

Waldwachstum unter dem Einfluss großregionaler Standortveränderungen

The Impact of Global Site Factor Change on Forest Growth

Von Hans Pretzsch, Jan Dursky, Arne Pommerening und Marek Fabrika

Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München

1 Einleitung

Auswertungen von Waldwachstumsdaten, die in der Raum- und Zeitskala sehr verschiedenen sind, kommen zu dem übereinstimmenden Befund, dass die Zuwächse unserer Waldbestände aufgrund von Standortveränderungen im Durchschnitt seit mehreren Jahrzehnten mit großregionaler Ausprägung ansteigen (KENK et al. 1991, RÖHLE 1994, SPIECKER et al. 1996, PRETZSCH 1999). Die bis ins Jahr 1870 zurückreichenden Messungen auf langfristigen Versuchsflächen können für die Quantifizierung von Standort-Leistungs-Beziehungen und die Vorhersage der Wachstumsreaktionen auf Standortveränderungen erschlossen werden (KAHN 1994, KAHN und PRETZSCH 1997). So werden neben gesicherten Befunddaten zum aktuellen Wachstumsgang auch Wenn-Dann-Aussagen zum künftigen Wachstumstrend möglich (DURSKY und PAVLICKOVA 1997, PRETZSCH und UTSCHIG 1998, DURSKY, POMMERENING und POTT 1999). Dieser Artikel will aktuelle Informationen über Wachstumsreaktionen von Waldbeständen geben und präsentiert eine Sensitivitätsstudie mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2. Die Szenariorechnungen deuten darauf hin, dass die gegenwärtige Zuwachssteigerung bei stärkeren Klimaveränderungen je nach ökologischer Amplitude der Baumarten auch in gravierende Zuwachsrückgänge und Verschiebungen der Konkurrenzverhältnisse umschlagen kann.

2 Großregionale und globale Wachstumstrends

Ausgelöst wurden Untersuchungen zum langfristigen Wachstumstrend Mitte der 70er Jahre durch das Auftreten gravierender Schäden und Zuwachsverluste an Fichten in den deutschen Mittelgebirgen. Im Forstamt Bodenmais z. B. wurden in den 80er Jahren Volumenzuwachsverluste im Vergleich zur Ertragstafel von 10 und 30 % diagnostiziert. Ein völlig anders gerichteter Trend zeigt sich für Fichtenbestände im Voralpenraum, wo die Zuwächse bis in die 50er Jahre etwa auf dem Niveau der Ertragstafel lagen, um in den Folgejahren bis auf 300 % des Tafelniveaus anzusteigen (RÖHLE 1994). Dieser Trend äußert sich in einer veränderten Relation zwischen Bestandesdichte und Zuwachs, die Abbildung 1 am Beispiel von 22 Versuchsflächen in den südwestbayerischen Wuchsbezirken 09.12.7, 09.13.4, 09.14.3, 09.14.4 (Forstämter Kempten, Kaufbeuren, Illertissen, Schwabmünchen, Schongau, Zusmarshausen, Laugna) aufzeigt, von denen die ältesten Flächen seit 1882 unter Beobachtung stehen. Jeder Punkt repräsentiert einen Bestandesdichte/Zuwachs-Befund auf den über 100 Versuchspartellen, deren Pflegeregime vom A-Grad bis zu sehr starker Hochdurchforstung und fast solitärartiger Erziehung reicht. Zur Orientierung sind die maximalen Grundflächen und Volumenzuwächse der Fichten-Ertragstafeln von WIEDEMANN (1936/42), I. Bonität, mäßige Durchforstung und ASSMANN und FRANZ (1963), M 40, gestaffelte Durchforstung,

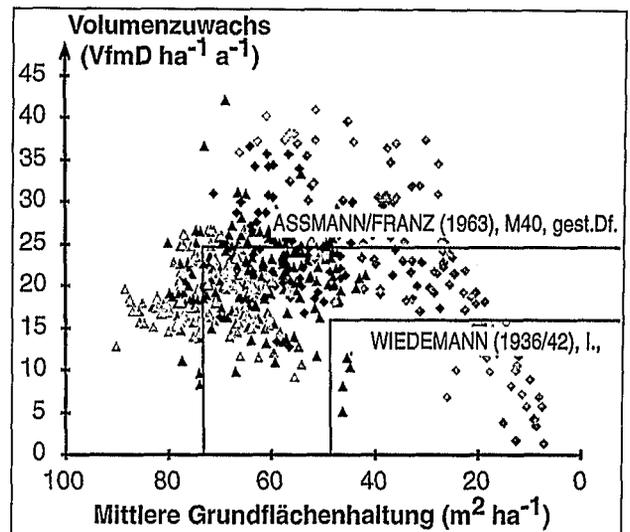


Abb. 1: Zusammenhang zwischen Grundflächenhaltung und Volumenzuwachs auf langfristigen Fichtenversuchsflächen in Südbayern. Schwarze Symbole repräsentieren Zuwachsbefunde vor 1960, graue Zuwachsbefunde nach 1960.

eingetragen. Wir erkennen vor allem bei den Zuwachsbefunden nach 1960 in allen Altersbereichen ein beträchtliches Überschreiten des Zuwachs- und Grundflächenrahmens der Ertragstafeln. Die periodischen Volumenzuwächse erreichen bei mittlerer Dichte Spitzenwerte von 40–45 VfmD pro ha und Jahr und fallen erst bei starken bis sehr starken Eingriffen unter die oberen Rahmenwerte der Ertragstafel ab.

Eine kombinierte Quer- und Längsschnittanalyse der Höhenwachstumsverläufe von 47 langfristig beobachteten Versuchsflächen in Fichtenbeständen, 89 Versuchsflächen in Buchenbeständen, 81 in Kiefernbeständen und 37 in Eichenbeständen hat erbracht, dass etwa 25 % der Alters-Höhen-Befunde über den oberen Rahmenwerten der Ertragstafel liegen (KAHN 1994). Positive Abweichungen kommen in allen Altersbereichen vor, während Stagnation in der Höhenentwicklung nicht feststellbar ist. Insbesondere in Jungbeständen aus Buche und Eiche werden die Tafelwerte ganz erheblich überschritten. Die markantesten Abweichungen zwischen erwartetem und wirklichem Wachstum gelten für Kiefernbestände auf früher nährstoffarmen Standorten. Die seit mehr als 100 Jahren beobachteten Versuchsflächen decken einen Beobachtungsraum ab, der von Schleswig-Holstein bis in die Schweiz reicht.

Die Gegenüberstellung einer weiter zurückreichenden Bayerischen Waldinventur (FRANZ et al. 1973) mit der Bundeswaldinventur I (BML1991) ermöglicht für das Bundesland Bayern erste flächenrepräsentative Informationen zum aktuellen Zuwachsniveau und Vergleichsmöglichkeiten mit den

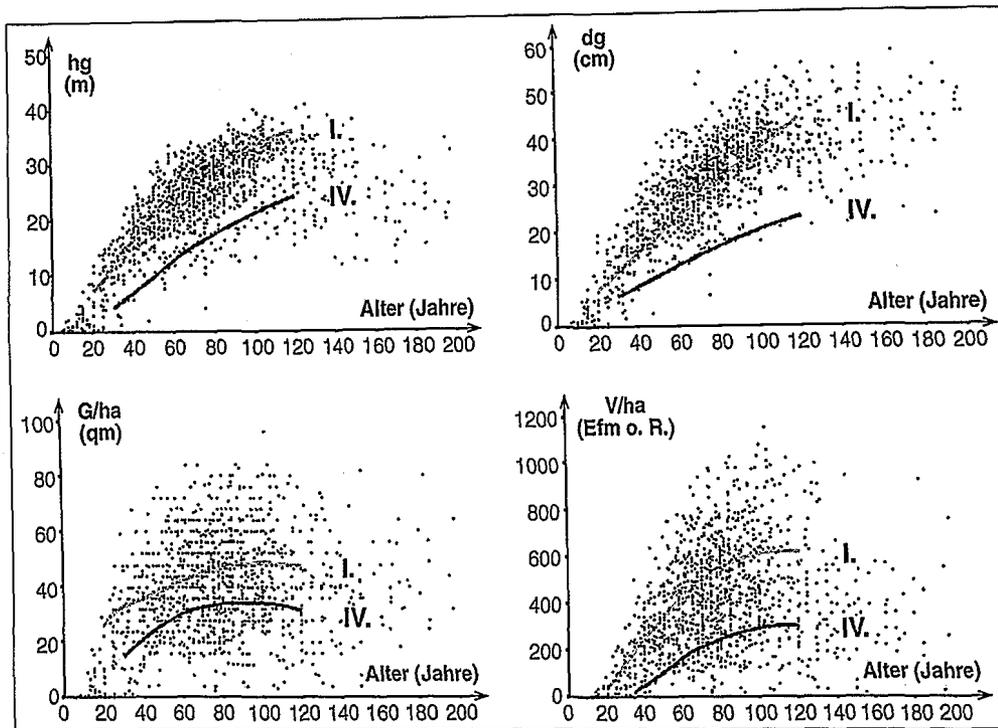


Abb. 2: Unechte Zeitreihen zum Wachstum der Fichte in Bayern im Vergleich zur Ertragstafel von Wiedemann (1936/42), mäßige Durchforstung. Dargestellt sind Mittelhöhe, Brusthöhen-durchmesser, Bestandesgrundfläche und Bestandesvorrat aus den Stichprobendaten der aktuellen Forsteinrichtung der Bayerischen Staatsforstverwaltung (Pott 1997).

Erwartungswerten der Ertragstafel. Der Vergleich zwischen den aus Inventurdaten errechneten Zuwachswerten für den Zeitraum von 1971 bis 1987 mit den nach gängigen Ertragstafeln erwarteten Zuwachswerten erbringt im Landesdurchschnitt für alle Hauptbaumarten beträchtliche Zuwachsanstiege. Für die Baumartengruppe Fichte/Tanne liegen die wirklichen Zuwächse bei 131 %, für Kiefer/Lärche bei 143 %, für Buche bei 112 % und für Eiche bei 127 % der Erwartungswerte der Ertragstafel. KAUPPI et al. (1992) diagnostizieren für Skandinavien und andere europäische Länder, die über länger zurückreichende Forstinventurdaten verfügen, ähnliche großregional ausgeprägte Veränderung von Vorrat und Zuwachsgang seit den 50er Jahren.

Abbildung 2 bestätigt diesen Trend für die Fichte. Die Stichprobendaten der aktuellen Forsteinrichtung der Bayer. Staatsforstverwaltung sind den Erwartungswerten der Ertragstafel gegenübergestellt (POTT 1997). Es wird hier die Fichte näher betrachtet, weil diese in Bayern mit 1.134.388 ha mehr als 47 % der Waldfläche bedeckt. Von ihrer Gesamtfläche in der Bundesrepublik (2.742.248 ha) liegt fast die Hälfte in diesem Bundesland. Die Zahlen beziehen sich auf die Ergebnisse der ersten Bundeswaldinventur (Stichtag 1.10.1987) in Westdeutschland. Dargestellt ist die Entwicklung von Mittelhöhe, Durchmesser des Grundflächenmittstammes, Grundfläche und Vorrat als unechte Zeitreihe über dem Alter. Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit wurde aus den 24.648 Bestandesaufnahmen nur eine Zufallsstichprobe von 5 % der Aufnahmepunkte zur Darstellung gebracht. Der von der I. und IV. Ertragsklasse aufgespannte Wertebereich der Tafel von WIEDEMANN (1936/42) vermag bei keinem Ertragsselement das Streuband der Forsteinrichtungsdaten zu begrenzen. Höhen- und Durchmesserbefunde konzentrieren sich im Bereich der ersten Ertragsklasse. Noch auffälliger sind die Diskrepanzen bei Grundfläche und Vorrat, wo etwa ein Drittel der Bestände die erste Ertragsklasse übertrifft. Die hohe Punktdichte, selbst in Bereichen zwischen 50 und 70 m² zeigt, dass es sich hierbei nicht um Ausreißer handelt. Auch bei dem Vorrat übertreffen die Maximalwerte die Ertragstafel um über 100 %. Eine solche Niveaushiftung in den Wachstumsgrößen stützt die Hypothese, dass es sich bei den

aus den Wiederholungsinventuren diagnostizierten Zuwachsanstiegen nicht um ein kurzfristiges Zuwachshoch handelt.

MYNENI et al. (1997) belegen mit Satellitendaten, dass auf der Nordhalbkugel von 1981 bis 1991 die photosynthetische Aktivität der Bodenvegetation aufgrund einer Verlängerung der Vegetationszeit zugenommen hat. Die Regionen mit dem größten Anstieg der photosynthetischen Aktivität liegen zwischen dem 45 °N und dem 70 °N, was in Europa einer Ausdehnung von Mailand oder Bordeaux bis Murmansk entspricht. Die Aussagen stützen sich auf Rückstrahlungsmessungen im photosynthetisch aktiven Bereich (Wellenlänge 0,4–0,7 µm), die in einen Vegetationsindex NDVI (normalized difference vegetation index) überführt werden. Die Rückstrahlungsmessungen werden vom NOAA-Satelliten

(National Oceanic and Atmospheric Administration) ausgeführt. Die NDVI-Indizes zeigen für den Zeitraum von 1981 bis 1991 für den Bereich nördlich von 45 °N eine Verlängerung der Vegetationszeit um 12 Tage an. Die Feinanalyse der Rückstrahlungs-Zeitserien innerhalb der Beobachtungsjahre deutet auf einen früheren Beginn der Vegetationszeit hin, der eine Reaktion auf die globale Temperaturerhöhung darstellt und mit der Veränderung CO₂-Jahreszyklusveränderung korrespondiert (KEELING et al. 1995). Auch aus den Untersuchungen von FABIAN (1991) und FABIAN und MENZEL (1998) u. a. in Phänologischen Gärten lässt sich schließen, dass der großregional feststellbare Zuwachsanstieg auf Klimaänderungen zurückzuführen ist. Er wird durch lokal und regional wirksame Einflussfaktoren überprägt (u. a. lokale Standortparameter, Schwefeldioxid-Immission, Stickstoffeintrag, biotische Stressoren).

Die Überlagerung von global und regional wirksamen Standortveränderungen erbringt eine Vielfalt von Zuwachsmustern und positive wie negative Abweichungen vom erwarteten Zuwachsgang. Sie liefert einen Erklärungsansatz für den zunächst paradox erscheinenden Befund, dass geradezu hypertrophes Wachstum, Zuwachsrückgänge und Bestandesauflösungen zeitgleich nebeneinander auftreten können.

3 Waldwachstumssimulator SILVA

Mit der Entwicklung des Waldwachstumssimulators SILVA (PRETZSCH 1992, PRETZSCH und KAHN 1996, KAHN und PRETZSCH 1997) wurde 1989 am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Universität München begonnen. Seitdem stellt seine Weiterentwicklung und Anpassung für Fragestellungen der forstlichen Praxis einen wesentlichen Forschungsschwerpunkt des Lehrstuhles dar. Neben einigen anderen Aufgaben soll er die praxisüblichen Ertragstafeln ablösen, die sich wegen ihrer stark vereinfachten summarischen Betrachtungsweise als relativ unflexibel erweisen und damit dem in den letzten Jahren stark erweiterten Informationsbedarf der Forstwirtschaft kaum mehr gerecht werden können (PRETZSCH 1992). Daher ist es eine wichtige Aufgabe dieses Modells,

Entscheidungshilfen für die Waldbewirtschaftung zu geben und als praxisnahes Forschungswerkzeug zu dienen.

Der Wachstumssimulator SILVA löst Waldbestände in ihre Einzelbäume auf und bildet ihr Miteinander als räumlich-zeitliches dynamisches System nach. Positionsabhängigkeit und Altersunabhängigkeit erlauben die Anwendung des Modells auch auf strukturreiche, ungleichaltrige Wälder. Derzeit ist der Simulator für Rein- und Mischbestände der Baumarten Fichte, Tanne, Kiefer, Buche, Eiche und Erle parametrisiert. Die Parametrisierung der Zuwachsmodele von SILVA stützt sich derzeit auf Messdaten von ca. 44.394 Fichten, 4.129 Tannen, 57.822 Kiefern, 35.323 Buchen, 10.026 Eichen und 498 Erlen die dem Bayer. Ertragskundlichen Versuchswesen entstammen. Ferner dienen Daten von Forsteinrichtung, Landes- und Bundeswaldinventuren zur Adjustierung der Modellfunktionen für den deutschlandweiten Einsatz des Simulators.

Die standortabhängige Modellierung trägt nicht nur den besonders in den letzten Jahrzehnten zu beobachtenden Veränderungen des Nährstoffhaushalts Rechnung, sondern erlaubt auch die Nachbildung von Klimaveränderungen.

Abbildung 3 veranschaulicht den Ablauf einer mit SILVA durchgeführten Fortschreibung eines Waldbestands. Zunächst werden als Startwerte die Dimensionen der Einzelbäume und die Standortparameter, die für die Prognose gelten sollen, eingelesen. Dabei hat SILVA für diese Arbeit direkt Daten der Bundeswaldinventur und des Datenspeichers Waldfonds verarbeitet.

Die dann folgende Fortschreibung setzt sich aus einer Vielzahl von Einzelprozessen zusammen, die von Raum-, Konkurrenz-, Allokations-, Durchforstungs-, und Mortalitätsmodellen gesteuert werden. Spezielle Modelle zur Rotfäule und zur Holzqualität sind gerade in Bearbeitung.

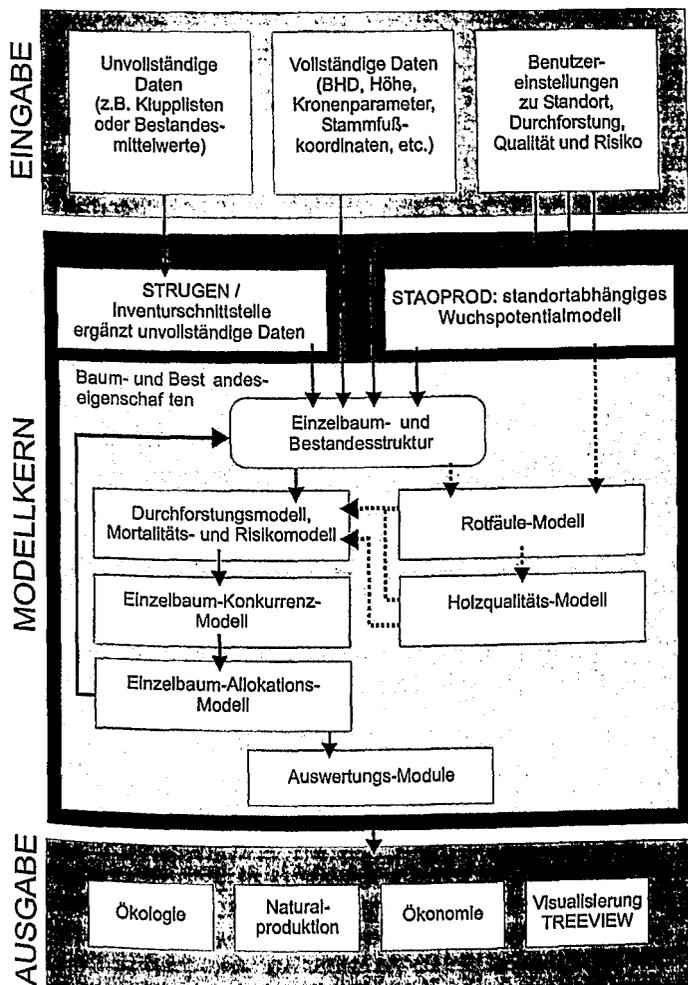


Abb. 3: Flussdiagramm des Waldwachstumssimulators SILVA.

Die Prognoseergebnisse lassen sich in drei thematische Ausgabeblöcke unterteilen. Neben klassischen ertragskundlichen Ergebnissen werden auch betriebswirtschaftliche Angaben gemacht und Fragen zur räumlichen Bestandesstruktur beantwortet. Visualisierungsmodule bieten zusätzlich eine bildliche Darstellung der Waldentwicklung.

Eine spezielle automatisierte oder Batch-Version des Waldwachstumssimulators ermöglicht den Einsatz oberhalb der Bestandesebene, wenn größere Datenmengen wie im Falle der Bundeswaldinventur, fortgeschrieben werden müssen. Diese Version, die auch in dieser Arbeit zum Einsatz kam, arbeitet ohne die sonst üblichen Windows-Dialoge. Die Fortschreibung wird mit einem System von Dateien gesteuert, das von einem externen Programm angelegt wird. Dieses ruft auch das Wachstumsmodell auf und verarbeitet später die Ergebnisse. Das aufrufende Programm könnte z. B. eine GIS-Anwendung oder ein Betriebsmodell sein.

4 Prinzip und Einsatz standortsensitiver Managementmodelle

Das Standort-Leistungsmodell transformiert Standortfaktoren in Wachstumsgrößen. Im Wachstumsmodell SILVA wird aus neun dieser Faktoren das Höhenwachstumspotential geschätzt und das Durchmesserwachstum modifiziert. Die Eingangsvariablen für das Standort-Leistungsmodell lassen sich in drei Gruppen – die Nährstoffversorgung, Temperaturbedingungen und Wasserversorgung – am gegebenen Standort betreffend einteilen. Klimaparameter nehmen in diesem Variablensatz eine wichtige Rolle ein.

Gruppe 1, Nährstoffversorgung (Nahr), setzt sich zusammen aus den Variablen:

- NO_x, der globalen Konzentration von Stickoxiden in der Atmosphäre in ppb,
- CO₂, der globalen Konzentration von Kohlendioxid in der Atmosphäre in ppm,
- NST, der allgemeinen Nährstoffversorgung im Boden, ausgedrückt auf einer Skala zwischen 0 (minimal) und 1 (maximal), abgeleitet aus dem einheitlichen Anspracheschema des Arbeitskreis Standortkartierung (1985).

Gruppe 2, Temperaturbedingungen (Warm), setzt sich zusammen aus den Variablen:

- TV, der Durchschnittstemperatur in den Monaten Mai bis einschließlich September in °C,
- TVAR, der Temperaturdifferenz zwischen dem wärmsten und dem kältesten Monatsmittel in °C,
- DT10, der Anzahl der Tage im Jahr, deren Durchschnittstemperatur 10°C übersteigt.

Gruppe 3, Wasserversorgung (Feucht), setzt sich zusammen aus den Variablen:

- NV, der Niederschlagssumme in den Monaten Mai bis einschließlich September,
- Frisch, der Bodenfrische, ausgedrückt auf einer Skala zwischen 0 (sehr trocken) und 1 (nass), abgeleitet aus dem einheitlichen Anspracheschema des Arbeitskreis Standortkartierung (1985),
- MV, dem Ariditätsindex nach de Martonne für die Monate Mai bis einschließlich September.

Für jede dieser Variablen stellt das Standort-Leistungsmodell je Baumart eine sogenannte Wirkungsfunktion (KAHN 1994) bereit, die die jeweilige Variable auf eine Skala zwischen 0 und 1 abbildet. Die Wirkungsfunktionen geben an, wie günstig oder ungünstig die Ausprägung einer Standortvariablen für das Wachstum der jeweiligen Baumart ist. Werte um 1 zeigen den ökologischen Optimalbereich der Baumart an, sehr kleine Werte deuten auf sehr ungünstige Wuchsbedingungen hin.

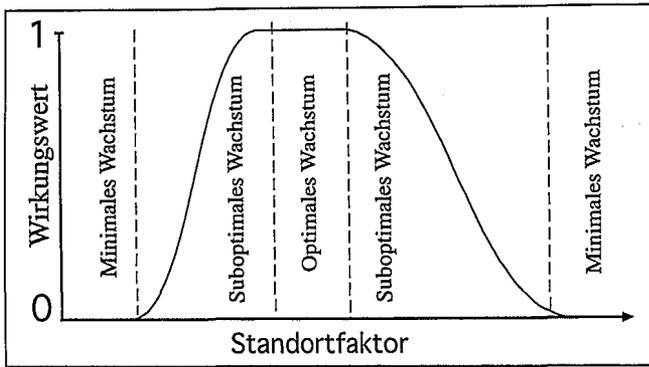


Abb. 4: Typische im Standort-Leistungs-Modell verwendete Wirkungsfunktion zur Abbildung von Standortvariablen auf Wirkungswerte im Intervall [0;1]. Der Wertebereich der Standortvariablen wird durch die Wirkungsfunktion in drei disjunkte Bereiche geteilt: Dies sind der Bereich optimalen Wachstums (Wirkungswert = 1), der Bereich suboptimalen Wachstums (Wirkungswert im Intervall [0;1]) und der Bereich minimalen Wachstums (Wirkungswert = 0). Im Standort-Leistungsmodell können sich unterschiedlich ausgeprägte Wirkungswerte verschiedener Standortvariablen zu einem gewissen Grad gegenseitig kompensieren.

Auf der Grundlage der eingegebenen Standortvariablen und der Wirkungsfunktionen berechnet das Standort-Leistungsmodell für jede vorkommende Baumart je Standortvariable einen Wirkungswert zwischen 0 und 1. Abbildung 4 zeigt die typische Gestalt einer solchen Wirkungsfunktion. In einem weiteren Schritt werden die drei einer Gruppe zugehörigen Wirkungswerte zu jeweils einem komplexen ökologischen Faktor aggregiert, der seinerseits den Wertebereich zwischen einschließlich 0 und 1 abdeckt. Diese Aggregation

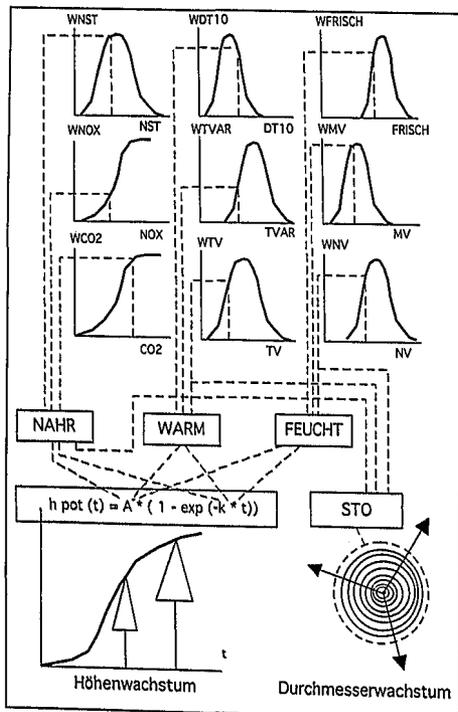


Abb. 5: Schematische Darstellung des Standort-Leistungs-Modells des Wachstumssimulators SILVA. Die Ausprägungen der Standortparameter NST, DT10, ..., NV werden über Wirkungsfunktionen in die Wirkungswerte WNST, WDT10, ..., WNV abgebildet. Diese beeinflussen die hpot-Funktion bzw. die Variable STO, die von wesentlichem Einfluss auf die Höhen- bzw. Durchmesserwachstumsprognose sind. Weitere Erklärungen im Text.

kann. Die drei so berechneten komplexen ökologischen Wirkungsfaktoren werden mit Nahr, Warm und Feucht bezeichnet. Auf der Grundlage dieser komplexen Wirkungswerte werden nun die beiden Teilmodelle, die für die Prognose des Höhen- und des Durchmesserzuwachses (Abb. 5) herangezogen werden, voreingestellt.

Die Parametrisierung des Standort-Leistungsmodells beruht auf den Daten von insgesamt 277 Versuchspartellen, die räumlich von Schleswig-Holstein bis zur Schweiz reichen und aus dem niedersächsischen bzw. schweizerischen forstlichen Versuchswesen stammen. Hinzu kommen 50 Partellen aus dem Bayerischen Versuchsfächennetz (KAHN 1994).

Aufgrund seiner Parametrisierung ist das Standort-Leistungsmodell kaum zur Vorhersage von Auswirkungen jährlicher Klimaschwankungen oder extremer Witterungsereignisse geeignet. Vielmehr eignet es sich zur Analyse der Auswirkungen mittel- bis langfristiger standörtlicher bzw. klimatischer Änderungen, wie sie Gegenstand des skizzierten Projektes sind.

5 Klimafolgen für das Wachstum von Fichtenbeständen

Für die Sensitivitätsstudie wurden die Daten von Bundeswaldinventur (1987–1990) und Datenspeicher Waldfonds (1993) in mehreren Stufen verwendet. Erstens wurden mit diesen Daten Funktionsgleichungen zur Schätzung von Bestandescharakteristika entwickelt, zweitens wurden mit ihnen die verbreitetsten Standorte der vorläufig ausgeschiedenen Wuchsregionen (WOLFF et al. 1998) identifiziert und drittens ließ sich mit Hilfe dieser Datensätze die Durchforstungsstärke bei der Einsteuerung von Behandlungsstrategien der Simulationsprognose quantifizieren.

Für die Sensitivitätsstudie wurden die verbreitetsten Fichtenstandorte des zur Verfügung gestellten Datenmaterials ausgewählt. WOLFF et al. war es möglich, Bestockungs- und Standortinformationen der südwestlichen Inventurpunkte der Bundeswaldinventur (BWI) miteinander zu verknüpfen. Im Falle des Datenspeicher Waldfonds (DSW) gelang ihnen eine Verschneidung mit den Daten der ökologische Waldzustandskontrolle (ÖWK). Leider waren nicht für jeden Inventurpunkt die Standortdaten vorhanden. Von der BWI konnten daher nur 1701 (37,1 %) und vom DSW 1511 (57,0 %) Datensätze verwendet werden. Die punktbezogenen Standort- und Klimacharakteristika dienten als Grundlage für die Stratifizierung der Inventureinheiten. Als Stratifizierungsmerkmale des Standortes wurden folgende Variablen ausgewählt:

- Bodenfrische (12-stufige Skala nach WOLFF et al. 1998)
 - Nährstoffversorgung (5-stufige Skala nach WOLFF et al. 1998)
 - Höhen/Wärmestufen (planar-kollin, submontan, montan, hochmontan, subalpin ausgeschieden auf der Basis der mittleren Jahrestemperatur)
 - Kontinentalität (subozeanisch, subkontinental ausgeschieden in Abhängigkeit von der Jahrestemperaturamplitude)
- Auf Grund dieser vier zugeordneten Standortmerkmale wurden nun für die BWI/DSW-Punkte mit der führenden Baumart Fichte eine Frequenzanalyse durchgeführt und die Straten (Kombination von vier zugeordneten Standortmerkmalen) ausgeschieden. Tabelle 1 enthält einen Überblick über die Ergebnisse dieser Stratifizierung und charakterisiert die am häufigsten gefundenen Straten einzelner Wuchsregionen Deutschlands.

Die ausgeschiedenen Straten sind „wachstumshomogen“, was eine eindeutige Einsteuerung des Wachstumsmodells SILVA 2.2 und die standortsabhängige Prognose der Entwicklung der Waldbestände ermöglicht. In einigen Wuchsregionen erlaubten die Daten leider nur eine sehr niedrige statistische Repräsentation des Standortes (Wuchsregionen 1–4, 8, 10, 18).

Ziel der Sensitivitätsstudie ist es, flächenbezogene Aussagen zum Wuchsverhalten der Fichtenbestände in den Regionen Deutschlands zu formulieren. Es wurde eine Prognose des Fichtenwachstums in den Wuchsregionen unter gegenwärtigen und veränderten Klimabedingungen durchgeführt. Dazu wurden zunächst für alle Wuchsregionen repräsentative Waldbestände definiert. Diese wurden für jede Wuchsregion mit einem dort sehr häufig mit Fichten bestockten Standort (Tab. 1) und mit bekannter Grundflächenentwicklung in das Wuchsmodell SILVA eingesteuert und 120 Jahre fortgeschrieben.

Der nächste Schritt war eine Prognoserechnung unter veränderten Klimabedingungen, die in gleicher Weise wie die oben erwähnte Prognose durchgeführt wurde. Die Einsteuerung für Standort und Grundflächenhaltung wird dabei nicht verändert. So wurden bei derzeitigem und prognostiziertem Klima für die einzelnen Wuchsregionen die

Charakteristika von Naturalproduktion, Ökonomie und Ökologie berechnet und können miteinander verglichen werden.

Durch die Verknüpfung des geografischen Informationssystems mit dem Wuchsmodell SILVA lassen sich Karten mit unterschiedlichen ökologischen und ökonomischen Kenngrößen darstellen. Dadurch wird auch der Vergleich der Ergebnisse wesentlich verbessert und die räumliche Analyse erleichtert. So können z. B. Risikogebiete für ein prognostiziertes Klimaszenario leicht räumlich identifiziert werden.

5.1 Klimadaten

Das heutige Klima wurde auf der Grundlage der von der Climate Research Unit in East Anglia (UK) gestellten Klimadaten aufbereitet und auf die Inventurpunkte von BWI und DSW/ÖWK interpoliert. Für das gegenwärtige Klima benötigte aggregierte Klimadaten wurden auf der Basis der Jahre 1961–1990 erzeugt (LINDNER 2000).

Das Klimaszenario wurde für die Jahre 2041–2070 vom Potsdam Institut für Klimafolgenforschung berechnet und auf die Inventurpunkte von BWI und DSW/ÖWK übertragen. Dabei wurde ein Anomalieansatz des Klimaszenarios des globalen Klimamodells vom Hadley Center (HadCM2, transienter Lauf IS92) entsprechend einer Verdoppelung des CO₂-Gehalts der Erdatmosphäre benutzt (MICHELL et al. 1995). Nach diesem Szenario steigen die Mitteltemperaturen in der Vegetationszeit um +2,15 °C (1,4 bis 3,4 °C), die Niederschläge in der Vegetationszeit ändern sich dabei wenig (von -43,6 bis +41,1 mm), die Anzahl der Tage mit der Temperatur über 10 °C steigt durchschnittlich um 50,1 Tage (min 29, max 124) und die Jahrestemperaturamplitude sinkt durchschnittlich um 2,55 °C (min -4,6, max +1). Regionaltypische Unterschiede sind in Abbildung 6 zu sehen, die die Differenzen der Temperatur in der Vegetationszeit bei gegenwärtigem Klima und ausgewähltem Klimaszenario zeigt. Es gilt, dass sich das Klima verschiedener Regionen Deutschlands nicht gleichartig, sondern differenziert verändern soll.

Tab. 1: Charakteristika ausgewählter Standorte auf der Basis der Bundeswaldinventur und des Datenspeichers Waldfonds, auf deren Grundlage die Sensitivitätsstudie durchgeführt wurde.

Nr.	Wuchsregion	Bodenfrische	Nährstoffversorgung	Höhen/Wärmestufen	Kontinentalität
1	Nordsee-Küstenraum	mäßig frisch	mittel	planar-kollin	subozeanisch
2	Ostsee-Küstenraum	staufeucht	mittel	submontan	subkontinental
3	Heide und Altmark	mäßig frisch	mittel	planar-kollin	subkontinental
4	Ostdeutsches Tiefland	grund feucht	kräftig	planar-kollin	subkontinental
5	Ostdeutsches Lössstief- und Hügelland	grundfrisch	mittel	submontan	subkontinental
6	Mitteldeutsches Berg- und Hügelland	mäßig frisch	kräftig	submontan	subozeanisch
7	Harz	grund feucht	mittel	montan	subkontinental
8	Rheinisch-Westfälische Bucht		ziemlich arm	planar-kollin	subozeanisch
9	Rheinisches Schiefergebirge und angrenzende Hügelländer	mäßig frisch	ziemlich arm	submontan	subozeanisch
10	Rheintal und angrenzende Hügelländer	mäßig frisch	mittel	planar-kollin	subozeanisch
11	Vogelsberg, Odenwald, Spessart	mäßig frisch	ziemlich arm	planar-kollin	subozeanisch
12	Bayerischer-, Oberpfälzer-, Franken-, Thüringer Wald und Erzgebirge	grund feucht	mittel	montan	subkontinental
13	Württembergisches-Fränkisches Hügelland	mäßig frisch	ziemlich arm	planar-kollin	subozeanisch
14	Schwarzwald	mäßig frisch	ziemlich arm	submontan	subozeanisch
15	Schwäbisch-Fränkische Alb	mäßig frisch	ziemlich arm	submontan	subkontinental
16	Alpenvorland	mäßig frisch	reich	submontan	subkontinental
17	Schwäbisch-Bayerische Jungmoräne und Molassevorberge	sehr frisch	reich	submontan	subkontinental
18	Bayerische Alpen	sehr frisch	reich	montan	subkontinental

Von verschiedenen globalen und regionalen Klimamodellen wurde für das Waldstudien-Projekt ein eher pessimistisches Szenario ausgewählt, bei dem die Emission von CO₂, des Leitgases des Treibhauseffektes, nicht wirksam reduziert werden kann. Bei der Fortsetzung dieses Projektes werden aber auch andere Ansätze zur Abschätzung der Klimaentwicklung zur Anwendung kommen, die bei manchen Variablen eine z. T. weniger starke Veränderung vorsehen.

5.2 Ergebnisse

Die Resultate zur Entwicklung der Mittelhöhe, des durchschnittlichen Gesamtwachses und zur durchschnittlichen Gesamtwerteleistung erbringen deutliche Unterschiede zwischen den Szenarien. Mit Ausnahme der Wuchsregionen 7- Harz, 12- Bayerischer-, Oberpfälzer-, Franken-, Thüringer Wald und Erzgebirge und 15- Schwäbisch-Fränkische Alb findet man überall in Deutschland eine deutlich negative Änderung des Wachstums. Das veränderte Klima bremst nicht nur das Höhenwachstum, sondern vermindert auch das Durchmesserwachstum und erhöht die natürliche Mortalität, was sich wiederum in einem verringerten dGZ und einer niedrigeren Gesamtwerteleistung niederschlägt.

In Wuchsregionen, in denen die Fichte im oder in der Nähe des klimatischen Optimums vorkommt, liegen die Änderungen des Wachstums zwischen 0 und -30 %. Die stärksten Veränderungen sollen nach dem in Kap. 5.1 vorgestellten Klimaszenario in den Wuchsregionen 4- Ostdeutsches Tiefland, 8- Rheinisch-Westfälische Bucht und 10- Rheintal und angrenzende Hügelländer auftreten. In diesen Wuchsregionen befindet sich die Baumart Fichte (in Bezug auf die Temperatur in der Vegetationszeit) am oberen Rand ihrer ökologischen Amplitude. Deswegen verursacht die erhöhte Temperatur in der Vegetationszeit (größer als 18 °C) ein vermehrtes Absterben von Individuen dieser Baumart.

Der durchschnittliche Minderertrag (Abb. 7), der sich bei diesem Klimaszenario ergibt, liegt zwischen +6 und -675

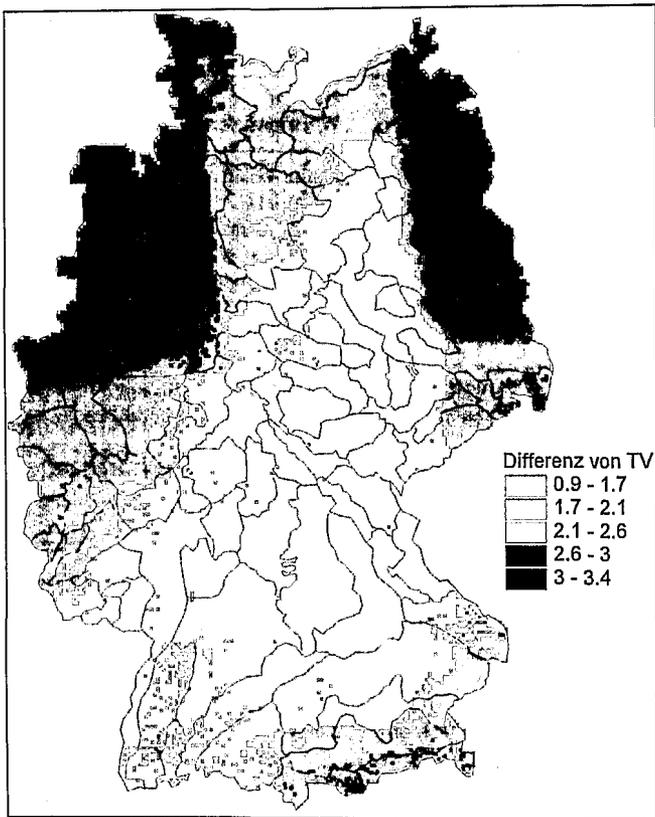


Abb. 6: Thematische Karte mit regionalen Auswirkungen des Temperaturanstiegs in der Vegetationszeit bei vorgegebenem Klimaszenario.

DM/ha und Jahr. Dieser Minderertrag bezieht nicht nur Bonitätsänderung ein, sondern auch die Änderung der Bestandesdichte und der Sortimentsstruktur. Die Wertleistung wurde mit der Einstellung der Durchschnittspreise der Bayeri-

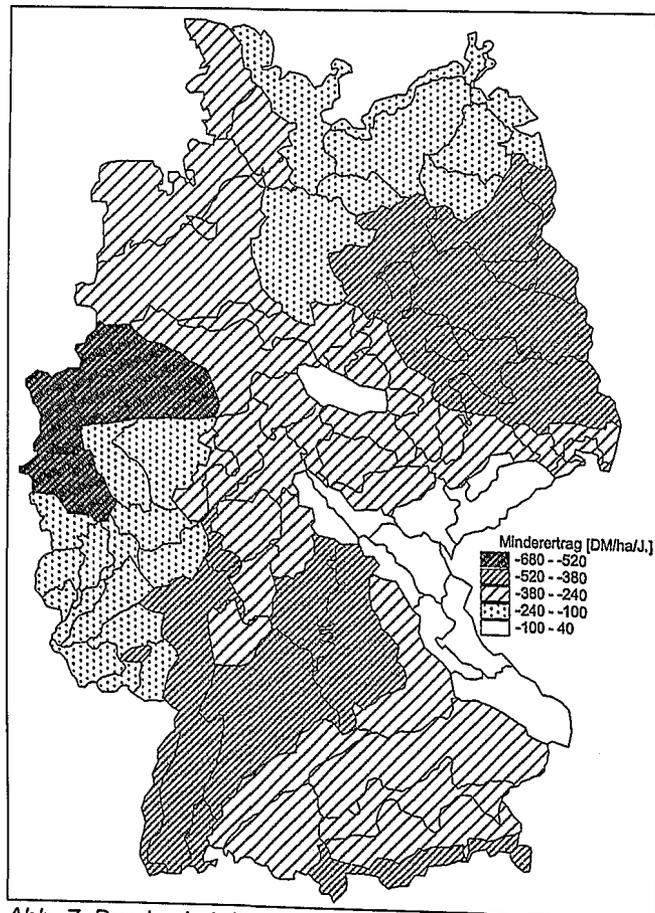


Abb. 7: Durchschnittlicher Minderertrag pro Hektar und Jahr in einzelnen Wuchsregionen Deutschlands bei vorgegebenem Klimaszenario.

schen Staatsforstverwaltung der Forstwirtschaftsjahre 1987–1997 für gerücktes und unentrindetes Holz durchgeführt. In der flächenbezogenen Auswertung findet man eine gute Übereinstimmung zwischen der regionaltypischen Temperaturerhöhung in der Vegetationszeit (Abb. 6) und der Höhe des Minderertrags.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu betonen, dass die von Wolff et al. zur Verfügung gestellten Standorte einzelner Wuchsregionen nicht immer auch die tatsächlich verbreitetsten Standorte repräsentieren müssen. Dazu kommt auch das Gewicht der Baumart Fichte, die in einzelnen Wuchsregionen ganz unterschiedliche Verbreitung und Bedeutung hat.

Tab. 2: Ergebnisse der Sensitivitätsstudie der Baumart Fichte als Reaktion auf eine Klimaänderung.

Wuchsregion	BON	Differenzen zwischen der Entwicklungsprognose bei gegenwärtigem Klima und ausgewähltem Klimaszenario		
		HO ₍₁₀₀₎ [%]	dGZ ₍₁₀₀₎ [%]	dGWZ ₍₁₀₀₎ [%]
1	26.7	-37	-40	-50
2	29.4	-35	-35	-37
3	21.8	-27	-21	-25
4	28.4	-100	-100	-100
5	26.2	-41	-44	-59
6	31.5	-16	-27	-47
7	27.1	0	-2	-1
8	32.1	-100	-100	-100
9	30.5	-23	-23	-25
10	31.4	-100	-100	-100
11	33.2	-42	-50	-76
12	27.9	0	2	2
13	31.6	-45	-58	-80
14	31.3	-13	-24	-43
15	30.7	-8	-17	-36
16	32.4	-28	-29	-33
17	27.8*	-27	-28	-34
18	27.8*	-13	-24	-40

BON – Durchschnittliche Bonität der Wuchsregionen
 HO₍₁₀₀₎ – Oberhöhe im Alter 100
 dGZ – durchschnittlicher Gesamtwuchs
 dGWZ – durchschnittlicher Gesamtwertzuwachs
 *) Bonitäten wurden auf derselben Datengrundlage errechnet.

6 Einfluss großregionaler Standortänderungen

Die Planungsunterlagen der Forstwirtschaft unterstellten lange Zeit die Konstanz der Standortbedingungen (ASSMANN 1961). In den letzten Jahren mehren sich aber die Hinweise (Kap. 2), dass diese Grundannahme nicht mehr gegeben ist. Es ist damit zu rechnen, dass sich sowohl das Klima als auch die Nährstoffausstattung ändern und damit die Qualität des Standorts beeinflusst wird.

Mit einer Simulation des Temperaturanstiegs in der Vegetationszeit (andere Faktoren bleiben konstant), wird gezeigt, wie sich ein Temperaturanstieg um 1 und 3 °C auf die Produktivität eines repräsentatives Bestandes in der Wuchsregion 12 (Bayerischer-, Oberpfälzer-, Franken-, Thüringer Wald und Erzgebirge) auswirkt. Bei einer gegenwärtigen Temperatur in der Vegetationszeit von 13,3 °C wird die Produktivität (gemessen mit dGZ in Alter 100) des Bestandes als 100 % betrachtet. In Abbildung 8 ist zu sehen, dass in der betrachteten Wuchsregion 12 die Lufttemperatur für Fichte aber auch für Buche nicht im Optimum liegt, und ein Temperaturanstieg um 1 °C eine positive Änderung der Produktivität (bei der Fichte um 5,9 % und bei der Buche um 11,7 %) verursacht. Eine andere Situation entsteht bei der Erhöhung der Tempe-

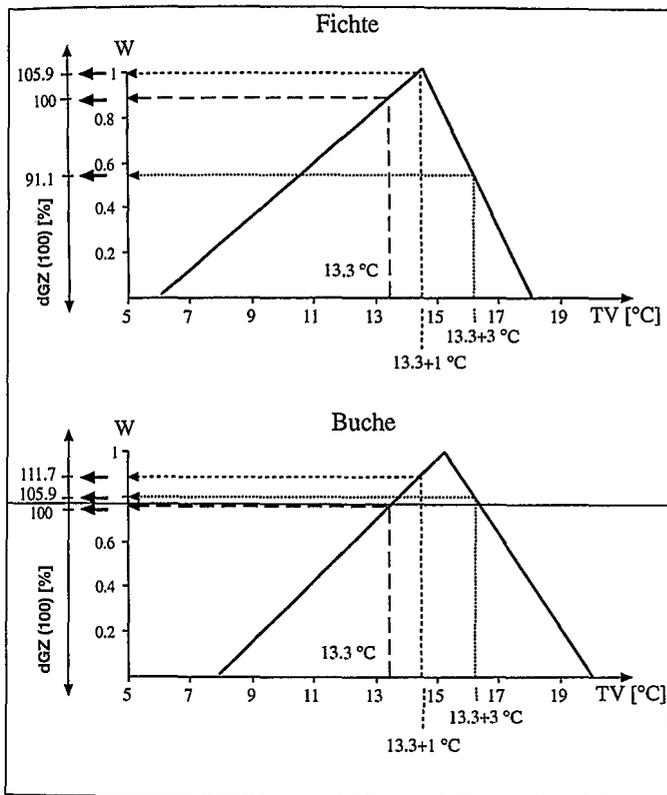


Abb. 8: Schematische Darstellung der Auswirkung des Anstiegs der Temperatur in der Vegetationszeit auf den dGZ für einen repräsentativen Waldbestand der Baumart Fichte und Buche in der Wuchsregion 12.

ratur um 3 °C. In diesem Fall befindet sich die Fichte hinsichtlich der Temperatur schon im Pessimum, und die Produktivität sinkt um 8,9 %. Anders ist es bei der Buche, weil ihr Optimum breiter ist als das der Fichte. Die Buche sollte daher auf diese Änderung (in Bezug zum gegenwärtigen Klima) positiv reagieren, was sie auch mit einem prognostizierten Anstieg der Produktivität um 5,9 % tut.

Die durchgeführte Simulation sollte zeigen, dass eine Klimaänderung unterschiedliche Reaktionsmuster zur Folge haben kann. Ob diese positiv oder negativ sind, hängt davon ab, in welchem Versorgungsbereich sich die Bäume auf einem bestimmten Standort befinden und ob die Änderungen einzelner Wirkungsgrößen sich im Sättigungsbereich des ökologischen Faktors oder in kritischen Bereichen abspielen. Es wäre fehlerhaft, Trends nur von einem Ast der Wirkungsfunktion abzuleiten und diese dann linear zu extrapolieren. Die Ergebnisse haben auch gezeigt, dass die Reaktionsmuster stark baumartenspezifisch sind.

Auf den Befund, dass die Fichte sehr stark auf Änderungen der Temperatur in der Vegetationszeit reagiert, hat schon THOMAS (1991) hingewiesen. Danach toleriert die Fichte nur eine relativ geringe Temperaturamplitude zwischen 5-8 °C der Jahresmitteltemperatur. In vielen Regionen Deutschlands liegt die Jahresmitteltemperatur bereits bei 7-7,5 °C. Schon eine geringe Temperaturänderung würde die Baumart Fichte demnach in den Randbereich ihres ökologischen Spektrums bringen.

7 Konsequenzen für Forstwirtschaft und Forstwissenschaft

In Regionen mit deutlich positivem Wachstumstrend können die Konsequenzen auf eine Ausschöpfung der standörtlichen Verbesserung durch Übergang zu höheren Bestandesdichten, Anhebung der Nutzungssätze oder Erweiterung des standortbedingten Baumartenspektrums mit dem Ziel der Risikostreuung hinauslaufen. Den abwärts

gerichteten Wachstumstrends kann durch Schadstoffminderung, Maßnahmen der Bestandesstabilisierung und Risikostreuung begegnet werden. Standortbedingt rückläufige Zuwächse können, wie im Folgenden am Beispiel von Fichte und Buche im Oberbayerischen Tertiärhügelland (Standortseinheit 203, mäßig frischer bis frischer Lehm) gezeigt wird, durch einen Übergang zu angepassteren Baumarten kompensiert werden. Wir betrachten zunächst, wie sich der dGZ in Fichtenbeständen auf dieser Standorteinheit unter gegebenen Klimabedingungen verhält: Abbildung 9 (links, durchgezogene Linie) zeigt den Anstieg des dGZ bis auf über 20 m³/ha und einen Rückgang ab Alter 140. Dieser Altersgang der Fichte unter gegenwärtigen Klimabedingungen wird in Abbildung 9 (rechts) als Referenz (100 %-Linie) eingesetzt und mit dem Bestandeswachstum der Fichte bei Klimaveränderungen (Temperaturanstieg in der Vegetationsperiode um 2 °C, Rückgang der Niederschläge in der Vegetationsperiode um 10 % und Verlängerung der Vegetationszeit um 10 Tage) gegenübergestellt. Wir erkennen, dass der dGZ der Fichte dann um etwa 10 % absinkt (gestrichelte Linie). Weiter wird geprüft, inwieweit dem zu erwartenden Zuwachsverlust durch eine Beimischung von 30 bzw. 70 % Buche entgegen gewirkt werden kann. Bei einer Beimischung von 30 % Buche, die den unterstellten Klimabedingungen besser gewachsen ist, können die klimabedingten Zuwachsverluste der Fichte bei Umtriebszeiten von 100 bis 150 Jahren überkompensiert werden. Eine Beimischung von 70 % Buche vermag die klimabedingten Zuwachsverluste der Fichte erst im Alter 150 auszugleichen.

Im Rahmen der genannten „Deutschen Waldstudie“, an der weitere Forschungsinstitutionen in Göttingen, Hamburg, Potsdam und Eberswalde beteiligt sind, werden die Auswirkungen möglicher Klimaveränderungen auf den Wald und die Forstwirtschaft untersucht. Für Modellbestände, ausgewählte Forstbetriebe und die Waldfläche der Bundesrepublik insgesamt werden die Konsequenzen möglicher Klimaverschiebungen für die ökologische Stabilität, den Holzertrag sowie die Schutz- und Erholungswirkungen des Waldes analysiert. Der gewählte Forschungsansatz verbindet natur- und gesellschaftswissenschaftliche Aspekte und überwindet die häufig beklagte Sprachlosigkeit zwischen diesen Disziplinen.

Das Klima hat mit der Erhöhung des CO₂-Gehalts in der Erdatmosphäre einen direkten Einfluss auf das Waldwachstum. Der Wald bindet andererseits wiederum CO₂, ein Effekt, den man durch geeignete Bewirtschaftungsmaßnahmen und Baumartenwahl noch steigern kann. Die Gesellschaft kann auf Klimaänderungen direkt reagieren und die Ursache bekämpfen, indem sie den Ausstoß des klimarelevanten Leitgases verringert. Sie hat aber auch eine andere Handlungsalternative. Die Gesellschaft kann versuchen, die Symptome einer Klimaänderung zu kurieren, indem sie einen Waldbau veranlasst, der mit angepassten Baumarten und Bewirtschaftungsmaßnahmen (DUSCHL 1999) auf neue Standortbedingungen reagiert.

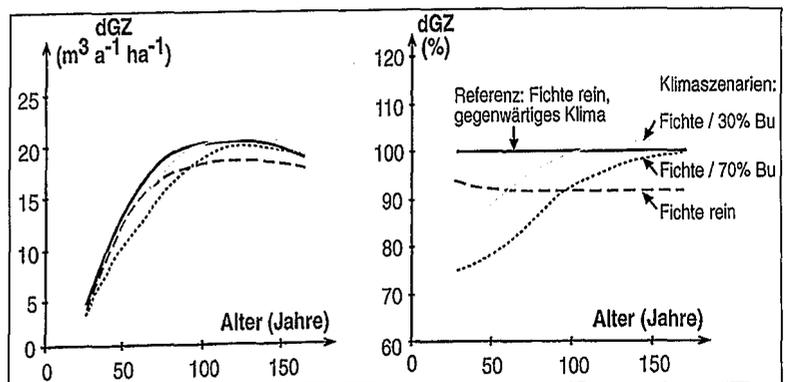


Abb. 9: Wuchsleistung der Fichte im Rein- und Mischbestand unter gegenwärtigen und veränderten Klimabedingungen.

8 Zusammenfassung

Die festgestellten Mehrzuwächse im Vergleich zu den gängigen Ertragstafeln von 12 bis 43 % unterstreichen die Mängel der heute verwendeten Ertragstafeln und liefern Indizien für einen langfristigen Wachstumstrend. Die für die Nordhemisphäre nachgewiesene Temperaturerhöhung und Verlängerung der Vegetationszeit bieten eine wahrscheinliche Erklärung für den großregionalen Zuwachsanstieg. Das Ausmaß der Zuwachsreaktion ist von der artspezifischen ökologischen Amplitude abhängig und wird durch lokal und regional wirksame Einflussfaktoren, etwa lokale Standortbedingungen, Stoffeinträge und biotische Stressoren überprägt. Diese Überprägung erbringt eine Vielfalt von Zuwachsreaktionsmustern und positive wie negative Abweichungen vom erwarteten alterstypischen Zuwachsgang. Sie liefert einen Erklärungsansatz für den zunächst paradox erscheinenden Befund, dass geradezu hypertrophes Wachstum, Zuwachsrückgänge und Bestandesauflösungen zeitgleich nebeneinander auftreten können. Die Szenariorechnungen für die Baumart Fichte zeigen, dass die gegenwärtige Zuwachssteigerung bei stärkeren Klimaveränderungen je nach ökologischer Amplitude der Baumarten auch in gravierende Zuwachsrückgänge und Verschiebungen der Konkurrenzverhältnisse umschlagen kann.

Abstract

It has been found that increments in forest stands, considered on a supra-regional scale, are showing a considerable upwards trend over the past few decades. For the past two decades repeated forest inventories in Bavaria have diagnosed an increase of 10–20 % in standing volume and showed that species-specific annual volume increment exceeds yield tables by 12 bis 43 %. In the Northern hemisphere the uncontested rise in temperature and prolongation of the vegetation period offer an probable explanation for supra-regional increment increase. This increase is overlaid by various factors with local and regional impacts such as local site conditions, nutrient inputs and biotic stress factors. This superimposition brings about a great variety of increment reaction patterns and positive as well as negative deviations from the expected increment curve for typical age classes. It also provides an approach towards explaining the paradox that downright hypertrophic growth, increment decreases and stand dissolutions may occur side by side and at the same time. The scenario calculations for spruce show, that global climate change may also result in a major loss of increment and in a change of competition due to the ecological amplitude of the tree species even on those sites, where we can find a current increase of increment.

Literatur

ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG (1985): Forstliche Wuchsgebiete und Wuchsbezirke in der Bundesrepublik Deutschland. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 170 S.

ASSMANN, E. und F. FRANZ (1963): Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. Institut für Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt München. 104 S.

ASSMANN, E. (1961): Waldertragskunde. BLV Verlagsgesellschaft München. 490 S.

BAYERISCHER KLIMAFORSCHUNGSVERBUND (1999): Klimaänderungen in Bayern und ihre Auswirkungen. Abschlussbericht. 90 S.

BIBER, P.; C. RAPPOLD; H. PRETZSCH (1998): Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Wuchsverhalten von Fichte, Tanne und Buche in unterschiedlichen Höhenlagen der Alpen bei Veränderung der Wuchsbedingungen“. Bayerisches Klimaforschungsprogramm BayFORKLIM. 60 S.

BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (1990): Bundeswaldinventur (BWI). Band 1: Inventurbericht. Bonn, 117 S.

DURSKY, J. u. A. PAVLICKOVA (1997): Growth Responses of Pine on Assumed Global Climatic Changes in The Region of Záhorská Nížina. MVK. In: Trvaloost obhospodarovania lesov v hospodárskej úprave lesov, plánovaní a lesníckej politike, „Les - drevo - životné prostredie“. S. 149–159.

DURSKY, J., A. POMMERENING u. M. POTT (1999): Wälder und Forstwirtschaft Deutschlands im globalen Wandel: Strategie für eine integrierte Wirkungsanalyse und Bewertung. Abschlussbericht des Teilprojekt 3: Simulation bewirtschafteter Wälder. 86 S.

DUSCHL, Ch. (1999): Wälder und Forstwirtschaft Deutschlands im globalen Wandel: Strategie für eine integrierte Wirkungsanalyse und Bewertung. Abschlussbericht des Teilprojekt 5: Sozioökonomische Auswirkungen, Freising, 57 S.

FABIAN, P., u. A. MENZEL (1998): Wie sehen die Wälder von morgen aus – aus der Sicht eines Klimatologen. Forstw. Cbl. 117, S. 339–354.

FABIAN, P. (1991): Klima und Wald – Perspektiven für die Zukunft. Forstw. Cbl. 110, S. 286–304.

FRANZ, F., J. BACHLER, B. DECKELMANN, E. KENNEL, R. KENNEL, A. SCHMIDT und U. WOTSCHIKOWSKY (1973): Bayer. Waldinventur 1970/71. Forstl. Forschungsber. München, 12, 344 S.

KAHN, M. (1994): Modellierung der Höhenentwicklung ausgewählter Baumarten in Abhängigkeit vom Standort. Forstl. Forschungsber. München, 141, 221 S.

KAHN, M., u. H. PRETZSCH (1997): Das Wuchsmodell SILVA-Parametrisierung der Version 2.1 für Rein- und Mischbestände aus Fichte und Buche. Allg. Forst- und Jagdzeitung, 168, 6–7, S. 115–123.

KAUPPI, P. E., K. MIELIKÄINEN u. K. KUUSELA (1992): Biomass and carbon budget of European forests. 1971 to 1990. Science Bd. 256, S. 70–74.

KEELING, C. D., T. P. WHORF, M. WAHLEN, u. J. Van der PLICHT (1995): Interannual extremes in the rate of rise of atmospheric carbon dioxide since 1980. Nature Vol. 375, S. 666–670.

KENK, G., H. SPIECKER u. G. DIENER (1991): Referenzdaten zum Waldwachstum. Kernforschungszentrum Karlsruhe. KfK-PEF 82, 59 S.

LINDNER, M. (2000): Integrierte Klimawirkungsanalyse im Forstsektor – bisherige Erfahrungen und Perspektiven. Symposium: Wälder und Forstwirtschaft Deutschlands im Globalen Wandel. Freising, 27. bis 28. Januar 2000.

MITCHELL, J. F. B., T. C. JOHNS, J. M. GREGORY u. S. F. B. TETT (1995): Climate response to increasing levels of greenhouse gases and sulphate aerosols. Nature 376, 50–504.

MYNENI, R. B., C. D. KEELING, C. J. TUCKER, G. ASRAR u. R. R. NEMANI (1997): Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. Nature Vol. 386, S. 698–702.

POTT, M. (1997): Wachstum der Fichte in Bayern - Auswertung von Daten der Forsteinrichtungsdatenbank der Bayer. Staatsforstverwaltung. Dip.-Arb. MWW-DA 117. LMU München. 95 S.

PRETZSCH, H., u. H. UTSCHIG (1998): Wachstumstrend der Fichte in Bayern. Abschlussbericht Projekt W 30, Freising, 159 S.

PRETZSCH, H. (1985): Wachstumsmerkmale süddeutscher Kiefernbestände in den letzten 25 Jahren. Forstl. Forschungsber. München, 65, 183 S.

PRETZSCH, H. (1992): Zunehmende Unstimmigkeit zwischen erwartetem und wirklichem Wachstum unserer Waldbestände. Konsequenzen für zukünftige ertragskundliche Informationssysteme. Forstw. Cbl. 111, S. 366–382.

PRETZSCH, H. (1996): Growth trends in Forests in southern Germany. In: Spiecker, Mielikäinen, Köhl, Skovsgaard [Hrsg.]: Growth trends in european forests. Springer-Verlag S. 107–131.

PRETZSCH, H. (1999): Waldwachstum im Wandel. Forstw. Cbl. 118, S. 228–250.

PRETZSCH, H., u. H. UTSCHIG (1998): Wachstumstrend der Fichte in Bayern. Abschlussbericht zum Projekt W 30 des Kuratoriums der Bayer.LWF, 162 S.

RÖHLE, H. (1994): Zum Wachstum der Fichte auf Hochleistungsstandorten in Südbayern. Ertragskundliche Auswertung langfristig beobachteter Versuchsergebnisse unter besonderer Berücksichtigung von Trendänderungen im Wuchsverhalten. Habilitationsschrift Forstwiss. Fak. Univ. München, 249 S.

SPIECKER, H., K. MIELIKÄINEN, M. KÖHL u. J. P. SKOVSGAARD [Hrsg.] (1996): Growth trends in European forests. Springer-Verlag 372 S.

THOMASUS, H. (1991): Mögliche Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Wälder in Mitteleuropa. Forstw. Cbl. 110, 5, S. 305–330.

UTSCHIG, H. (1989): Waldwachstumskundliche Untersuchungen im Zusammenhang mit Waldschäden. Auswertung der Zuwachstrendanalyseflächen des Lehrstuhles für Waldwachstumskunde für die Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) in Bayern. Forstl. Forschungsber. München, 97, 198 S.

WIEDEMANN, E. (1936/42): Fichten-Ertragstafel, in SCHOBER, R. (Ed.), 1975: Ertragstafeln wichtiger Baumarten. J. D. Sauerländer's Verlag, 154 S.

WOLFF, B., W. HÖLZER, D. FRÖMDLING u. S. BONK (1998): Datenaufbereitung für Modellrechnungen aus der Bundeswaldinventur (BWI) und dem Datenspeicher Waldfonds (DSW). Abschlussbericht zum Verbundprojekt „Wälder und Forstwirtschaft Deutschlands im globalen Wandel“. 59 S.

ZIMMERMANN, H.-J., u. P. ZYSNO (1980): Latent connectives in human decision making. Fuzzy Sets and Systems. H. 4. S. 37–51.

FDK: 564 : 111.83

Prof. Dr. HANS PRETZSCH ist Inhaber des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München, Dr. JAN DURSKY, Dr. ARNE POMMERENING und Dr. MAREK FABRIKA sind an diesem Lehrstuhl wissenschaftliche Mitarbeiter.