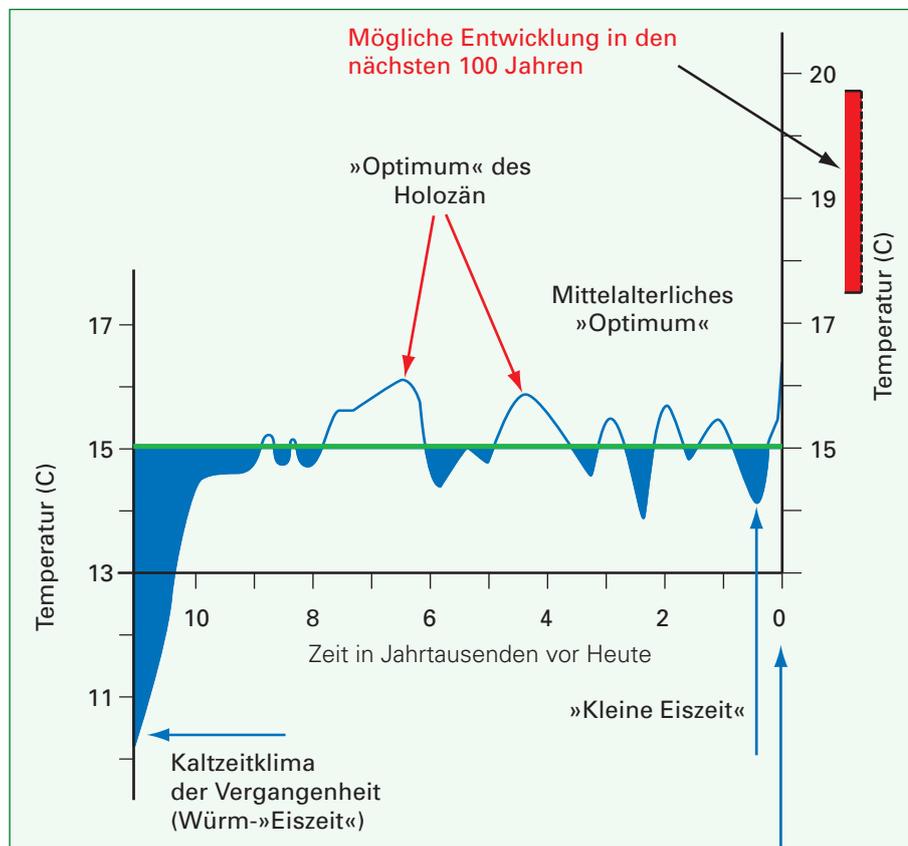
Im Bericht des "Intergovernmental Panel of Climatic Change" (IPCC) wurde versucht, den menschlichen Einfluss auf die globale Lufttemperatur zu modellieren und den beobachteten Messwerten gegenüberzustellen. Nach diesen Modellansätzen wird ein Anstieg der mittlere

ren globalen Lufttemperatur von 1,4 bis 5,8° C prognostiziert, bei einer Verdoppelung des CO<sub>2</sub>-Gehalts in der Atmosphäre sogar von 11° C. Die beobachteten Werte (zurückreichend bis ins Jahr 1890), die sich aus natürlichen und anthropogen bedingten Faktoren zusammensetzen, steigen seit den 70er Jahren deutlich an. Interessant ist dabei, dass der modellierte Verlauf der „natürlichen“ Temperatur nicht ansteigt, sondern sogar leicht fällt und – dem Modell nach – der beobachtete Anstieg der globalen Temperatur auf anthropogene Aktivitäten zurückzuführen ist (längerfristige Entwicklung siehe Abbildung 1).

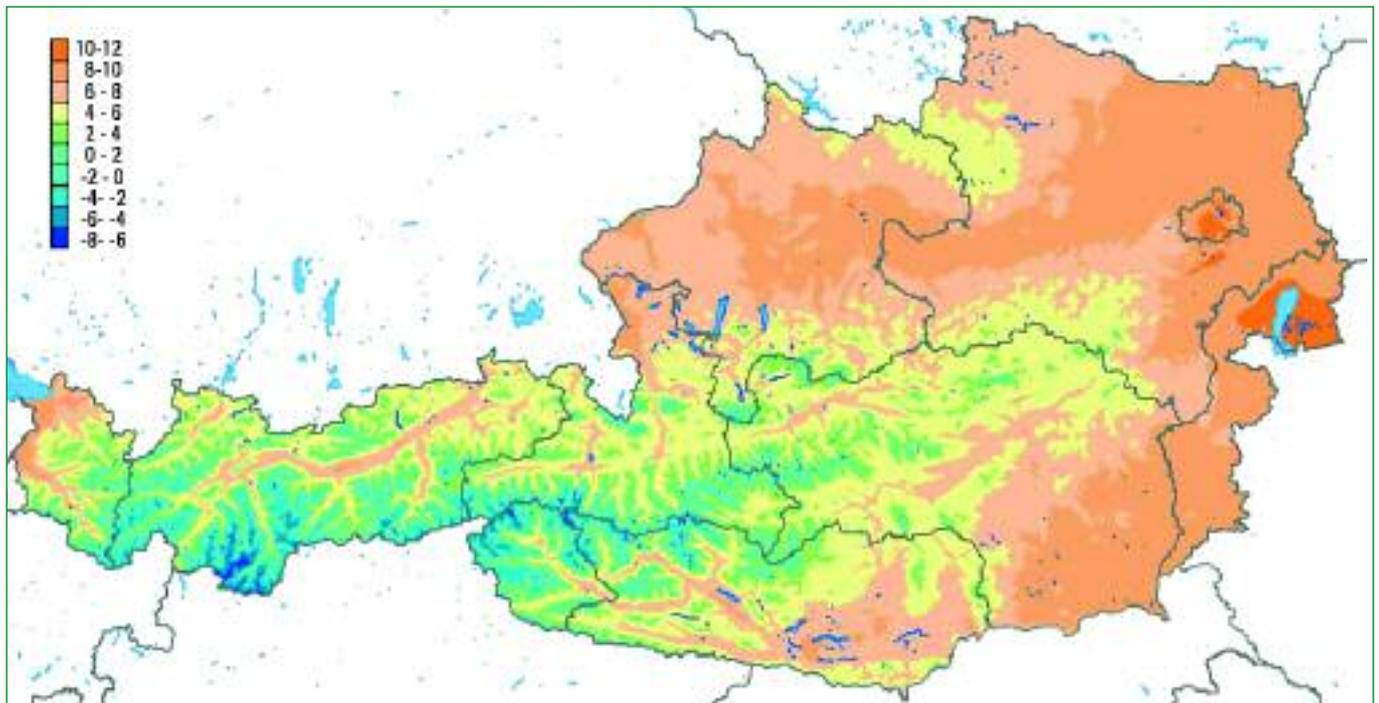
Auch hier findet sich der Anstieg der Temperatur in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts: Auffallend ist, dass es bereits im Atlantikum und Mittelalter länger andauernde Wärmeperioden gab. Diese „natürlichen“ Wärmeperioden sind durch einen allmählichen Temperaturanstieg gekennzeichnet und unterscheiden sich deutlich vom derzeitigen, raschen Anstieg. Die vom Menschen verursachten Klimaänderungen werden vor allem mit dem verstärkten Treibhauseffekt (oder „Glashauseffekt“) in Verbindung gebracht. Der Treibhauseffekt ist an sich ein natürlicher Vorgang und sorgt für eine mittlere Temperatur von 15° C auf der Erde. Ohne Treibhauseffekt würde die globale mittlere Temperatur bei ca. -17° C liegen.

Der Treibhauseffekt entsteht durch die Absorption der langwelligen Abstrahlung von der Erdoberfläche durch Spurengase (vor allem Kohlendioxid, aber auch Lachgas und Methan) in der untersten Schicht der Atmosphäre. Dabei wird ein Teil der Strahlung an die Erdoberfläche reflektiert. Die Spurengase wirken gleichsam wie das Glas in einem Gewächshaus.

Lag der CO<sub>2</sub>-Gehalt im Jahr 1750 noch bei 280 ppm (Otto, 1994), ist der CO<sub>2</sub>-Gehalt heute auf 360 ppm angestiegen. Anhand von Bohrkernproben aus der Antarktis („Vostok“-Eiskern) konnte man den CO<sub>2</sub>-Gehalt bis ans Ende der Riss-Eiszeit rekonstruieren. So hohe CO<sub>2</sub>-Konzentrationen wie heute gab es im gesamten Untersuchungszeitraum, auch im nach-eiszeitlichen Wärmeoptimum des Atlantikums, nicht. Neben dem Anstieg der Treibhausgase gibt es auch noch andere Indizien, wie zum Beispiel den Gletscherrückgang und den Anstieg des Meeresspiegels, die für eine massive



**Abbildung 1:** Temperaturentwicklung seit der letzten Eiszeit (Kromp-Kolb und Formayer, 2005)



**Abbildung 2:**  
**Jahresmittel der Lufttemperatur in Österreich (1961-1990)**

Klimaänderung sprechen. Inwieweit sich Rückkopplungseffekte auswirken, kann derzeit noch kaum abgeschätzt werden: „Positiv“ (und somit zusätzlich temperatursteigernd) zu sehen sind Methanausgasungen aus Permafrostböden, der Ozeanboden und die Wasserdampfwolken; „negativ“ wirken zum Beispiel Wärmespeicherung durch Ozeane oder Fein(staub)partikel in der Atmosphäre. Prognosen und Szenarien zur Entwicklung der Niederschlagsverhältnisse (Intensität, Verteilung) sind mit noch größeren Unsicherheiten behaftet.

### **Mögliche Auswirkung auf das Waldwachstum**

Abbildung 2 zeigt die Verteilung des langjährigen Jahresmittels der Lufttemperatur in Österreich. Naturgemäß spiegelt sich das Relief darin wieder, deutlich zu erkennen ist der Alpenbereich. Die wärmsten Gebiete liegen im Osten (Weinviertel) und Südosten; Mühl- und Waldviertel dagegen sind durch relativ kühle Temperaturen gekennzeichnet.

Geht man von einem Anstieg der Temperatur und einem Gleichbleiben oder leichten Absinken der Niederschläge, wie in den meisten Klimamodellen für Österreich prognostiziert wird, aus, ist mit einer Veränderung der Waldgesellschaften zu rechnen. Dies kann im Gebirge zu einer Verschiebung der Waldgrenze führen, während im Osten Österreich problematische Bedingungen für das Baumwachstum an der „unteren Waldgrenze“ auftreten können. In den warmen und niederschlagsarmen Gebieten herrschen jetzt bereits für das Wachstum einiger Wirtschaftsbaumarten kritische Umweltbedingungen. In den betroffenen Regionen hat der Wald oft eine große Bedeutung als Erosionsschutz zur Sicherung der landwirtschaftlichen Produktion.

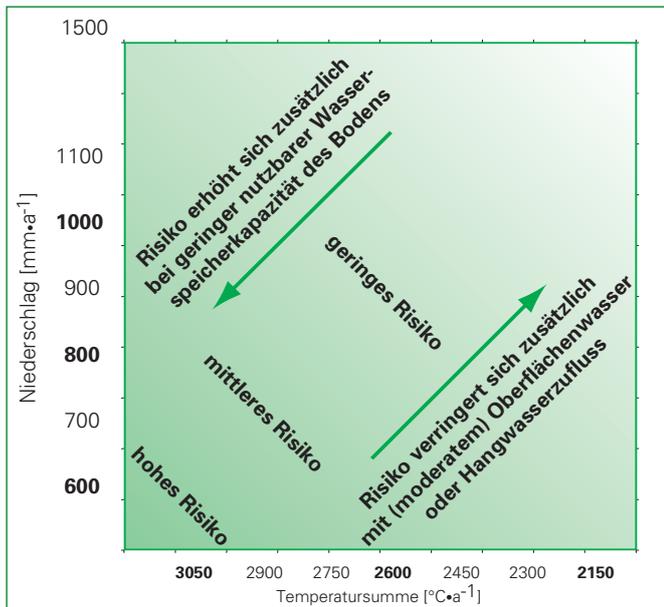
Diese groben regionalen Vorgaben werden durch den Standort zum Teil stark modifiziert. Je nach Standortbedingungen können die großklimatischen Einflüsse

verstärkt oder abgeschwächt werden. So bieten zum Beispiel frische Standorte mit tiefgründigen Böden den Bäumen bessere Wuchsbedingungen bei Trocken(stress)perioden als trockene, seichtgründige Kuppenstandorte.

Angesichts der großen Unsicherheiten, wie sich das Klima in den nächsten Jahrzehnten tatsächlich entwickeln wird, werden solide Standortkenntnisse (Standortskartierung, Standortserkundung) an Bedeutung gewinnen. Auf ökologisch sensiblen Standorten wird die Einhaltung der standörtlichen Vorgaben enger zu sehen sein. Auf regionaler Ebene gibt die ökologische Charakterisierung der Wuchsgebiete (siehe <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=1144>) eine grobe Orientierung über die Waldgesellschaften und Standortverhältnisse.

### **Baumartenwahl im Lichte von Klimawandel**

In Anbetracht der unsicheren Entwicklung der Umweltbedingungen sind die ökologischen Ansprüche der Baumarten verstärkt zu berücksichtigen. Besonders auf den „problematischen“ Standorten sind die Baumartenwahl und andere Waldbaumaßnahmen eingeschränkt. Die klimatischen Verhältnisse, die Bodennährstoffe und die Bodenfeuchte bestimmen im Wesentlichen Wachstum und Vitalität der Bäume. Geht man von einer Änderung der Temperatur (Anstieg) und von veränderten Niederschlagsverhältnissen aus, werden die klimatischen Ansprüche der Baumarten zukünftig wichtiger. Leider sind in der Literatur zum Großteil nur qualitative Aussagen zu finden, die sich meistens auf die Hauptbaumarten, wie Fichte und Buche, beziehen. Ein weiteres Manko ist, dass dabei bis dato keinerlei genetische Differenzierung der Baumarten in Hinblick auf deren Umweltansprüche möglich ist. Für die nachfolgende grobe klimatische Charakterisierung wurden die Temperatur-



**Abbildung 3:**  
**Risikobewertung für Fichte auf Basis von Klimaparametern**

summe, die sich aus der Summe der 14 Uhr-Temperaturen der Tage mit täglichen Temperaturminimum  $>5^{\circ}\text{C}$  und Tagesmaxima  $>15^{\circ}\text{C}$  errechnet, sowie der mittlere Jahresniederschlag verwendet. Diese Werte stellen nur einen groben Rahmen dar, der durch den Standort (vor allem durch die Bodenverhältnisse) modifiziert werden kann.

Für die **Fichte** ist ein jährlicher Niederschlag von mehr als 600 mm, davon mindestens 300 – 350 mm in der Vegetationszeit, erforderlich. Ab einer Temperatursumme von 3050  $^{\circ}\text{C}$  steigt die Anfälligkeit gegenüber Sekundärschädlingen und die Konkurrenzkraft nimmt ab (Abbildung 3). Sind zusätzlich die Niederschlagsverhältnisse ungünstig (600 mm bis maximal 700 mm), ist das Risiko für die Fichte sehr hoch. Abbildung 3 zeigt das Zusammenspiel von Temperatursumme und Niederschlagsmenge in Bezug auf das Risiko. Ausgehend von diesen Über-

legungen werden die Risikogebiete für Fichte dargestellt (Abbildung 4). Lokale, standörtliche Einflüsse bleiben bei dieser Generalisierung ausgeklammert.

Bei **Buche** reicht die in der Literatur angeführte Bandbreite für die kritische Mindestniederschlagssumme von 500 mm bis 750 mm. Bezüglich der Temperaturansprüche wird für die Buche, wenn sie bestandesbildend auftritt, eine Mindesttemperatursumme von 2150 $^{\circ}\text{C}$  angegeben (Kazda & Englisch, 2005); dies entspricht einer langjährigen Jahresmitteltemperatur von ca. 5,5 $^{\circ}\text{C}$ . Felbermeier (1994) gibt für bayerische Buchenbestände einen Temperaturbereich 4 bis 9,5 $^{\circ}\text{C}$  (Jahresmittel). Spätfrost schränkt das Buchenwachstum oft zusätzlich ein.

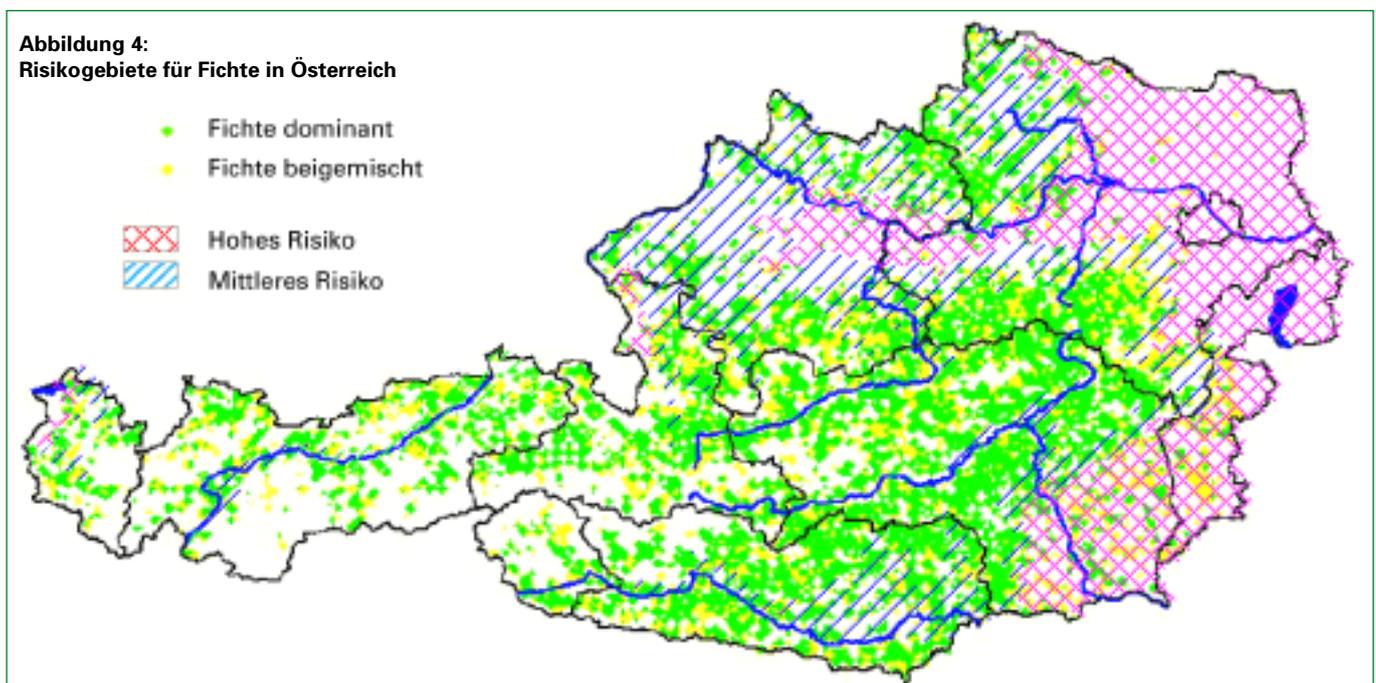
**Stieleiche** bevorzugt im Vergleich zu Buche eher kontinentaleres Klima und stellt höhere Temperaturansprüche. Eichen kommen aber mit unterschiedlichen Bodenwasserhaushaltsverhältnissen zurecht, ausgenommen davon sind nasse und trockene Böden.

### Augenmerk auf Standort und Baumarten legen

Um auf die Folgen von möglichen Klimaänderungen (Temperaturanstieg, veränderte Niederschlagsverhältnisse) vorbereitet zu sein, müssen die Standortbedingungen und die Baumartenansprüche vermehrt beachtet werden. Besondere Vorsicht ist auf ökologisch sensiblen Standorten geboten. Die Mischung von standortstauglichen Baumarten kann ebenfalls zur Risikominderung beitragen.

Literaturliste ist bei den Verfassern erhältlich.

Dipl.-Ing. Dr. Ernst Leitgeb  
 Dipl.-Ing. Dr. Michael Englisch  
 Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald,  
 Naturgefahren und Landschaft  
 Institut für Waldökologie und Boden  
 Seckendorff-Gudent-Weg 8, 1131 Wien  
 E-Mail: ernst.leitgeb@bfw.gv.at  
 E-Mail: michael.englisch@bfw.gv.at



# Kimawandel – Forstliche Maßnahmen aus genetischer Sicht

Thomas GEBUREK

**Die meisten österreichischen Wälder werden natürlich verjüngt. Angesichts eines Klimawandels stellt sich die Frage, ob die nachfolgenden Baumgenerationen auch unter den sich ändernden Umweltbedingungen die von ihnen erwartete Leistung (Holzproduktion, Schutzwaldfunktion, etc.) erbringen können.**

Änderungen des Klimas können dazu führen, dass lokal einzelne Waldbestände unter den veränderten Umweltbedingungen nicht mehr existieren können. Absterben einzelner Bäume oder zumindest ein eingeschränktes Wachstum und eine geringere Reproduktion (Samen- und Pollenbildung) können die Folgen sein. Dies ist nur dann vermeidbar, wenn sich die Waldbestände an die sich rasch verändernden Umweltbedingungen anpassen können.

## Reaktion der Bäume auf Klimaänderungen

Solche biologischen Prozesse basieren auf einer **Akklimation**, das heißt einzelne Bäume passen sich physiologisch an ihre Umwelt an, ohne dass sich ihre genetische Zusammensetzung ändert. Durch das natürliche Ausscheiden wenig angepasster Individuen kann aber auch eine Änderung der genetischen Zusammensetzung der Population über die Zeit erfolgen. Diese Vorgänge sind als **Evolution** bekannt. Bei Tieren, zum Beispiel bei Amerikanischen Rothörnchen, sind solche klimabedingten genetischen Änderungen bereits nachgewiesen worden, und die Art hat ihre genetisch bestimmte Reproduktionsphase verändert (Reale et al., 2002). Schließlich ist für die Art noch ein Ausweichen in andere Lebensräume (**Migration**) unter Umständen möglich.

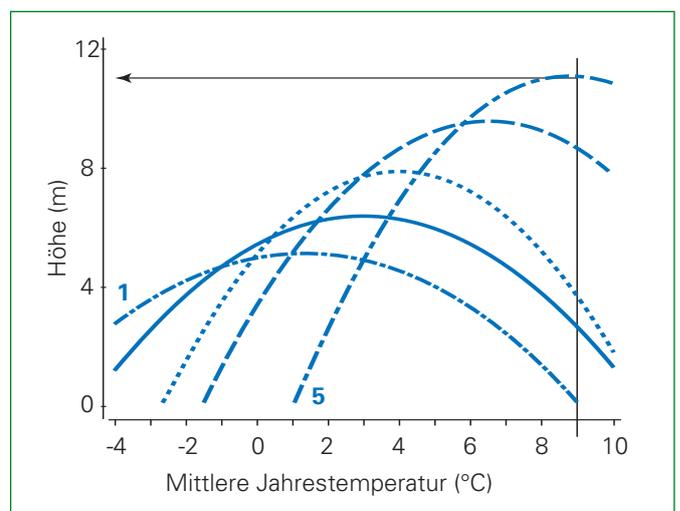
Klimaeffekte bestimmen die Pflanzenentwicklung in hohem Maße. Das Prinzip, verschiedene Rassen oder Herkünfte an einem Ort oder mehreren Standorten anzupflanzen und so ein geografisches Variationsmuster für die gesamte Baumart abzuleiten, ist schon sehr lange in der Forstwirtschaft bekannt und wird auch heute noch in der Herkunftsforschung angewandt. Aus forstlicher Sicht sind Wachstum (Höhe, BHD, Austrieb, etc.) und Überlebensfähigkeit sehr bedeutsam. Dies sind Merkmale, die primär durch Klimafaktoren bestimmt werden (Abbildung 1).

## Baumarten weichen in andere Lebensräume aus

Grundsätzlich weisen Waldbaumarten eine sehr große genetische Vielfalt auf und ihre Fähigkeit zur Akklimation ist erstaunlich groß. Selbst ein Transfer über sehr große horizontale Distanzen zeigt, dass viele nicht autochthone Populationen überlebensfähig sind und in Einzelfällen sogar autochthone Populationen in bestimmten Merkmalen übertreffen können. Einge-



**Abbildung 1:** Variation der Knospenbildung (Einwinterung) einjähriger Weißkiefern (*Pinus sylvestris*) in einem ungarischen Herkunftsversuch. Durchgezogene Linien geben Anzahl frostfreier Tage wieder. Strichlierte Linien geben den prozentualen Anteil der eingewinterten Pflanzen an (nach Mátyás, 1981)



**Abbildung 2:** Höhenwachstum (20-jährig) von fünf verschiedenen Herkünften der Küstenukiefer (*Pinus contorta*). Die Herkunft Nr. 1 kann bei einer mittleren Jahresmitteltemperatur von 9° C nicht mehr existieren, während Herkunft Nr. 5 unter diesen Umweltbedingungen ihr optimales Wachstum aufweist (nach Rehfeldt et al., 2001)

schränkt gilt dies auch für den vertikalen Transfer, zumindest für einen Höhenrahmen von mehreren hundert Metern. Trotz dieser erstaunlichen Fähigkeit darf nicht vergessen werden, dass es in der Regel Baumrassen gibt, die sich in hohem Maße unterscheiden können. Sehr eindrucksvoll ist dies bei der Küsteneiche in Nordamerika ausgeprägt (Abbildung 2). Dieses Beispiel zeigt, wie schwierig allgemeine Aussagen über das Wachstum für eine Baumart sein müssen.

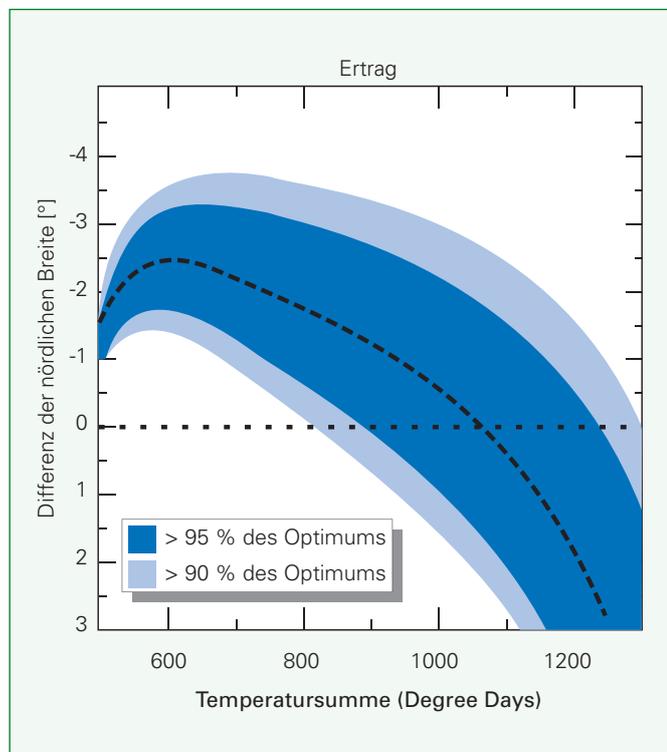
### Genetische Anpasstheit erhöhen

Soll aus genetischer Sicht dem Klimawandel begegnet werden, so kann die genetische Anpasstheit der Waldbestände während des Produktionszeitraumes (Umtriebszeit) erhöht werden. Dies setzt Antworten auf folgende Fragen voraus:

- Was sind die wahrscheinlichsten Klimabedingungen am jeweiligen Standort, integriert über die Umtriebszeit?
- Welche Herkünfte lassen unter den angenommenen Klimabedingungen die höchste Überlebensfähigkeit, Wertschöpfung oder andere wünschenswerte Leistung erwarten? Hierzu sind Ergebnisse aus Anbauversuchen mit verschiedenen Herkünften oder Rassen unter verschiedenen Klimabedingungen unabdingbar.

### Anbauversuche notwendig

In Ländern wie beispielsweise Schweden, wo Ergebnisse von umfangreichen Feldversuchen verfügbar sind, können angesichts eines Klimawandels Anbauempfehlungen an die forstliche Praxis weitergegeben



**Abbildung 3:** Optimaler Transfer von Herkünften der Weißkiefer in Schweden zu Standorten mit unterschiedlichen Temperatursummen (nach Persson, 1998). Bei einem Standort mit einer Temperatursumme von 700 „Grad-Tagen“ über 5°C ist ein südlicher Transfer von 2,2° nördlicher Breite optimal.

werden. So kann dort recht genau das Wachstum bei einem Transfer in nördlicher oder südlicher Richtung und bestimmten Temperatursummen prognostiziert werden (Abbildung 3). Leider sind derartige allgemeine Aussagen, basierend auf den in Österreich vorhandenen Herkunftsversuchen, nicht möglich. Empfehlungen sind nur lokal oder bestenfalls regional verfügbar. Daher wird dem Forstpraktiker empfohlen, sich bei Fragen der Herkunftswahl direkt an das Institut für Genetik zu wenden. Das Genetik-Team des BFW berät Sie gerne und ist auch bei der Beschaffung von geeignetem forstlichem Vermehrungsgut behilflich.

### Anpassungsfähigkeit hängt von genetischer Varianz ab

Wenn Prognosen der zu erwartenden Klimabedingungen nicht möglich oder sehr vage sind, kann nur die genetische Anpassfähigkeit der Bestände erhöht werden. R.A. Fisher, einer der bekanntesten Evolutionsbiologen, hat bereits im frühen 20. Jahrhundert darauf aufmerksam gemacht, dass die Fähigkeit eines Organismus zu überleben direkt von der genetischen Varianz abhängig ist. Mit zunehmendem Grad der genetischen Anpasstheit einer Population wird die genetische Varianz derselben kleiner (Abbildung 4). Auf Waldbäume übertragen bedeutet dies, dass die genetische Anpassfähigkeit von autochthonen Populationen an der Verbreitungsgrenze (Hochlagen, extreme Standorte) geringer sein wird als in autochthonen Populationen, die unter optimalen Wuchsbedingungen aufwachsen. Eine wichtige Schlussfolgerung daraus: Das Risiko ist angesichts eines Klimawandels an den Arealgrenzen aus genetischer Sicht erhöht, selbst wenn bekannt ist, dass diese Bestände autochthon sind. Zumindest für Fichte sind aufgrund molekularer Untersuchungen österreichweit Aussagen über die Autochthonie einzelner Bestände möglich.

Richtung und Ausmaß des Klimawandels können für die einzelnen Regionen Österreichs nicht sicher vorhergesagt werden. Daher können die hier vorgeschlagenen Maßnahmen zur Stabilisierung der Waldbestände nur pragmatisch sein.

### Naturverjüngung

Wenn sich Bestände natürlich verjüngen können, ist dies ein Anzeichen dafür, dass es der Population aus evolutionärer Sicht gut geht. Entscheidend ist, dass nicht nur das Auflaufen der Verjüngung beurteilt wird. Im Extremfall kann auch eine großflächig aufkommende Naturverjüngung nur von einem Baum abstammen und ist daher genetisch stark eingengt. Aus genetischer Sicht ist es daher vorteilhaft, wenn die genetische Information des Altbestandes umfassend an die nächste Generation weitergegeben wird. Der meist unvermeidbare Polleneinflug aus Nachbarbeständen sollte nicht negativ sein, das heißt die Nachbarbestände sollten vital und qualitativ hochwertig sein. Eine Naturverjüngung in schlecht veranlagten Ausgangsbeständen verursacht zwar geringe Kosten, aber auch hohe Pflegemaßnahmen. Nur im Ausnahmefall wird das wünschenswerte Produkt (hochqualitative Holzproduktion bei hoher Bestandessicherheit) erreicht werden

können. Folgende Punkte sind zu prüfen:

1. Abklärung der Autochthonie mittels molekularer Untersuchungen (bisher nur bei Fichte möglich).
2. Naturverjüngung ausschließlich von Überhältern vermeiden oder zumindest mit Kunstverjüngung ergänzen.
3. Falls es das waldbauliche Verfahren ermöglicht, sollten Bäume unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher sozialer Stellung zur Verjüngung beitragen können.
4. Nach Möglichkeit sollten Verjüngungszeiträume eher lang als kurz sein.
5. Pollen- und Samenflug ist wünschenswert, wenn die Nachbarbestände naturverjüngungswürdig sind.

## Kunstverjüngung

Die richtige Herkunftswahl hat einen entscheidenden Einfluss auf künstlich verjüngte Bestände.

1. Die für den Anbauort geeignete Herkunft bzw. Herkünfte klären, gegebenenfalls unter Beratung durch geeignete Institutionen. Forstliches Vermehrungsgut aus dem Ausland kann passen; es sollte aber nicht der meist günstigere Preis ausschlaggebend sein.
2. Aus genetischer Sicht ist Saat grundsätzlich besser als Pflanzung, da für spätere natürliche und künstliche Ausleseprozesse hohe Pflanzenanzahlen zur Verfügung stehen.
3. Saatgut von möglichst vielen Saatgutbäumen gewinnen; nach Möglichkeit die Zusatzbezeichnung „erhöhte genetische Vielfalt“ bei Saat- und Pflanzgut beachten.
4. Saat- bzw. Pflanzgut aus mehreren Beerntungen mischen.
5. Mosaikartige Kunstverjüngung („Patchwork“-Pflanzung) durchführen, das heißt beispielsweise abteilungsweise Aufforstungen mit Vermehrungsgut

aus unterschiedlichen Höhenstufen verwenden. Wichtig ist aber, dass unbedingt die genauen Angaben über das Vermehrungsgut (Seehöhe, Ort des Saatgutbestandes) in den Operaten festgehalten werden.

## Schlussfolgerungen

Neben anderen Maßnahmen (wie erhöhter Waldhygiene) kann die Genetik zur Steigerung der Stabilität der Waldbestände beitragen. Die Art und Weise der Verjüngung und die Wahl des forstlichen Vermehrungsgutes (Herkunft, Beerntungsmodus, Anzuchtbedingungen) stellen wichtige Schritte dar, welche die genetische Vielfalt der Bestände steuern und damit die genetische Angepasstheit und die Anpassungsfähigkeit beeinflussen. Ein erhöhtes Bewusstsein des Forstpraktikers über die zu verwendenden Baumrassen bzw. Herkünfte sind dazu unbedingt notwendig. Vereinfachend kann festgehalten werden, dass für eine Baumart eine hohe genetische Vielfalt gepaart mit einem hohen Vermögen der Pollen- und Samenverbereitung das Anbauisiko aus genetischer Sicht mindert.

Univ.-Doz. Dr. Thomas Geburek,  
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald,  
Naturgefahren und Landschaft,  
Institut für Genetik,  
Hauptstraße 7, 1140 Wien,  
E-Mail: thomas.geburek@bfw.gv.at

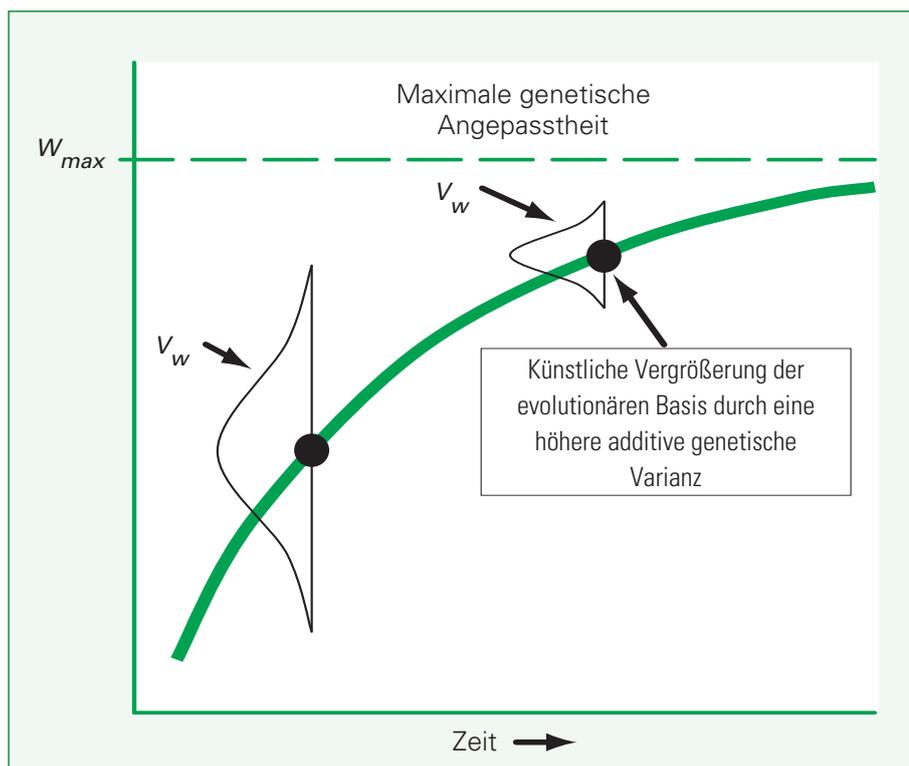
## Literatur

Fisher, R. A. (1930): The Genetical Theory of Natural Selection (Dover, New York).

Mátyás, Cs. (1981): Phenological variability of east European Scots pine provenances. Erdeszeti Kutat., Budapest, 74: 71-80

Rehfeldt, G.E.; Wykoff, W.R.; Ying, Ch.C. (2001): Physiological plasticity, evolution, and impacts of a changing climate on *Pinus contorta*. Climatic Chance 50: 355-376.

Persson, B. (1998): Will climate change affect the optimal choice of *Pinus sylvestris* provenances? Silva Fennica 32: 121- 128.



**Abbildung 4:**  
Mit zunehmender genetischer Angepasstheit einer Population verringert sich deren evolutionäre Basis (= additiv genetische Varianz).

# Klimaänderung – Schadorganismen bedrohen unsere Wälder

Hannes KREHAN und Gottfried STEYRER

**Begünstigt durch den Klimawandel wandern Schadorganismen, die sich bisher nicht etablieren konnten, aus wärmeren Gebieten nach Österreich ein. Darüber hinaus werden Forst- und Holzschädlinge durch den weltweiten Handel mit Verpackungsholz eingeschleppt, die sich im Falle unzureichender phytosanitärer Bekämpfungsmaßnahmen weiter ausbreiten können. Neue Schadorganismen können heimische Arten im Zuge des Konkurrenzkampfes verdrängen, sie können aber auch zur Bedrohung und Ausrottung von Wirtspflanzen führen, solange nicht entsprechende Räuber oder Parasiten wirkungsvoll eingreifen.**



Foto: BFW, Florian Winter

Die Prognosen gehen meist von einer Klimaerwärmung in Mitteleuropa aus. Unter dieser Prämisse können folgende Risikoszenarien in Zusammenhang mit der Ausbreitung und Vermehrung von Forstschädlingen abgeleitet werden:

- Die Klimaerwärmung beschleunigt die „natürliche“ Ausbreitung (Einwanderung) von Schadorganismen in Richtung Norden.
- Eingeschleppte Schadorganismen, die bisher bei uns nicht überlebt hätten, können sich nun ausbreiten und etablieren.
- Aufgrund ungenügender phytosanitärer Kontroll- und Bekämpfungsmaßnahmen etablierten sich eingeschleppte Quarantäneschadorganismen in Nachbarländern und breiten sich aus. Fehlende klimatische „Barrieren“ begünstigen die Ausbreitung auch nach Österreich.
- Die Borkenkäfergradationen sind nicht mehr ausschließlich ein Problem für sekundäre Nadelwälder der Tieflagen, sondern gefährden nun auch Hochlagenbestände.

## **Arealerweiterung mediterraner Schadorganismen**

Als Beispiele für die in den letzten Jahren erfolgte „natürliche“ Ausbreitung (Arealerweiterung) von mediterranen Schadorganismen nach Österreich können folgende Schädlinge genannt werden:

- **Japanischer Eichen-Seidenspinner (*Antheraea yamamai*):** Dieser wunderschöne Großschmetterling (Abbildung 1) wurde in Laubwäldern an Eichen im südöstlichen Österreich (Steiermark, Burgenland, Kärnten) entdeckt. Der Schädling stammt aus dem Fernen Osten (Amurgebiet bis Südchina und Japan). Er wurde nach Europa zur Seidengewinnung importiert und besiedelte bereits vor 100 Jahren ein kleines Sekundärareal in mediterranen Ländern. Seine Wirtsbäume in Europa sind Eichen und möglicherweise auch Kastanien. Die grünen Raupen

**Abbildung 1:**  
**Japanischer Eichen-Seidenspinner *Antheraea yamamai***

verursachten bisher keine ausgeprägten Schäden an den Blättern von Eichen.

- **Malvenwanze auf Linden (*Oxycarenus lavatae*):** Die submediterrane Art aus Südeuropa gehört zu den Bodenwanzen, sie saugt dort an Malvengewächsen, bei uns kommt sie in Massen an den Stämmen von Linden vor. Sie kann ihr Areal wegen höheren Temperatursummen ausweiten. In Österreich ist sie bisher im Burgenland, Steiermark, Niederösterreich und Wien entdeckt worden. Ihre physiologische Wirkung auf die Wirtspflanzen ist in den Einwanderungsgebieten noch nicht genau erforscht worden.

## **Schädlinge kurz vor der Ausbreitung nach Österreich**

- **Kiefern-Prozessionsspinner (*Thaumetopoea pityocampa*):** Diese Schmetterlingsart ist ein häufiger Schädling an Kiefern im Mittelmeergebiet. In Mitteleuropa tritt er gelegentlich auf, richtete aber bisher aufgrund ungünstiger Winter-Temperaturverhältnisse kaum Schäden an. Die Ausbreitung im benachbarten Südtirol, Slowenien und im Wallis in der Schweiz ist primär auf den Anstieg der Wintertemperaturen zurückzuführen. Die maximale Frosttoleranz liegt bei 15°C (durchschnittlich bei: -8°C). Damit Larven im Winter fressen können, müssen Perioden mit Tagestemperaturen über 9°C und die Nachttemperaturen über 0°C während der Winterperiode vorkommen. Die Raupen überwintern in den Nestern (Kälteschutz) und wandern im Frühjahr in Form einer „Prozession“ von den Bäumen, um sich im Boden zu verpuppen (Abbildung 2). Nach einer Puppenruhe, die wenige Monate bis vier Jahre dauern kann, schlüpfen die Falter. Im Sommer erfolgen die Paarung und danach die Eiablage an der



Foto: BFW, Hans Hauer

**Abbildung 2:**  
Nest des Kiefern-Prozessionsspinners *Thaumetopoea pityocampa*

Basis von Kiefernadeln. Etwa einen Monat später schlüpfen die Raupen, häuten sich zweimal und beginnen mit der Anlage des Winternestes. Dieser Schädling ist ähnlich wie der Eichen-Prozessionsspinner wegen der Gifthärchen der Raupen, die zu allergischen Reaktionen führen können, äußerst unangenehm für Menschen.

- **Mediterrane Waldgärtnerart *Tomicus destruens*:** Diese Borkenkäferart ist nahe verwandt mit dem Großen Waldgärtner (*T. piniperda*). Die Unterscheidung ist nur von Spezialisten anhand der Anzahl der Haarreihen zwischen zweiter und dritter Naht der Fühlerkeulen möglich. *T. destruens* ist die vorherrschende Art in mediterranen Ländern (Spanien, Südfrankreich, Portugal, Italien). Temperatur und



Foto: BFW, Institut für Waldschutz

**Abbildung 3:**  
Asiatischer Laubholzbockkäfer *Anoplophora glabripennis*

Feuchtigkeit sind bisher die begrenzenden Faktoren für die Verbreitung gewesen.

In Italien gilt er als gefährlichster Kiefern-schädling, in Spanien kommt er auf verschiedenen Pinus-Arten vor, im Gegensatz zum Großen Waldgärtner vor allem in den trockeneren Gebieten. Ein wesentlicher Unterschied zu unseren Waldgärtner-Arten ist die Hauptflugzeit der Käfer im Herbst. Es gibt bereits erste Berichte über das Auftreten von *T. destruens* in Kroatien an der Aleppo-Kiefer als Folge der extremen Sommertrockenheit und Hitze im Jahr 2003.

- **Asiatische Laubholzbockkäfer:** Seit Beginn dieses Jahrtausends sind in verschiedenen Orten Europas Befallsflächen zweier gefährlicher asiatischer Bockkäferarten (Abbildung 3) (*Anoplophora glabripennis* = ALB & *A. chinensis* = CLB) entdeckt worden. In diesen Gebieten wurden im Umkreis von Handelsfirmen oder Gärtnereien, die Waren mit Verpackungsholz oder Bonsaipflanzen aus China bezogen haben, verschiedene Laubbaumarten von diesen Quarantäneschädlingen attackiert. Diese Bockkäferarten sind an unsere klimatischen Bedingungen bestens angepasst und finden hier, da sie als äußerst polyphag eingestuft sind, eine breite Anzahl von Wirtsbäumen vor.

Besonders kritisch ist die Befallssituation in den 16 Provinzen von Mailand, das Befallsgebiet umfasst bereits mehr als 60 km<sup>2</sup>. Die Bekämpfungsmaßnahmen

**Tabelle 1: Offiziell gemeldete Befallsgebiete von *Anoplophora*-Arten in Europa**

Befallsgebiet	Art	Befall bekannt seit	Anzahl der befallenen Bäume	Befallsstatus
Parabiago (Mailand) Italien	CLB	2000	ca. 3000	Schädling breitet sich rasant aus
Braunau OÖ Österreich	ALB	2001	100	Noch nicht vollständig ausgerottet
Soyons Süd-Ost-Frankreich	CLB	2003	ca. 20	Erfolgreich bekämpft
Giens Frankreich	ALB	2003	42	Tendenz fallend
Ste Anne/Brivet Frankreich	ALB	2004	54	Tendenz fallend
Neunkirchen/Inn Deutschland	ALB	2004	ca. 40	Tendenz steigend
Bornheim bei Bonn Deutschland	ALB	2005	ca. 20	Bekämpfungsmaßnahmen wurden rasch eingeleitet

- Fällen und Verbrennen von sichtbar befallenen Bäumen,
  - Ausgraben und thermisches Vernichten von Wurzelstöcken,
  - Anbringen von Folien im Bereich des Baumkreises zur Verhinderung des Ausschlüpfens der Käfer aus den Wurzeln
  - sowie die Anwendung von Pestiziden
- können bei diesem Befallsausmaß nur mehr mit sehr großem Aufwand erfolgreich angewendet werden. Aufgrund der Nähe zu Österreich und der Schweiz besteht große Gefahr, dass sich der Bockkäfer auch in diesen Ländern etabliert. Da der Schädling in Italien bereits bei 24 verschiedenen Baum- und Straucharten entdeckt wurde, ist davon auszugehen, dass in Europa praktisch alle Laubbaumarten potenziell gefährdet sind.

### Borkenkäferproblematik

Die zwei wesentlichen Ursachen für die derzeitige Borkenkäfermassenvermehrung in verschiedenen Regionen Österreichs sind die Folgen des Föhnsturms in den Alpen im November 2002 und die Rekordhitze im Sommer 2003. Man kann also in beiden Fällen davon ausgehen, dass klimatische bzw. witterungsbedingte Einflussfaktoren zu der erneuten Explosion der Käferpopulationen geführt haben. Die Vergangenheit hat auch gezeigt, dass extreme Witterungsereignisse wie Sturm, Hitze- und Dürreperioden und auch Lawinen die Initialzündung für die Käfermassenvermehrung sind. Für den weiteren Verlauf der Gradationen, der Eskalation der Schäden, bedarf es dann jedoch keiner anormalen Klimabedingungen mehr.



Foto: BFW, Institut für Waldschutz

**Abbildung 4:**  
**Borkenkäfer-Kalamität nach dem Windwurf 2003**

Die Borkenkäfer-Schadholzmengen der letzten Jahre zeigen auch, dass in den Sturmschadensgebieten die Borkenkäferschäden weiter ansteigen (Abbildung 4), während in den Gebieten, wo „nur“ die Sommerhitze des Jahres 2003 zu intensiven Borkenkäferbefall geführt hat und anschließend intensive Bekämpfungsmaßnahmen eingeleitet werden konnten, die Schäden wieder zurückgingen.

Im Zusammenhang mit einer möglichen Klimaänderung werden häufig folgende Fragen gestellt:

#### 1. Werden aufgrund höherer Temperatur in den Hochlagen mehrere Generation pro Jahr gebildet?

Die Ergebnisse des Borkenkäfer-Monitorings (<http://bfw.ac.at/400/2168.html>) deuten beim Buchdrucker derzeit nicht darauf hin. Es kommt zwar zum Käferflug, jedoch zu keiner Anlage von Brutn bzw. zu keiner fertigen Entwicklung. Ab einer bestimmten Tageslänge (Kurztage) werden keine weiteren Brutanlagen gebildet, auch wenn die Temperaturverhältnisse dazu geeignet wären. Eine genetische Anpassung ist noch nicht erfolgt. Möglicherweise werden in den Fallen der Hochlagen auch Käfer aus den Tieflagen gefangen, die durch thermisch bedingte Aufwinde verbreitet wurden.

#### 2. Hat sich das Flugverhalten der Käfer in den Hochlagen geändert?

Der erste Schwärmhöhepunkt war bei Buchdrucker und Lärchenborkenkäfer auch in den Hochlagen bereits in der ersten Maiwoche. Es konnten also keine großen Unterschiede zu den Tieflagen-Käfern bemerkt werden. Beim Kupferstecher setzte der Flug meist später ein.

#### 3. Wird sich das Artenspektrum in den Hochlagen ändern, wodurch neue Lebensräume besiedelt werden?

Die Arealausdehnung nach oben ist schon seit einiger Zeit beobachtet worden. Borkenkäfer-Massenvermehrungen sind in den Hochlagen jedoch höchst ungewohnt. Der Buchdrucker kommt in Höhenlagen vor, die bisher vom Zirbenborkenkäfer besiedelt wurden, und verdrängt diesen in den Bereich der Wald- und Baumgrenze. Möglicherweise werden auch neue Arten, wie der Nordische Fichtenborkenkäfer *Ips duplicatus*, auch im alpinen Bereich bedeutender.

### Resümee

- Eine Klimaerwärmung wird einen wesentlichen Einfluss auf das Wirt-Parasit-Verhältnis haben. Neben Änderungen des Schädlingsspektrums und deren Aggressivität werden auch die Wirtspflanzen Veränderungen ausgesetzt sein. Sowohl Steigerungen aber auch Hemmungen der Effekte sind möglich.
- Schäden im Wald durch Insekten und bestimmte Pilzarten werden zunehmen. Damit werden vor allem in schwierig zugänglichen Hochlagenbeständen mit übergeordneter Schutzwaldfunktion existenzielle Probleme auftreten.
- Neue Schädlinge und Krankheiten werden sich leichter etablieren können, weil sie aufgrund der klimatischen Veränderungen günstigere Entwicklungs- und Überlebensbedingungen vorfinden und durch die Störung des ökologischen Gleichgewichtes die natürlichen Abwehrmechanismen nicht oder nur langsam wirksam werden.

Dipl.-Ing. Hannes Krehan  
Dipl.-Ing. Gottfried Steyrer  
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald,  
Naturgefahren und Landschaft, Institut für Waldschutz,  
Seckendorff-Gudent-Weg 8, 1131 Wien  
E-Mail: [hannes.krehan@bfw.gv.at](mailto:hannes.krehan@bfw.gv.at)  
E-Mail: [gottfried.steyrer@bfw.gv.at](mailto:gottfried.steyrer@bfw.gv.at)

# Wie wirkt das Klima auf das Wachstum von Fichtenbeständen?

Klemens SCHADAUER

**Das Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW) hat in den letzten 120 Jahren eine Vielzahl von Daten gesammelt, die auch Untersuchungen für die Zusammenhänge zwischen Klima und Bestandeswachstum erlauben. Nachfolgend werden Bonitätsuntersuchungen der Österreichischen Waldinventur (ÖWI) 1971/80 und 1986/90 analysiert, wobei für Fichte die meisten Daten vorhanden sind.**

Ertragstafeln sind bis heute aus der praktischen Forsteinrichtung und Wirtschaftsplanung nicht wegzudenken. Auch die ÖWI hat auf ihren Probestflächen, wo dies möglich war, die Bonität der jeweiligen Hauptbaumart erhoben. Dies war jedoch unter streng gefassten Einschränkungen für die Anwendung von Ertragstafeln (gleichaltrige Reinbestände) gar nicht so oft der Fall. Der österreichische Wald ist offensichtlich ungleichaltriger und öfter mit Mischbeständen bestockt, als uns viele Vorurteile über die weit verbreiteten, schlagweise bewirtschafteten Fichten-Monokulturen glauben lassen. Die folgenden Untersuchungen beschränken sich genau auf diesen Waldtyp, der jedoch nur auf rund einem Viertel der gesamten Fläche vorkommt.

## Ertragstafelmodelle bei Umweltveränderungen nicht gut geeignet

Die Verwendung von Ertragstafeln zur Bestimmung der Bonität unterstellt immer gleich bleibende Umweltbe-

dingungen. Prognosen der Ertragstafeln sind primär auf einen bestimmten durchschnittlichen Gesamtzuwachs im Alter 100 (dGZ 100) ausgerichtet oder auf die bis dahin erreichte Oberhöhe des Bestandes (OH 100 wie in der Originaltafel Fichte Bayern). Diese Wachstumsprognosen gelten natürlich für die Umweltbedingungen, die zur Zeit des Wachstums der analysierten Bäume und Bestände geherrscht haben (Ertragstafelbäume). Die Tafeln berücksichtigen keine Umweltänderungen. Noch komplizierter wird die Betrachtung, wenn man annimmt, dass sich die Umweltbedingungen bereits in jenem Zeitraum laufend verändert haben, in denen die Ertragstafelbäume gewachsen sind.

## Auch Klimawerte müssen modelliert werden

Da sich nicht neben jeder Probestfläche der ÖWI eine Klimastation befindet, die Temperatur und Niederschlag misst, müssen Werte von Referenzstationen nahe gelegener Klimastationen herangezogen und auf die Probestflächen der ÖWI „transferiert“ werden. Diese Übertragung wird durch so genannte Regionalisierungsmodelle bewerkstelligt. Das Ergebnis liefert dann zum Beispiel für jede Probestfläche der ÖWI die Temperatur- und Niederschlagssumme für die Vegetationszeit. Diese Modelle sind auf Durchschnittswerte der Jahre 1960 bis 1990 ausgerichtet, sie sind also Mittelwerte für einen längeren Zeitraum. Für die Temperatur sind solche Modelle relativ einfach, sie berücksichtigen je nach Region unterschiedliche Temperaturabnahmen mit der Seehöhe. Die Nieder-

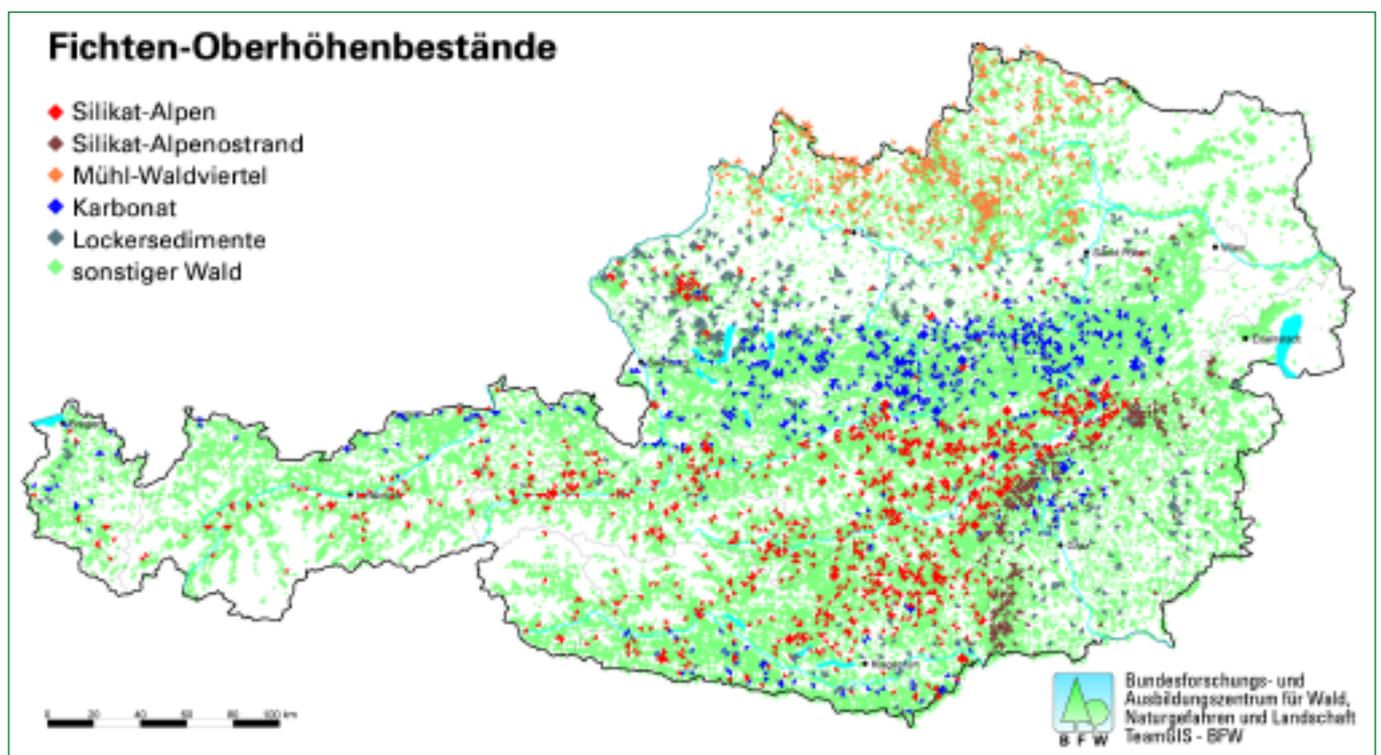


Abbildung 1: Für die Modellierung wurden die Fichtenreinbestände in fünf Straten geteilt

schläge sind bei weitem nicht so gut in den Griff zu bekommen, auch wenn die Modelle dafür komplizierter gestaltet wurden.

### Standort, Klima und Ertrag der Fichte

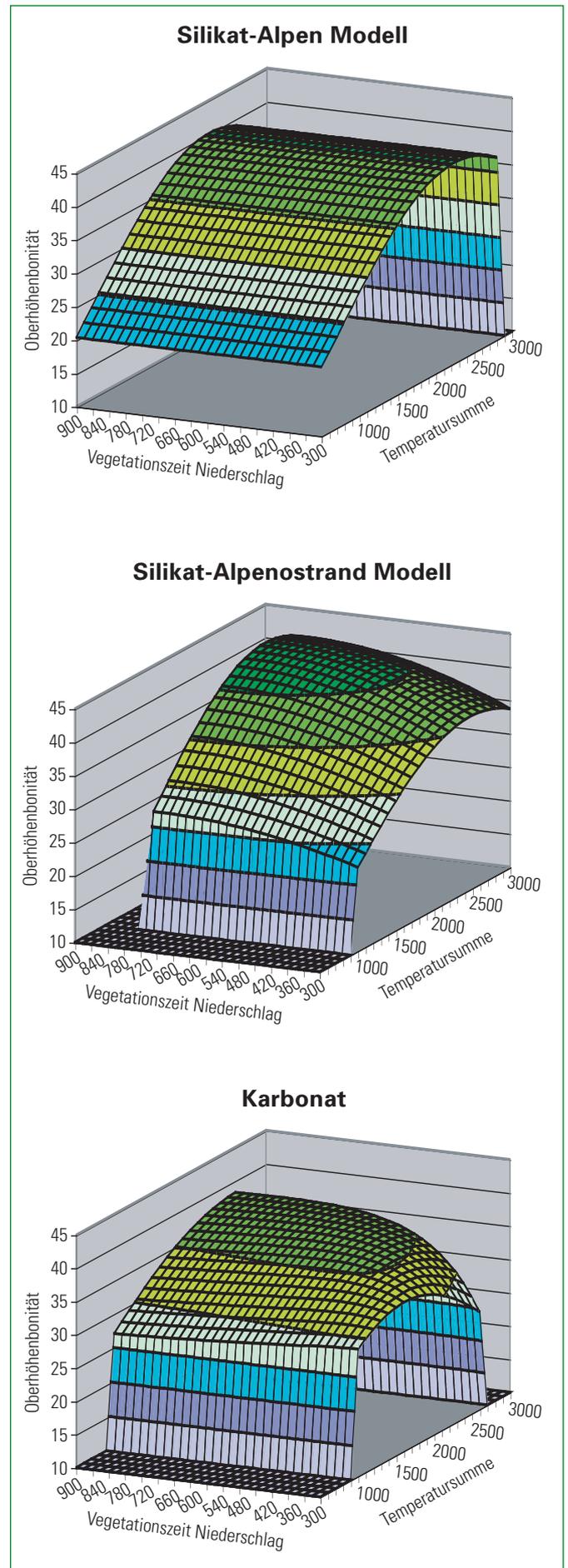
Auf den Probeflächen, wo Fichte bonitiert worden ist, wurde die Bonität in Beziehung zum Standort und zum Klima gesetzt und dies in einem Modell abgebildet. Das bedeutet, dass man mit Hilfe dieses Modells für jeden Standort und für jedes Klima die Fichtenbonität ermitteln kann, ohne direkt eine Ertragstafel verwenden zu müssen. Interessant für diese Arbeit ist aber nicht so sehr die Art und Weise, wie der Standort in diesem Modell vertreten ist. Vielmehr geht es hier darum, wie sich Temperatur und Niederschlag auf die Bonität der Fichte auswirken. Während der Arbeit an dieser Frage hat sich herausgestellt, dass diese Beziehungen für ganz Österreich nicht einheitlich sind. Daher wurde das Datenmaterial geteilt, um die Zusammenhänge für die einzelnen Teile getrennt zu erforschen. Als Trennungskriterien wurde einerseits die Geologie herangezogen, andererseits wurden klimatische Großräume unterschieden. Damit ergaben sich fünf Straten: Silikat-Alpen, Silikat-Alpenostrand, Mühl-/Waldviertel, Karbonat und Lockersedimente (siehe Österreichkarte, Abbildung 1), für die jeweils ein spezielles Modell erstellt wurde.

Um die Auswirkung der Klimafaktoren auf die Fichtenbonität darzustellen, wurden alle Standortfaktoren wie etwa Bodentyp, Vegetation und Hangneigung im jeweiligen Modell konstant gehalten, um damit den Einfluss des Klimas für sich sichtbar zu machen. Das bedeutet jedoch nicht, dass die genannten Standortfaktoren nicht prominent in den Modellen enthalten sind, sie werden dabei nur aus der Betrachtung ausgeblendet, um den Blick auf das Klima zu schärfen.

Aus modelltheoretischen Überlegungen wurde statt der in Österreich üblichen dGZ-Bonität im Alter 100 die Oberhöhenbonität im Alter 80 gewählt. Dies hat jedoch auf die wesentlichen Zusammenhänge kaum Einfluss. Die folgenden Aussagen gelten daher in gleicher Weise für dGZ-Bonitäten. In den Abbildungen 2-4 sind beispielhaft für drei Straten (Silikat-Alpen, Silikat-Alpenostrand und Karbonat) die mit den Modellen geschätzten Bonitäten über der Vegetationszeittemperatur und dem Niederschlag aufgetragen. In den einzelnen Grafiken sind jeweils rechts hinten hohe Temperaturen bei geringen Niederschlägen, also aride Bedingungen, zu finden. Links vorne herrschen feucht-kühle Verhältnisse mit niedrigen Temperatursummen und hohen Niederschlägen.

### Wesentlich ist die Temperatur

Das Modell **Silikat-Alpen** ist das einfachste: Die Modelloberfläche krümmt sich nur über der Temperaturachse. Über dem Niederschlag verändert sich die Bonität hingegen nicht (Abbildung 2-4, oben). Interessant ist, dass die Bonität über der Temperatursumme ein Maximum aufweist. Ab einer gewissen Wärmesumme nimmt die Bonität nicht mehr zu, sondern sie sinkt im Gegenteil ab. Das ist zunächst erstaunlich und nicht einfach zu erklären. Ein wichtiger Erklärungsversuch ist indirekt mit dem Niederschlag verbunden. Bei hohen Temperatursummen treten längere Trockenperioden



**Abbildung 2-4:** Temperatur und Niederschlag wirken sich in den verschiedenen Straten unterschiedlich auf die Fichtenbonität aus

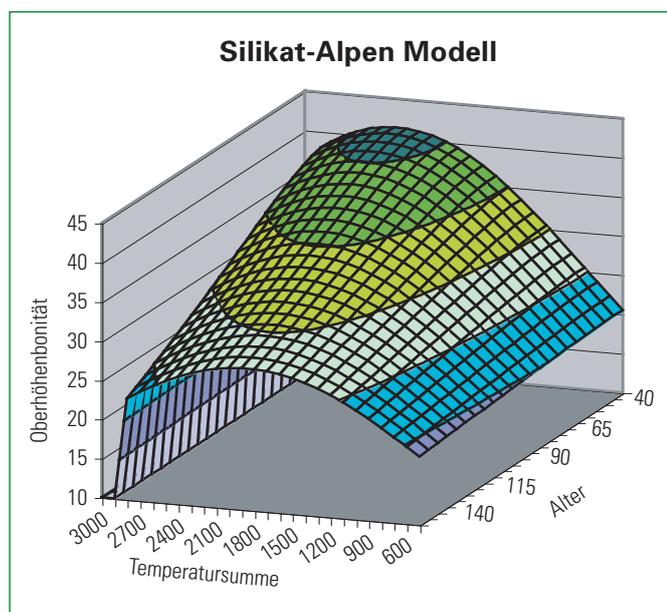
auf, die sich auf das Wachstum offensichtlich negativ auswirken. In Durchschnittswerten für die Niederschlagssumme sind solche Trockenperioden nicht abgebildet.

Im **Silikat am Alpenstrand** zeigen die Bonitäten jedoch eine Abhängigkeit von der Niederschlagssumme. Die Modellflächen sind auch über der Niederschlagsachse gekrümmt (Abbildung 2-4, Mitte). Diese Krümmung ist aber deutlich geringer ausgeprägt als über der Temperatur. Der Niederschlag verursacht eine Änderung der Oberhöhenbonität von maximal 8 m, während das Temperaturspektrum Änderungen bis zu 20 m bewirken kann. Wichtiges Detail: Gegen die obere Waldgrenze ist bei sehr kurzen Vegetationszeiten das Höhenwachstum der Fichte mit wenigen Zentimetern pro Jahr äußerst gering. Diese Gebiete sind aber im Modell nicht erfasst, weil dort keine gleichaltrigen Fichtenreinbestände vorkommen. Die Bonitäten wären dort extrem niedrig.

Wieder anders sehen die Zusammenhänge auf **Karbonat** aus. Hier ist zwar die Modelloberfläche über der Temperatursumme gekrümmt, jedoch nur in Bereichen mit geringer Niederschlagssumme (Abbildung 2-4 unten). Die Bonitäten nehmen nach einer leichten Steigerung mit zunehmender Temperatursumme sehr rasch wieder ab. Dies ist vor allem durch die im Karbonat häufig vorkommenden Böden wie Rendzinen mit geringer Wasserhaltespeicherkapazität verursacht. Steigt jedoch die Niederschlagssumme, so fallen die Bonitäten mit zunehmender Temperatur nicht mehr ab, weil die mehr oder minder regelmäßige Wasserversorgung besser gewährleistet ist.

### Die „Wirklichkeit“ ist noch viel komplizierter

Die angewandten multivariaten Modelle können jedoch nicht so einfach interpretiert werden. In den Modellen steckt neben den Klimafaktoren auch noch eine Reihe von Standortparametern. Die Feuchtigkeitsverhältnisse gehen auch über die kleinräumige Variation, die sich



**Abbildung 5:**  
Das Bestandesalter hat auf die Fichtenbonität einen starken Einfluss

dann indirekt in den Standortswisern zeigt, in die Modelle mit ein. Beispiele dafür sind der mäßig frische Vegetationstyp, der zu einer niedrigeren Bonität führt, oder eine Unterhangsituation, die die Bonität entsprechend anhebt. Regionalisierungsmodelle für den Niederschlag können solche kleinräumigen Unterschiede nicht abdecken. Großräumig betrachtet gilt jedoch trotz allem, dass der Einfluss mittlerer Niederschlagssummen nur zweitrangig ist. Primär beeinflusst die Temperatursumme während der Vegetationszeit die Bonität.

### Fundierte Prognosen derzeit nicht möglich

Wie bereits anfangs erwähnt, sind Ertragstafelprognosen bei laufend verändernden Umweltbedingungen nur eingeschränkt gültig. Das hat sich auch in dieser Arbeit bestätigt. Neben den bereits genannten Einflussfaktoren auf die Bonität wurde auch das Alter der Bestände in den Modellen analysiert. Es zeigte sich, der Einfluss des Alters ist markant (Abbildung 5): Bei einer Temperatursumme, die maximale Bonitäten erlaubt, verändert sich die Bonität über dem Alter um bis zu 15 m bei gleichbleibendem Standort oder Klima. Eine gute Interpretation dieses Phänomens ist nicht ganz einfach. Der gefundene Zusammenhang kann nur erklärt werden, wenn sich das Wachstum der Oberhöhe jener Bestände, die bei der ÖWI aufgenommen wurden, vom Wachstum der Bestände, die für die Entwicklung der Ertragstafeln verwendet wurden, unterscheidet. Einfach ausgedrückt: Die Ertragstafeln passen nicht. Da das Wachstum neben genetischen Einflüssen im Wesentlichen von der Umwelt gesteuert wird, muss es Umweltveränderungen gegeben haben, so ferne man eine kontinuierliche genetische Veränderung ausschließen kann. Es gibt zahlreiche Indizien für so laufende Wachstumsveränderung in ganz Europa, sodass diese Veränderungen als Tatsache anzusehen sind.

### Suche nach neuen Werkzeugen für Wachstumsmodellierung

Leider können wir den deutlichen Zusammenhang zwischen Alter und Bonität der Fichte nicht ohne weiteres für Wachstumsprognosen verwenden. Wir würden uns am eigenen Zopf aus dem Sumpf ziehen, wenn wir Ertragstafeln einsetzen, die konstante Bedingungen im Laufe der Zeit voraussetzen, um dann mit dem Beweis, dass diese Voraussetzung eben nicht erfüllt ist, auch noch Prognosen zu wagen. Am BFW versuchen wir derzeit, andere Werkzeuge für die Wachstumsmodellierung einzusetzen, die in Zukunft besser fundierte Prognosen erlauben sollten.

Die hier beschriebene Arbeit stammt aus Teilen einer Dissertation, die am Institut für Waldwachstumsforschung der BOKU durchgeführt wurde. Ein Dankeschön an Univ.-Prof. Dr. Hubert Sterba, der diese Arbeit mit umfassender Sachkenntnis und Umsicht betreut hat.

Dipl.-Ing. Dr. Klemens Schadauer,  
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald,  
Naturgefahren und Landschaft, Institut für Waldinventur  
Seckendorff-Gudent-Weg 8, 1131 Wien  
E-Mail: klemens.schadauer@bfw.gv.at

# Wie reagieren die Bäume auf Temperatur und Niederschlag?

Markus NEUMANN

Das Wachstum der Bäume ist einerseits ihre wesentliche Lebensäußerung, andererseits die wirtschaftliche Grundlage der Forstwirtschaft und der Holzindustrie. Die Untersuchung der Zuwachsleistung stand daher seit Beginn der forstlichen Forschung im Mittelpunkt des Interesses. Im Laufe der letzten 150 Jahre wurden dazu verschiedene Methoden und Instrumente entwickelt. Moderne Technik ermöglicht heute dauerregistrierende Messungen, die laufend per Funk an das BFW gesendet werden.



Foto: Markus Neumann

In der Waldwachstumsforschung werden Einzelbäume und Bestände anhand von Versuchsreihen periodisch gemessen und daraus mittlere Zuwächse abgeleitet. Darüber hinaus werden auch die Wuchsleistung für längere Abschnitte oder die gesamte Umtriebszeit bestimmt. Zur Untersuchung der jährlichen Zuwachsleistung sind diese periodischen Aufnahmen mangels feinerer zeitlicher Auflösung jedoch kaum geeignet. Die Aufnahmegenaugigkeit ist oft geringer als der zu erwartende Zuwachs. Diese Lücke kann durch die Analyse der jährlichen Zuwächse an Bohrkernen und Stammscheiben relativ leicht geschlossen werden. Eine noch feinere zeitliche Auflösung ermöglichen fix angebrachte Umfangmaßbänder, die auch mit automatischen Aufzeichnungsvorrichtungen kombiniert sein können (Abbildung 1).

**Abbildung 1:** Die Messgenauigkeit der Dendrometer ist leider durch äußere Einflüsse teilweise beeinflusst.

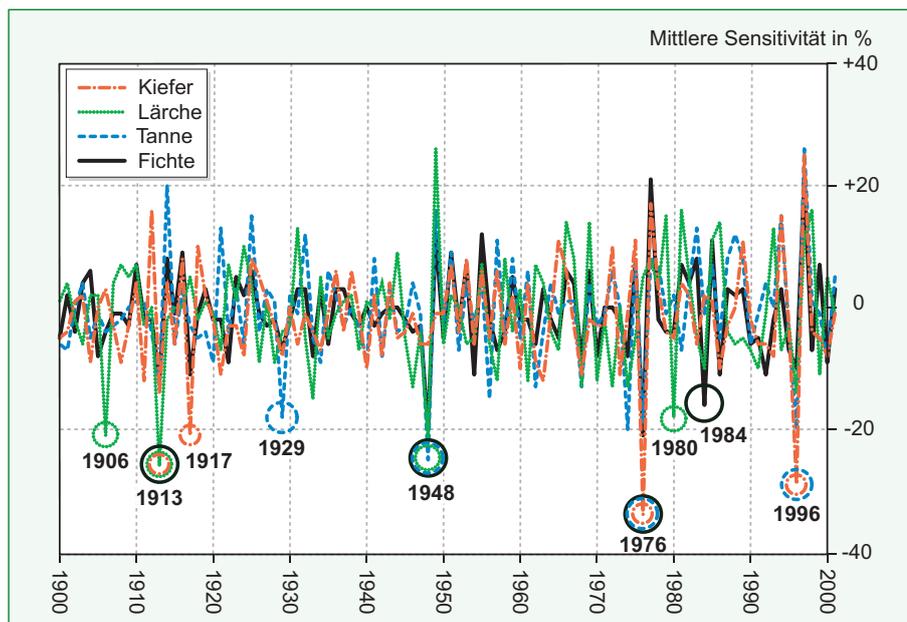
## Analyse der Jahrringe

Der längerfristig mittlere Zuwachs der einzelnen Bäume wird im Wesentlichen durch Genetik, Konkurrenz und Bestandesbehandlung, dem Standort und dem Klima gesteuert. Die kurzfristige Variation des Zuwachses von Jahr zu Jahr ist hingegen überwiegend durch die Witterung beeinflusst und kann durch biotische Schadeinflüsse reduziert werden. Auch durch Samenjahre ist eine merkbare Reduktion der Zuwachsleistung möglich. Im Zuge der periodischen Erhebungsarbeiten der Österreichischen Waldinventur wurden in den letzten Jahrzehnten Bohrkern gewonnen, deren Auswertung eine repräsentative Information über die jährliche Variation

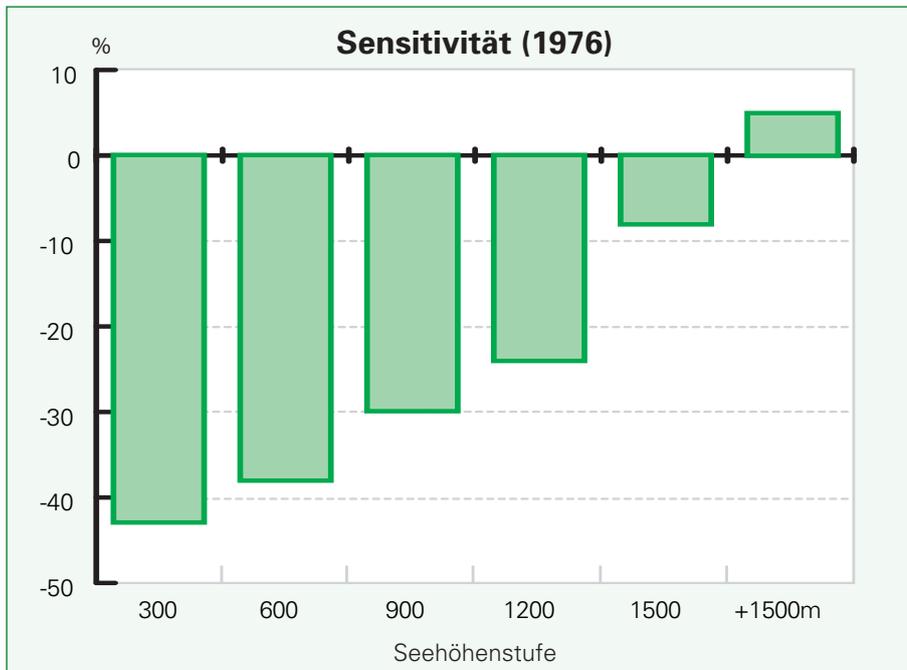
des Zuwachsverhaltens gibt und eine Beurteilung der längerfristigen Veränderung zulässt.

Werden Jahrringserien von vielen Bäumen verglichen, so zeigen einzelne Jahre eine gleichläufige Zu- oder Abnahme der Jahrringbreiten. Solche Jahrringmuster von positiven oder negativen „Weiserjahren“ entstehen, wenn der Holzzuwachs weniger von den individuellen Lebensumständen eines Baumes als mehr von der regional wirkenden Witterung geprägt wird. Einzelne Weiserjahre finden sich bei verschiedenen Baumarten und können einen überregionalen Witterungseinfluss auf das Baumwachstum belegen.

In Abbildung 2 sind die Jahre 1913, 1948 und 1976 Beispiele für negative Weiserjahre, die bei mehreren Baumarten festgestellt werden konnten. Das Jahr 1976 war durch



**Abbildung 2:** Die Analysen der im Rahmen der ÖWI gewonnenen Bohrkern zeigen Jahreschwankungen im Radialzuwachs, die markanten Abweichungen (Weiserjahre) zeigen witterungsbedingte Wachstumsreaktionen.



**Abbildung 3:**  
Auch in Weiserjahren ist die Reaktion nicht einheitlich, im Trockenjahr 1976 hatten Fichten in tieferen Lagen deutliche Zuwachseinbußen, hingegen Zugewinne in Lagen über 1500 m.



Foto: Maarkus Neumann

**Abbildung 4:**  
Mit elektronischen Dendrometern sind hochempfindliche Messungen der Umfangsänderungen in so kurzen Zeitintervallen möglich, dass nicht nur der Jahreszuwachs sondern auch das Quellen und Schwinden der Bäume im Tagesverlauf erkannt wird.

eine europaweite Trockenperiode im Übergangszeitraum vom Frühjahr zum Sommer gekennzeichnet, was zu einer deutlichen und in weiten Teilen Mitteleuropas auftretenden Zuwachsreduktion führte. Auch in einem so markanten Jahr wie 1976 waren jedoch keineswegs alle Bäume in gleichem Ausmaß betroffen (Abbildung 3): Deutlichen Reduktionen im Zuwachs in tieferen Lagen stehen leichte Zuwachszunahmen der höheren Lagen gegenüber. Offenbar profitierten die Bäume in der hochmontanen bis subalpinen Höhenstufe von den überdurchschnittlich hohen Temperaturen im Juni und Juli, während sich die Trockenperiode von Ende Mai bis Anfang Juli in diesen Regionen nicht auswirkte. Die Ursache war vermutlich die vom Winter noch verfügbare Bodenfeuchte, die Trockenstress verhinderte. In tieferen Lagen hatte die höhere Temperatur hingegen keinen positiven Effekt und die Trockenperiode fiel genau in

den Zeitraum des höchsten Wachstums und damit des größten Wasserbedarfs. Dieses Beispiel zeigt deutlich, dass Jahresdurchschnittswerte für derartige Analysen nicht aussagekräftig sind, vielmehr sind Tageswerte für eine gute Interpretation notwendig.

### Permanente Messungen

Der Wunsch nach zeitlich noch feiner aufgelösten Ergebnissen führte zur Entwicklung von permanent registrierenden Messinstrumenten zur Erfassung des Klimas und der Zuwachsreaktion. Im Rahmen des von der Europäischen Gemeinschaft kofinanzierten Programms „Forest Focus“ wurden 1998 auf zwei Dauerbeobachtungsflächen waldnahe Klimastationen eingerichtet und mit automatischen Registriereinrichtungen versehen. Im Jahr 2002 wurden dort in dem nahe gelegenen Beobachtungsbe-

stand an mehreren Bäumen permanente Umfangsmaßbänder (so genannte Dendrometer, Abbildung 4) zur automatischen Erfassung der Umfangveränderung installiert. Ergänzt wurden diese Messungen durch die Erfassung der Bodenfeuchte und -temperatur in mehreren Bodentiefen in unmittelbarer Nähe zu den mit Dendrometern ausgestatteten Bäumen.

Ergebnisse von zwei Probestellen, eine liegt auf 1600 m Seehöhe in der Nähe von Murau in der Steiermark (Abbildung 5), die andere im Wienerwald auf 450 - 500 m Seehöhe, werden folgend näher dargestellt. Sie umfassen die Analyse des unterschiedlichen Radialzuwachsverhaltens von Fichte und Buche in den vergangenen Jahren.

Vorerst eine kurze klimatische Beschreibung der vier Beobachtungsjahre (<http://www.zamg.ac.at>): 2002 war es in großen Teilen Österreichs generell sehr warm bei überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen. 2003 war allgemein überdurchschnittlich warm bei in großen Teilen Österreichs unterdurchschnittlichen Niederschlagsmengen. Das Jahr 2004 war bei unterschiedlichen Niederschlagsverhältnissen normal bis leicht übernormal temperiert. Auch 2005 wies unterschiedliche Niederschlagsverhältnisse auf und zeigte leicht unterdurchschnittliche Temperaturen. Diese Charakteristiken für das Jahr gelten auch für die Wachstumsperiode, extrem trocken und warm war nur das Jahr 2003, während 2002 zwar etwas wärmer als 2003 war, jedoch ausreichende Niederschläge aufwies. Im Jahr 2003 waren der Juni und der August extrem trocken, verschärft wurde die Situation durch ein ebenfalls sehr trockenes Frühjahr.

### Reaktionen der Buche

Erste Auswertungen der Dendrometermessungen (Abbildung 6) zeigen bei der Buche in diesen vier Jahren einen alljährlichen Beginn der Umfangzunahme

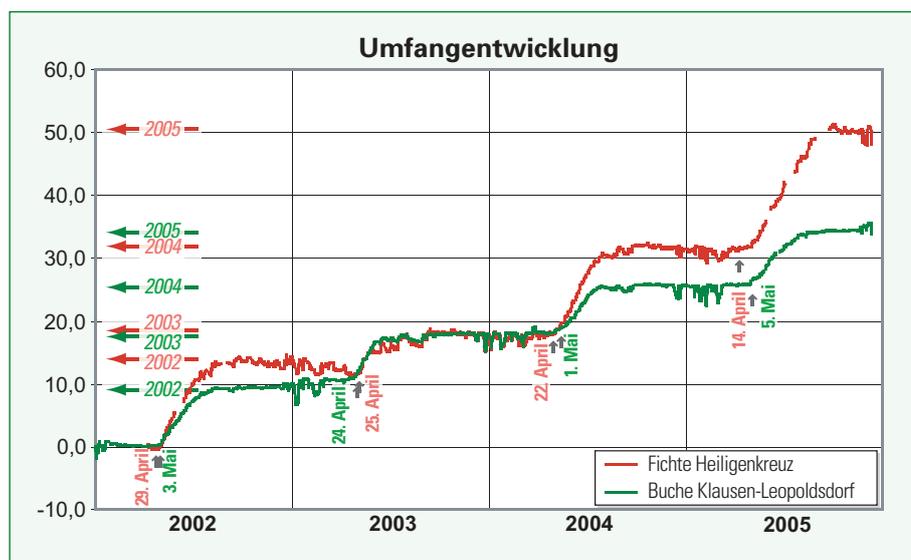


Foto: Karl Gartner

**Abbildung 5 a und b:**  
**Auf Intensivbeobachtungsflächen (hier bei Murau) konnten mit finanzieller Unterstützung der Europäischen Kommission im Rahmen von Forest Focus automatische registrierende Klimamessstationen eingerichtet werden.**

gegen Ende April bzw. Anfang Mai, darauf folgt eine ungefähr drei Monate dauernde Wachstumsperiode und gegen Mitte August ist der Radialzuwachs abgeschlossen. Je nach Niederschlägen und Bodenwasser-  
 verfügbarkeit zeigen sich Schwindungs- und Quellvorgänge im Hochsommer. Vor allem nach sommerlichen Regenfällen quellen die Stämme deutlich auf. Im

Herbst bleiben die Durchmesser ziemlich stabil, während im Winter starke Schwankungen registriert werden, mit Minimalwerten bei Frost. Das trockene Jahr 2003 weicht von diesem Verlauf ab: Das Dickenwachstum wird schon früher abgeschlossen und das sommerliche Schwinden und Quellen sind sehr ausgeprägt. Der durchschnittliche jährliche Umfangzuwachs beträgt in allen vier Jahren etwa 9 mm, das entspricht einer Durchmesserzunahme von etwa 3 mm pro Jahr.



**Abbildung 6:**  
**Die Umfangentwicklung von Fichte und Buche zeigt einen unterschiedlichen Verlauf, die Wachstumsreduktion im Trockenjahr 2003 ist bei Fichte viel deutlicher ausgeprägt als bei Buche.**

### Fichte reagiert etwas anders

Bei den Fichten zeigt sich ein prinzipiell zwar ähnliches Bild, das Jahr 2003 fällt aber im Vergleich zu allen anderen Jahren durch eine deutlich geringere Zuwachsstärke auf, die nur ein Drittel bis ein Viertel beträgt. Die alljährliche Durchmesserzunahme setzt etwas früher ein als bei Buche und die Periode starken Quellens und Schwindens im Sommer ist etwas ausgeprägter. Trotz des äußerst geringen Zuwachses im Jahr 2003 mit nur etwa 1 mm nimmt der Durchmesser in den vier Jahren insgesamt um 16 mm zu.

Im Detail zeigt die Abbildung die Monate Mai und Juni 2003 (Abbildung 7 und 8). Trotz einiger Niederschläge nimmt die Bodenfeuchte fast kontinuierlich ab und erreicht Anfang Juni offenbar kritische Werte, sodass das Wachstum weitgehend eingestellt wird. Die wenigen feuchteren Tage Mitte Juni reichen nicht für einen wesentlichen Zuwachs aus, während in den anderen Jahren der Juni der Monat des stärksten Zuwachses war.

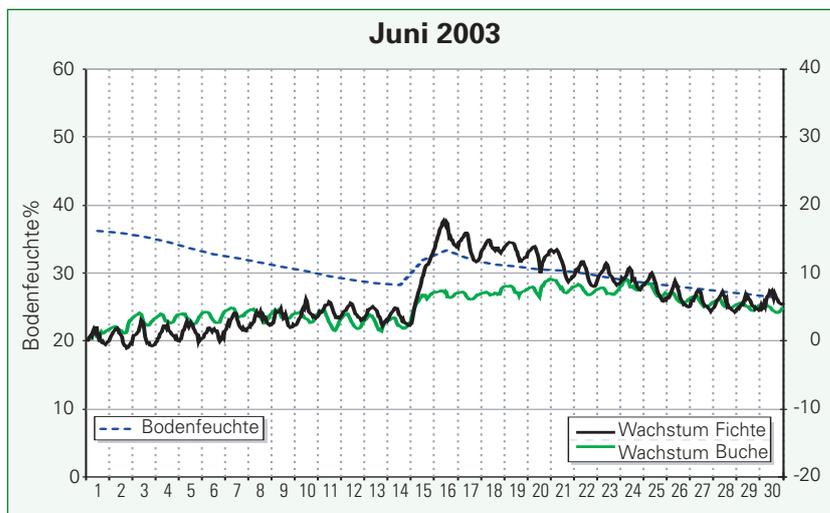
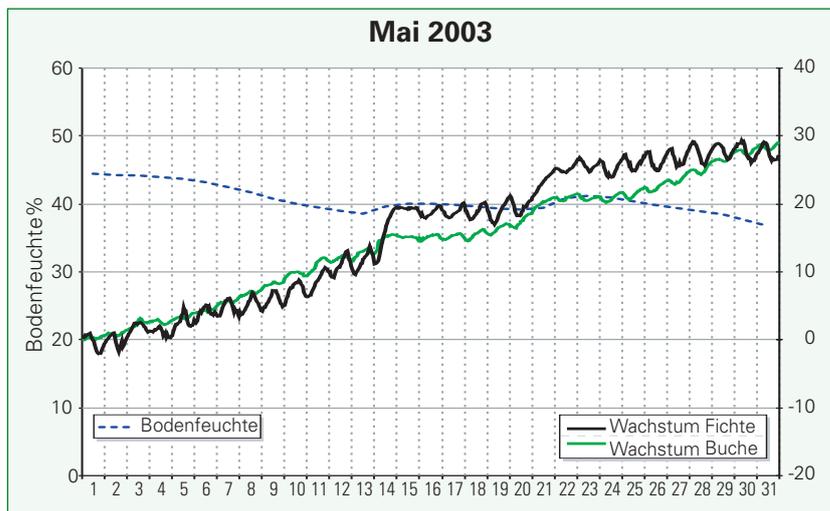
### Zusammenschau

Mögliche Untersuchungen zu kurzfristig zuwachswirksamen Ereignissen können an Stammanalysen und Bohrkernen durchgeführt werden. Darüber hinaus bietet die kontinuierliche Erfassung des Baumumfangs mit elektronischen Umfangmaßbändern noch detaillierte Ergebnisse. Mit dendrochronologischen Methoden wurde gezeigt, wie sich Wachstumsvorgänge über verschieden lange Zeiträume (Jahresgang, Bestandesalter) verfolgen lassen und in wie weit sich typische Witterungsereignisse in Zuwachsreaktionen abbilden.

Die zeitlich hoch auflösende, permanente Umfangmessung mit Dendrometern gehört zu einer der Spezialisierungen des Instituts für Waldwachstum und Waldbau und wird am BFW in Zusammenarbeit mit dem Institut für Waldökologie und Boden durchgeführt. Das Messverfahren ist so fein, dass Tagesgänge des Quellens und Schwindens beobachtet und mit Hilfe der Messdaten der Klimastation und der Bodenfeuchteerfassung interpretiert werden können. Die Untersuchungen sind noch lange nicht abgeschlossen, es lässt sich jedoch schon jetzt ableiten, dass das Wasserangebot (Niederschläge bzw. Bodenwasservorräte) im zuwachtsentscheidenden Zeitraum von April bis Juli maßgeblich ist. Die Wasserversorgung während der Vegetationsperiode ist der wichtigste Einflussfaktor für den Zuwachs auf einem bestimmten Standort, doch gerade der Niederschlag wird von den einzelnen Klimamodellen sehr unterschiedlich vorhergesagt. Auf Grundlage dieser Modellvorstellungen sind Prognosen des Zuwachses wesentlich schwieriger zu erstellen als rückblickende Jahrringanalysen mit davon abgeleiteten Klimarekonstruktionen.

### Klimaänderung – das Aus für Fichte?

Der Vergleich zwischen Buche und Fichte lässt eine höhere Empfindlichkeit der Fichte auf Trockenheit erkennen. Daraus muss man eine Erhöhung des Bewirtschaftungsrisikos für Fichte in klimatisch kritischen Randgebieten und tieferen Lagen ableiten. Nachdem dieses Risiko durch hier nicht untersuchte biotische Schäden noch wesentlich verstärkt wird, muss es durch waldbauliche Maßnahmen (Verringerung der all-



**Abbildung 7 und 8:** Die für das Wachstum in tieferen Lagen entscheidenden Monate im Jahr 2003 zeigen, dass im Mai noch normales Wachstum möglich war, die Niederschläge Mitte Juni konnten die Abnahme der Bodenfeuchte nicht nachhaltig stoppen und daher wurde die durch Quellen entstandene Durchmesserzunahme durch das folgende Schwinden wieder aufgehoben.

gemeinen Schadensdisposition, Stärkung der Einzelbaumvitalität und Maßnahmen der Waldhygiene) möglichst reduziert werden. Verstärktes Augenmerk auf standortgemäße Mischbaumarten kann das Risiko weiter verringern. Eine generelle Abkehr von der Fichte als wirtschaftliche Hauptbaumart in ihrem eigentlichen Verbreitungsgebiet in höheren Lagen erscheint jedoch nicht angebracht.

Dipl.-Ing. Dr. Markus Neumann  
 Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald,  
 Naturgefahren und Landschaft  
 Institut für Waldwachstum und Waldbau  
 Seckendorff-Gudent-Weg 8, 1131 Wien  
 E-Mail: markus.neumann@bfw.gv.at

# Waldbaukonzepte im Klimawandel - ein simulationsgestützter Vergleich

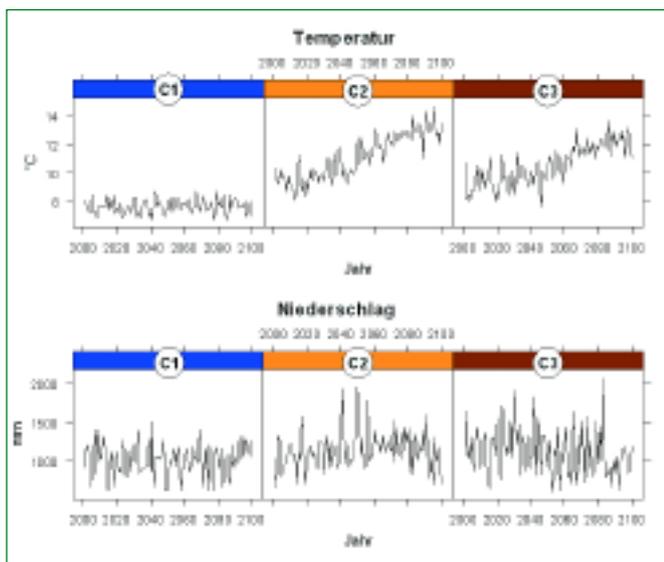
Manfred J. LEXER, Rupert SEIDL, Werner RAMMER, Dietmar JÄGER

**Welche Konsequenzen hat die Wahl einer Waldbau-Strategie unter geänderten Klimabedingungen? Zur Beantwortung dieser Frage bietet sich die modellgestützte Szenarioanalyse an, bei der Antworten auf die Frage „Was wäre, wenn...?“ mit Hilfe eines Waldökosystemmodells gegeben werden.**

In diesem Beitrag werden für einen realen Forstbetrieb im Wuchsgebiet 6.2 (Klagenfurter Becken) mit 250 ha Waldfläche drei alternative Waldbau-Konzepte unter aktuellem Klima und zwei Klimaänderungsszenarios (Abbildung 1) miteinander verglichen. Das aktuelle Klima (Szenario C1) wird durch die Verhältnisse der Periode 1961-1990 repräsentiert und weist eine durchschnittliche Jahresmitteltemperatur von 8,1°C und Jahresniederschläge um 1000 mm auf. Die beiden Klimaänderungsszenarios basieren auf den Simulationsergebnissen von zwei globalen Klimamodellen. Im Szenario C2 steigen die Jahresmitteltemperaturen bis ins Jahr 2100 um ca. +5°C an, im Szenario C3 um ca. +4°C. Die Niederschläge nehmen phasenweise über den 100-jährigen Analysezeitraum sowohl zu als auch wieder ab. Insbesondere im Szenario C3 sinken die Niederschläge in den letzten 20 Jahren des Analysezeitraumes um mehr als 200 mm im Vergleich zum aktuellen Klima.

## Drei Waldbaukonzepte

Waldbaukonzept MS1 entspricht dem aktuellen Bewirtschaftungsansatz und ist ein Fichten-Altersklassen-Kon-



**Abbildung 1:** Die drei Klimaszenarios im Vergleich. C1 = aktuelles Klima, C2 und C3 sind Klimaänderungsszenarios, wie sie von globalen Klimamodellen für die kommenden 100 Jahre simuliert werden.

## Box 1: Kurzcharakteristik der drei analysierten Waldbaukonzepte.

### MS1 Fichten-Altersklassenkonzept

- Umtriebszeit = 90 Jahre
- Naturverjüngung der Fichte über rasch geführten Schirmschlag (Lichtung, Räumung)
- Stammzahlreduktion
- Auslesedurchforstung

### MS2 Fichte-Dauerwald

- Naturverjüngung der Fichte
- Zielstärkennutzung (Baumholz)
- Strukturdurchforstung (Jungbestände)

### MS3 Waldumbau-Mischbestände

- Einbringen von Buche und Eiche
- Bestockungszieltypen je nach Standort/Bestand
- Naturverjüngung der Fichte
- Stammzahlreduktion/Mischungsregelung/Kronenpflege
- Auslesedurchforstung

zept. Konzept MS2 sieht die Überführung in einen Fichtendauerwald vor. Konzept MS3 ist ein Altersklassen-Mischwaldszenario, das je nach Standorts- und Bestandestyp im Voranbau oder Nachanbau die Begründung von Fichten/Buchen-Mischbeständen oder die Begründung von Eichen-Buchen-Mischbeständen nach flächiger Nutzung vorsieht. Bereits erfolgreich mit Fichte verjüngte Bestände werden als Fichtenbestände weitergeführt. In Box 1 ist eine Kurzcharakteristik der drei Waldbaukonzepte dargestellt.

## Simulation mit Waldökosystemmodell PICUS

Die drei Waldbaukonzepte müssen nun für jeden der 103 Bestände des Betriebs in operative Bestandesbehandlungsprogramme „übersetzt“ werden, die dann mit dem Waldökosystemmodell PICUS über einen Zeitraum von 100 Jahren simuliert werden. Diese lange Analyseperiode ist notwendig, um die Auswirkungen sowohl der waldbaulichen Behandlung als auch der sukzessive vor sich gehenden Klimaveränderung in den Szenarios C2 und C3 sichtbar zu machen. PICUS ist ein am Institut für Waldbau entwickeltes Waldökosystemmodell, das sowohl Naturwaldentwicklung als auch bewirtschaftete Rein- und Mischbestände simulieren

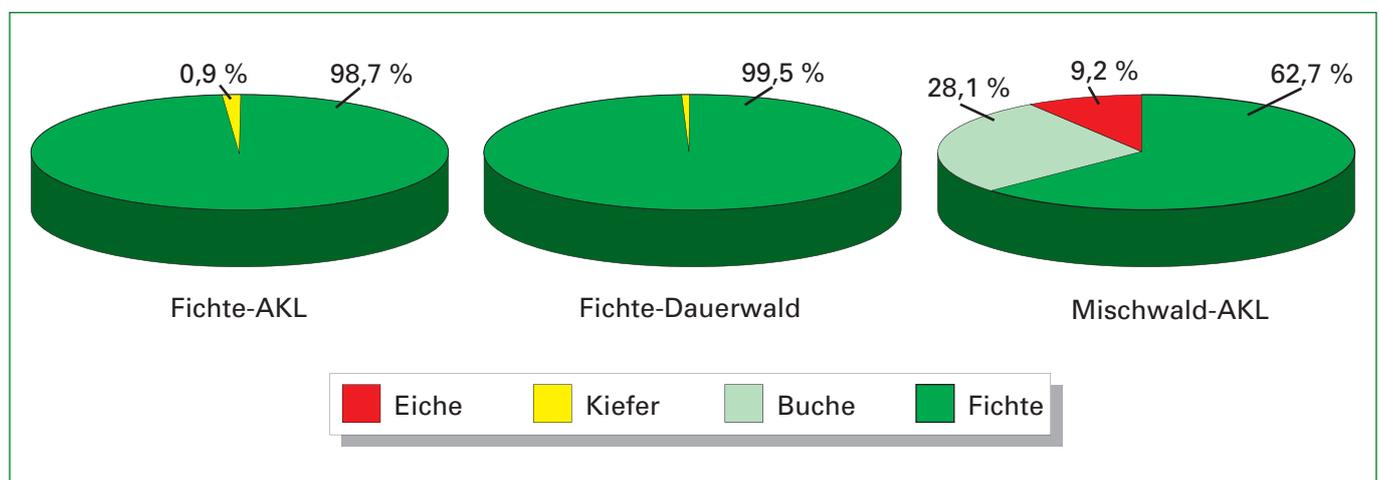
kann. Das Besondere an PICUS ist, dass mit dem Modell Auswirkungen von Klimaveränderungen auf Wachstum und Walddynamik abgeschätzt werden können. PICUS ist modular aufgebaut und verfügt über ein Modul zur Abschätzung von Schäden durch Borkenkäfer (*Ips typographus*), das in Kooperation mit dem Institut für Forstschutz an der BOKU adaptiert wurde. PICUS liefert unter anderem Vorrat und Nutzung sortiert nach Einzelstammsortentafeln, Biomassenkompartimenten, Kohlenstoff in der Vegetation und im Boden sowie anfallendes Kalamitätsholz durch Borkenkäfer. Detailinformation zu den verfügbaren PICUS-Modellvarianten ist auf der Institutswebsite [www.wabo.boku.ac.at/waldmod.html](http://www.wabo.boku.ac.at/waldmod.html) verfügbar.

### Monetäre Bewertung der Holzproduktion

Für alle in der Simulation vorkommenden Baumarten wurden auf Basis der indexbereinigten Preise der Dekade 1990-1999 für Sortiment der Einzelstammsortentafeln zwei Preisszenarios erstellt. Zusätzlich berücksichtigt wurden in der Preiskalkulation eine unterstellte Qualitätsverteilung je Baumart sowie die Verwendung der Sortimente (Säge, Papier, Brennholz). Das Preisszenario A basiert auf den Dekadenmittelwerten für jedes Sortiment. Für das Preisszenario B wurde das Jahr 1993 ausgewählt, in dem die Differenz zwischen Buchen- und Fichtenpreisen während der Dekade 1990-1999 am geringsten ausfiel.

### Wieviel Fichte nach 100 Jahren?

Dargestellt werden der Übersichtlichkeit halber nur wenige ausgewählte betriebliche Erfolgsindikatoren mit Schwerpunkt auf der Holzproduktion. Wenn Sie schon immer wissen wollten, wie die Baumartenzusammensetzung nach 100 Jahren Waldumbau aussieht, liefert Abbildung 2 die Antwort. Im Umbauszenario MS3 stellt die Fichte noch immer knapp zwei Drittel des Vorrats. In den Waldbaukonzepten Fichte-Altersklasse (MS1) und Fichte-Dauerwald (MS2) geht der anfänglich vorhandene geringe Anteil von zufällig eingemischten Baumarten (Kiefer, Stieleiche) weiter zurück, da keine spezielle Begünstigung dieser Mischbaumarten im Zuge der Pflege und Verjüngungsverfahren durchgeführt wurden.



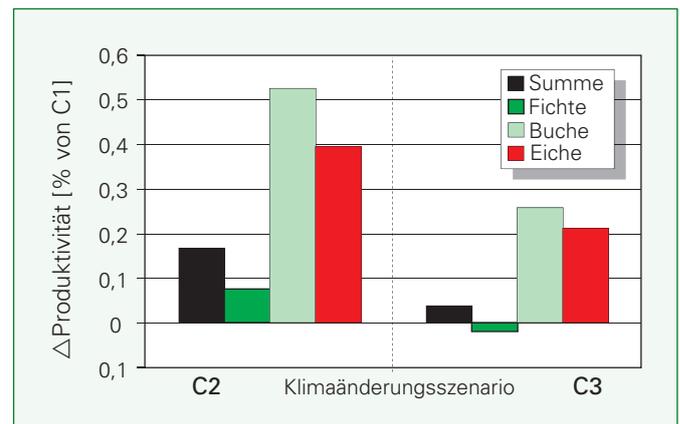
**Abbildung 2:** Betriebliche Baumartenzusammensetzung (Vorrat) nach 100 Jahren in den drei Waldbaukonzepten simuliert unter aktuellem Klima

### Wie wirkt sich das Klima auf den Zuwachs aus?

Wird der geleistete Zuwachs verglichen, zeigen sich nur geringe Unterschiede zwischen den drei Waldbaukonzepten. Tendenziell ist das Dauerwaldkonzept MS2 am produktivsten, während das Waldumbaukonzept MS3 leicht abfällt. Wie wirkt sich das Klima auf den Zuwachs aus? Unter dem Szenario C2 steigt die Produktivität bei allen Waldbaukonzepten zwischen 8,5 % und 16,9 % verglichen mit dem Ergebnis unter aktuellem Klima an, beim Waldumbauszenario MS3 am meisten. Unter dem Szenario C3, das am Ende der Analyseperiode deutlich trockener wird, gehen die Zuwächse für die Konzepte Fichte-Altersklasse (MS1) und Fichte-Dauerwald (MS2) leicht zurück, während das Umbauszenario auch hier noch +4 % Zuwachssteigerung aufweist.

### Laubholz leistet mehr

In Abbildung 3 werden die wichtigsten Baumarten im Umbauszenario MS3 in Bezug auf ihr Zuwachsverhalten unter aktuellem Klima verglichen. Unter beiden Erwärmungsszenarios C2 und C3 sind eindeutig die Laubbaumarten begünstigt. Während unter C2 sogar die Fichte noch eine geringfügige Zuwachssteigerung aufweist, wendet sich das Blatt unter dem trockeneren Erwärmungsszenario C3 endgültig: Die Fichte leidet unter der Trockenheit, während die Laubbaumarten



**Abbildung 3:** Zuwachsverhalten von drei Baumarten im Waldumbaukonzept unter zwei Klimaänderungsszenarios C2 und C3 relativ zu den Ergebnissen unter aktuellem Klima.

deutlich davon profitieren. Innerhalb der Laubbaumarten wendet sich der Trend nun zugunsten der Eiche.

### Kalamitätsnutzungen durch Borkenkäfer

Liegt der Anteil Kalamitätsnutzungen aufgrund von Borkenkäfern unter aktuellem Klima noch zwischen 8 % und 12 %, nehmen die simulierten Borkenkäferschäden unter den Klimaänderungsszenarien in allen Waldbaukonzepten stark zu (bis zu 27% unter dem trockenen Erwärmungsszenario C3), am geringsten noch im Mischwaldkonzept.

### Vergleich der Deckungsbeiträge

In Abbildung 4 sind für das Preisszenario A der Deckungsbeitrag (DB) I und II sowie die Vermögensveränderung (erntekostenfreie Erlöse) im stehenden Vorrat über den Analysezeitraum dargestellt. Die höchsten DB I und II werden erwartungsgemäß unter dem Dauerwaldkonzept erreicht (116-118 % des Fichtenaltersklassenkonzeptes), der DBII im Mischwaldszenario wird durch die sehr konservativ geschätzten Kosten für das Einbringen der Laubhölzer deutlich gedrückt (86-88 % des Fichtenaltersklassenkonzeptes). Das Fichten-Alttersklassenkonzept baut wegen der starken Borkenkäferschäden insbesondere unter den Klimaänderungsszenarios Vermögen ab, das Umbauszenario MS3 hauptsächlich wegen der schlechter bewerteten Laubholzanteile. Nur im Dauerwaldkonzept erhöht sich der Wert des stehenden Vorrats trotz ebenfalls starker Käferschäden. Wird der DBI mit dem Preisszenario B berechnet, verringert sich der Unterschied zwischen dem Fichten-Alttersklassenkonzept und dem Mischwaldkonzept von 42 Euro/ha•Jahr auf 30 Euro/ha•Jahr.

### Fichte - quo vadis?

Berücksichtigt man die Unsicherheiten, die immer mit langfristigen Simulationsanalysen verbunden sind, kann mit hoher Sicherheit gesagt werden:

(1) In Bezug auf den Zuwachs profitieren unter den Klimaänderungsszenarios die Laubbaumarten. Wird es

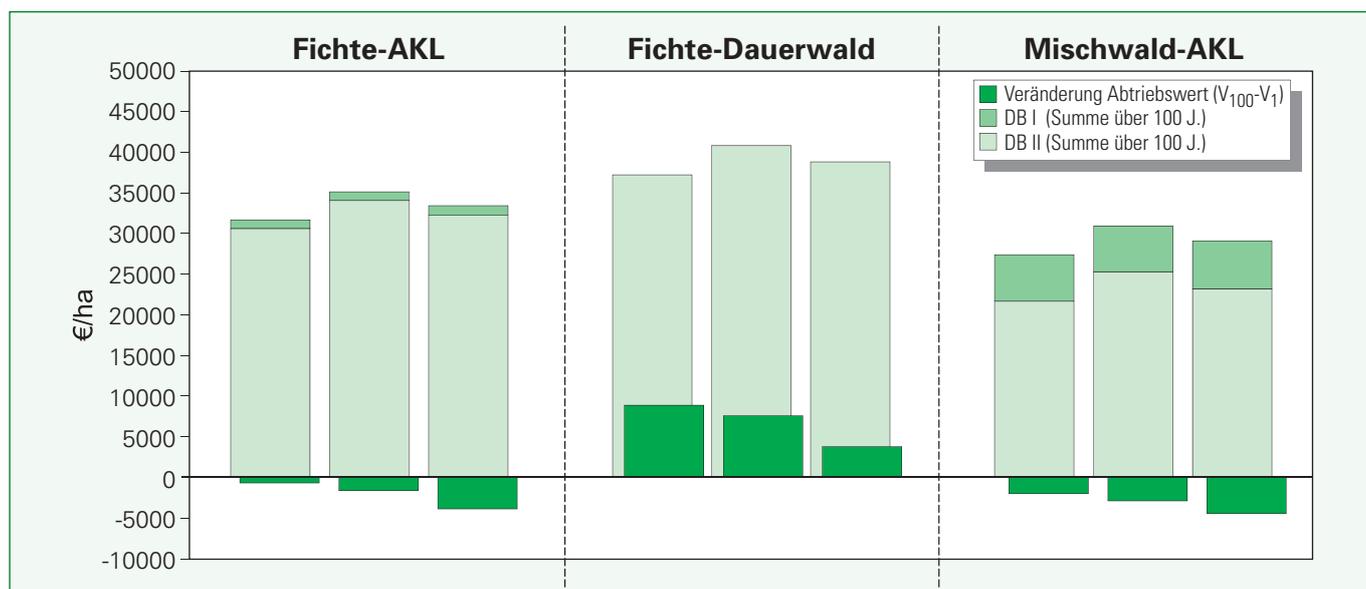
wärmer und trockener, sinkt die Produktivität der Fichte. Vor allem Niederschlagsreduktionen stellen eine Gefährdung dar.

(2) Das Hauptproblem ist die extreme Kalamitätsanfälligkeit der Fichte.

Die Ergebnisse stellen allerdings keine Zukunftsprognosen dar, weil das zukünftige Klima derzeit nicht prognostizierbar ist und es sich folglich um Klimaszenarios handelt.

Es liegt nahe, die Vorteile des Dauerwaldkonzeptes mit jenen des Waldumbaukonzeptes zu kombinieren: (a) (Laub)mischbaumarten einbauen (z.B. Buche, Ahorn, Tanne). (b) Die Vorratshöhe sollte eher niedrig angesetzt sein, um stärkere Verjüngungsdynamik und verringertes Risiko zu erzielen. Verbesserte Vertikalstrukturen alleine können die physiologischen Eigenschaften der Fichte nicht verbessern. Durch Ausschöpfung des Naturverjüngungspotenziales von Mischbaumarten können die Kosten des Umbaukonzeptes deutlich gesenkt werden. Ein hoher Anteil der Kosten für den Waldumbau zu Mischbeständen wird zudem von Wildschutzmaßnahmen verursacht. Durch die zwei Preisszenarios wurde demonstriert, wie stark monetäre Kennziffern in Abhängigkeit von Preisannahmen schwanken können. Mit dem Beispiel konnte gezeigt werden, wie Waldökosystemmodelle eingesetzt werden können, um Chancen und Risiken von unterschiedlichen Bewirtschaftungskonzepten abzuschätzen.

ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Manfred J. Lexer  
 Dipl.-Ing. Rupert Seidl  
 Dipl.-Ing. Werner Rammer  
 Dipl.-Ing. Dietmar Jäger  
 Universität für Bodenkultur  
 Institut für Waldbau  
 Department für Wald- und Bodenwissenschaften  
 Peter-Jordan-Straße 82, A-1190 Wien  
 E-Mail: mj.lexer@boku.ac.at



**Abbildung 4:** DBI (erntekostenfreier Erlös) und DBII (DBI – Waldbaukosten) für die drei Waldbaukonzepte unter drei Klimaszenarios und Preisszenario A. Angaben als Mittel über 100 Jahre in Euro/ha.

# Was andere sagen

- ▶▶▶ **Was die Wissenschaft zu wissen glaubt,**
- ▶▶▶ **Was sie vermutet,**
- ▶▶▶ **Was diskutiert wird und was daraus folgt**

- ▶▶▶ In den letzten 150 Jahren, insbesondere aber in den letzten Jahrzehnten ist eine deutliche globale Klimaänderung festzustellen. Dies zeigen meteorologische Messungen ebenso wie Beobachtungen der unbelebten und belebten Natur. (Kromp-Kolb)
- ▶▶▶ Änderungen des Klimas sind an sich nichts Ungewöhnliches; die Rekonstruktion der Klimate der Vergangenheit zeigt, dass das Klima einem ständigen Wandel in unterschiedlichen Zeiträumen und unterschiedlichem Ausmaß unterliegt. (Kromp-Kolb)
- ▶▶▶ Regional kann sich das Klima anders entwickeln als im globalen Mittel; der Alpenraum erwärmt sich derzeit rascher als Europa oder die Welt. (Kromp-Kolb)
- ▶▶▶ Die Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre liegt heute um etwa ein Drittel höher als je zuvor in den letzten 400.000 Jahren. Der Anstieg der Kohlendioxidkonzentration ist auf anthropogene Quellen zurückzuführen. Er wird gebremst durch eine erhöhte Kohlenstoffaufnahme der Ozeane und der Biosphäre. (Kromp-Kolb)
- ▶▶▶ Szenarienberechnungen für die Zukunft ergeben – je nach Entwicklung von Bevölkerungszahlen, Wirtschaft, Technologie – globale Temperaturerhöhungen von 1,4 bis 5,8°C. (Kromp-Kolb)
- ▶▶▶ Unwetter und Klimakatastrophen drängen die Frage auf, ob es sie in diesem Ausmaß schon immer gab oder ob sie tatsächlich Ausdruck einer Klimaveränderung sind. Wer dies beantworten will, muss sich mit dem Klima der Vergangenheit auseinandersetzen. (Glaser)
- ▶▶▶ Der Treibhauseffekt wird heute zurückhaltender beurteilt und auch die berechneten Werte für den Meeresspiegelanstieg mussten revidiert werden. Unschärfe in den Modellen und unklare Systemzusammenhänge bedeuten letztendlich aber nur, dass viele Erkenntnisse noch nicht gereift sind. (Glaser)
- ▶▶▶ Viele Aspekte des Klimasystems sind noch nicht ausreichend verstanden und Gegenstand aktueller Forschung und wissenschaftlicher Diskussion. Ein Beispiel: Die Mechanismen der abrupten Klimawechsel, die in der Erdgeschichte wiederholt aufgetreten sind und deren Ursache kontrovers diskutiert werden. (Münchener Rück)
- ▶▶▶ Vor gut zehn Jahren trat die UN-Klimarahmenkonvention in Kraft. Sie wurde von fast allen Staaten der Welt unterzeichnet, auch von den USA. Nach jahrelangem Stillstand der Klimadiplomatie liegt nun eine Reihe von Weggabelungen des internationalen Klimaschutzregimes vor uns. Nach diesen Richtungsentscheidungen wird sich besser einschätzen lassen, ob das Ziel der Konvention erreicht werden kann, einen „gefährlichen Klimawandel“ zu vermeiden. (Münchener Rück)

## Quelle:

Helga Kromp-Kolb, Herbert Formayer (2005): Schwarzbuch Klimawandel. Ecowin Verlag, ISBN 3-902404-14-0

Glaser, R. (2001): Klimageschichte Mitteleuropas. 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen. Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt

Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft (Hrsg., 2005): Wetterkatastrophen und Klimawandel. Sind wir noch zu retten? pg verlag München, ISBN 3-937624-80-5