

PUBLIZIERBARER Endbericht Studien

(gilt nicht für andere Projekttypen)

A) Projektdaten

| | |
|---|---|
| Titel: | Auswirkungen des Klimawandels auf Österreichs Wälder – Entwicklung und vergleichende Evaluierung unterschiedlicher Prognosemodelle |
| Programm: | Klimafolgenforschung |
| Koordinator/ Projekteinreicher: | Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW), |
| Kontaktperson - Name: | DI Dr. Harald Mauser |
| Kontaktperson - Adresse: | A-1131 Wien, Seckendorff-Gudent-Weg 8 |
| Kontaktperson - Telefon: | +43 1 87838 1335 |
| Kontaktperson E-Mail: | harald.mauser@bfw.gv.at |
| Projekt- und Kooperationspartner (inkl. Bundesland): | Institut für Waldbau, Universität für Bodenkultur, Wien Institut für Waldwachstum, Universität für Bodenkultur, Wien |
| Projektwebsite: | - |
| Schlagwörter: | Waldwachstum, Modelle, Waldinventur |
| Projektgesamtkosten: | 347.069,- |
| Fördersumme: | 246.400,- |
| Klimafonds-Nr: | A760631 |
| Projektstart & Ende | 9/2008-10/2010 |

B) Projektübersicht

1 Executive Summary

Wälder spielen im Themenbereich Klimaänderung und Anpassungsstrategien eine wichtige Rolle, da sie einerseits Bestandteil des globalen Kohlenstoffkreislaufes sind und je nach Alter bzw. Entwicklungsstadium Kohlenstoffsenken oder -quellen darstellen. Andererseits wirken sich Klimaänderungen entscheidend auf verschiedene ökologische Prozesse in Wäldern aus (z.B. Wachstum, Mortalität, Reproduktion, Stoffumsetzung). Für beide Bereiche besteht dringender Bedarf an quantitativen Abschätzungen, wie sich die Waldressourcen und ihre Leistungsfähigkeit (Biomasse- und Holzproduktion) unter sich ändernden Klimabedingungen in den nächsten Jahrzehnten entwickeln werden. Zusätzlich stellen die Abschätzung von Risikofaktoren (Störungen durch z.B. Sturm oder Insekten) und die mögliche Verschiebungen von Vegetationszonen wichtige Aspekte dar.

Ziel dieses Projekts war daher die Weiterentwicklung von drei vorhandenen Waldwachstumsmodellen, um die Auswirkungen eines Klimawandels auf den Österreichischen Wald abschätzen zu können. Auf Grundlage der Daten der Österreichischen Waldinventur (ÖWI) und der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) wurden die Modelle mit Hilfe von statistischen Methoden kalibriert und auf einen gemeinsamen Datensatz angewendet. Anschließend wurden die prognostizierten Zuwächse den gemessenen Zuwächsen gegenübergestellt und ebenfalls mit Hilfe von statistischen Methoden analysiert. Die Klimasensitivität der Modelle wurde untersucht, indem der klimabedingte Verlauf einer Zustandsgröße (z.B. Zuwachs) mit dem aus der ÖWI abgeleiteten Verlauf verglichen wurde.

Die Projektergebnisse liefern verbesserte methodische Grundlagen für zukünftige Holz- bzw. Biomasseaufkommensstudien. Ferner tragen sie bei zur Abschätzung der C-Speicherkapazität unter geänderten Umweltbedingungen (Kyoto und post-Kyoto relevante Reporting-Verpflichtungen) und ermöglichen die Ausarbeitung von Richtlinien für die praktische Waldbewirtschaftung.

2 Hintergrund und Zielsetzung

1. Hintergrund des Forschungsvorhabens und Problemstellung

In den letzten Jahren haben die Themenbereiche Klimaänderung und Anpassungsstrategien stark an Bedeutung für die Forst-, Umwelt- und Nachhaltigkeitspolitik sowie für die Forstwirtschaft gewonnen. Wälder spielen dabei eine zweifache Rolle:

- 1) Wälder sind Bestandteil des globalen Kohlenstoffkreislaufes und wirken je nach Alter bzw. stadialer Phase als Senken bzw. als Quellen. Diese Wirkungen können in begrenztem Umfang durch Landnutzungs- und Bewirtschaftungsmaßnahmen gesteuert werden. Der Ersatz fossiler Brennstoffe durch Waldbiomasse gewinnt zunehmend an Bedeutung und stellt Forstwirtschaft und Forstwissenschaft vor neue Herausforderungen.
- 2) Klimaänderungen wirken entscheidend auf das Vorkommen, die Zusammensetzung und ökologische Prozesse von Wäldern (z.B. Wachstum, Mortalität, Reproduktion, Stoffumsetzung) und damit auf deren Fähigkeiten, die von ihnen erwarteten vielfältigen Wirkungen und Leistungen nachhaltig zu erbringen. Die langsame Reaktionsfähigkeit der Wälder auf geänderte Umweltbedingungen und die befürchtete, relativ rasche Änderung des Klimas verlangt frühzeitiges Erkennen möglicher Gefährdungen, um noch rechtzeitig Anpassungsstrategien entwickeln und erforderliche Maßnahmen einleiten zu können.

Für beide Bereiche besteht dringender Bedarf an quantitativen Abschätzungen, wie sich die Waldressourcen und ihre Leistungsfähigkeit (Biomasse- und Holzproduktion) unter sich ändernden Klimabedingungen in den nächsten Jahrzehnten entwickeln werden. Zusätzlich stellen die Abschätzung von Risikofaktoren (Störungen durch z.B. Sturm oder Insekten) und die mögliche Verschiebungen von Vegetationszonen wichtige Aspekte dar. Neben zuverlässigen Ausgangsdaten sind dazu Modelle erforderlich, in denen das Zusammenwirken von Baum- bzw. Bestandeswachstum und Klima- und Wetterparametern unter Beachtung der Standortssituation sowie forstlicher Behandlungsmaßnahmen realitätsnah und quantifizierend integriert sind. Nur dann können unter Annahme von

Klimaszenarien die Änderungen in den Stoffflüssen und deren Auswirkungen auf das Waldwachstum in Hinblick auf die biologischen, ökologischen und ökonomischen Wirkungen des Waldes abgeschätzt werden.

2. Daten und Modelle in Österreich

2.1 Österreichische Waldinventur

Die vielfältigen Interessen der Gesellschaft am Wald und die daraus resultierenden Anforderungen an das Forstwesen können nur mit zuverlässigen und fundierten Kenntnissen über Ausmaß und Zustand der Wälder erfüllt werden. Seit 1961 verfügt Österreich über eine nationale Waldinventur (ÖWI), die auf einem bundesweiten Stichprobennetz beruht, bei dem seit 1981 auf permanenten Erhebungspunkten eine Vielzahl von Parametern zum Ökosystem Wald und dessen Nutzung erhoben wird, sowie mit Bohrkernen retrospektiv Informationen über den Zuwachsgang gewonnen werden.

2.2 Modelle der Waldökosystementwicklung

In Österreich sind unterschiedliche Modelltypen zur Beschreibung von Waldwachstum bzw.

Waldökosystementwicklung verfügbar, die in den vergangenen Jahren für unterschiedliche Anwendungszwecke entwickelt wurden:

- a) auf die Abschätzung des Einzelbaumwachstums unter besonderer Berücksichtigung der Konkurrenzsituation abzielende Modelle, oft als Managementmodelle bezeichnet (z.B. PROGNAUS; Monserud R.A. & H. Sterba, 1996: A basal area increment model for individual trees growing in even and uneven-aged forest stands in Austria. *For. Eco. & Manage.* 80:57-80);
- b) so genannte Sukzessionsmodelle (auch als Gapmodelle bezeichnet), die für die Abbildung von Änderungen der Vegetationsentwicklung über einen längeren Zeitraum hinweg besonders geeignet erscheinen (z.B. PICUS; Lexer M. & K. Hönninger, 2001: A modified 3D-patch model for spatially explicit simulation of vegetation composition in heterogeneous landscapes. *For. Eco. & Manage.* 144: 43-65);
- c) mechanistische Modelle, die ausgehend von baumphysiologischen Erkenntnissen die wachstumsrelevanten Stoffkreisläufe und Energieflüsse beschreiben (z.B. Biome-BGC; Pietsch St. & H. Hasenauer, 2002: Using mechanistic modelling within forest ecosystem restoration, *For. Eco. & Manage.* 159, 111-131).

Auf empirischen Einzelbaumdaten basiert nur (a), dadurch werden unmittelbar umsetzbare Empfehlungen für kurz- und mittelfristige Managementmaßnahmen in bestehenden Waldbeständen ermöglicht. Außerdem erlaubt (a) die quantitative Schätzung nachhaltiger Nutzungsmengen von Holz- und Biomasse. Relevante Umweltfaktoren (Klima und Witterung, Stickstoffverfügbarkeit, Immissionen, u.ä.m.) sind in (c) unmittelbares Steuerelement bzw. in (b) in expliziter Form integriert. Mechanistische Modelle (c) reagieren am unmittelbarsten auf geänderte Umweltbedingungen und bilden Auswirkungen auf die Produktivität direkt ab. Für die Beurteilung der Vegetationsentwicklung unter geänderten Umweltbedingungen wurden Sukzessionsmodelle (b) entwickelt, um daraus Empfehlungen für mittel- bis langfristige baumartenbezogene Anpassungsstrategien zu testen. Der Modelltyp (c) beschreibt baumarten- und standortspezifisch Stoffflüsse und damit die Rückkoppelungen eines CO₂ Anstieges, Änderungen der Stickstoffeinträge bzw. der Wettermuster in ihrer Wirkung auf Photosyntheseleistung, Respirationsraten, Streuumsetzung im Boden, etc.

3. Zielsetzung

Weiterentwicklung und vergleichende Evaluierung geeigneter Werkzeuge (Waldwachstumsmodelle) zur Abschätzung der Auswirkungen eines Klimawandels auf den Österreichischen Wald. Dies umfasst insbesondere:

- Weiterentwicklung bestehender Modelle durch quantitative Einbeziehung der Zusammenhänge Waldwachstum-Klima-Witterung
- Gewährleistung der Kompatibilität mit den Resultaten der Österreichischen Waldinventur (ÖWI) hinsichtlich Initialisierung, Befundeinheiten und Zielgrößen, da Aussagen über die zukünftige Entwicklung in Österreich von den Informationsgrundlagen der ÖWI ausgehen müssen,

- eine vergleichende Bewertung der Ergebnisse unterschiedlicher Modellansätze für Schlussfolgerungen hinsichtlich des jeweils optimalen Einsatzbereichs der Modelltypen für Fragen der Forst-, Umwelt- und Klimaschutzpolitik und der Waldbewirtschaftung,
- die Bewahrung der unentbehrlichen Vielfalt von Forschungsansätzen durch diese umfassende Betrachtung.

Damit sollen für Österreich Waldökosystemmodelle als diagnostische Werkzeuge für eine Analyse von möglichen Klimaeinflüssen auf Waldökosysteme zuverlässig anwendbar gemacht und im Vergleich zu vorhandenen terrestrischen Inventurdaten evaluiert und interpretiert werden. Aufbauend auf solchen Ursachenanalysen lassen sich dann in weiterer Folge entsprechende Anpassungs- und Minderungsstrategien entwickeln, die jedoch nicht Bestandteil des gegenständlichen Forschungsvorhabens sind.

3 Projektinhalt und Ergebnis

Die Arbeiten wurden von drei Institutionen durchgeführt (Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, dem Institut für Waldbau und dem Institut für Waldwachstum der Universität für Bodenkultur). Die Ergebnisse werden nach Arbeitspaketen gegliedert vorgestellt.

1 Gemeinsame Datengrundlage

Für die Modellierung wurden Meßdaten der Österreichischen Waldinventur (ÖWI) verwendet. Die ÖWI erhebt seit 1981 auf einem permanenten und regelmäßigen Stichprobennetz Daten über den österreichischen Wald. Bisher fanden fünf Erhebungen in den Jahren 1981/85, 1986/90, 1992/96, 2000/02 und 2007/09 statt. Die aktuellste Erhebung konnte im Projekt nicht mehr berücksichtigt werden. Die Aufnahmen umfassen unter anderem Einzelbaummessungen des Brusthöhendurchmessers (BHD), der Baumhöhe, des Durchmessers in 3/10 der Baumhöhe, der Kronenlänge und eine Reihe qualitativer Baummerkmale.

Als idente Ausgangsbasis für alle weiteren Arbeiten wurden für jeden Erhebungspunkt auf Basis der Wetterstationen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) unter Verwendung des Klimainterpolationsmodells DAYMET die Tageswerte für Temperaturminimum und –maximum, Niederschlag, Dampfdruckdefizit und Globalstrahlung für die Periode von 1980 bis 2008 ermittelt. Für jeden Trakt wurden die Windgeschwindigkeitsmessungen der ZAMG zur Bestimmung möglicher Sturmereignisse interpoliert.

2 Weiterentwicklung des Simulators PROGNAUS

PROGNAUS zählt zur Gruppe der „Managementmodelle“, welche auf eine möglichst genaue Abschätzung des Einzelbaumwachstums abzielen und daher auf empirischen Einzelbaumdaten basieren. Es handelt sich dabei um einen abstandsunabhängigen Simulator, der keine Kenntnis der Baumkoordinaten voraussetzt. Für alle ausgewählten ÖWI-Stichprobenpunkte konnte eine Simulation durchgeführt werden.

2.1 Höhenzuwachsmodell

Ziel war die Parametrisierung von klimasensitiven Höhenzuwachsmodellen für die in Österreich häufigen Baumarten. Für 9 Baumarten bzw. Baumartengruppen (Fichte, Tanne, Lärche, Weißkiefer, sonstiges Nadelholz, Buche, Eiche, sonstiges Hartlaubholz, sonstiges Weichlaubholz) wurden die Analysen und Parametrisierungen durchgeführt. Nach verschiedenen Modellierungstests wurden die Klimadaten (1) jährliche Temperatursumme in der Vegetationszeit (April-September), (2) jährliche Niederschlagssumme in der Vegetationszeit und (3) Aridität (Verhältnis von Niederschlag und Temperatur) in der Vegetationszeit in das Modell integriert. Da auch die Witterung des Vorjahres für den Höhenzuwachs im Folgejahr bedeutend ist, wurden die Monate Juli-September des Vorjahres und die Monate April-Juni des Zuwachsjahres als Verhältnis zum langjährigen Durchschnitt einbezogen.

Die Modellreaktionen sowohl auf Klimaänderungen im langjährigen Durchschnitt als auch auf Änderungen

im jeweiligen Zuwachsjahr und im vorangegangenen Jahr wurden untersucht (Abb. 1). Dabei zeigte sich, dass langfristige Klimaänderungen größere Wachstumsreaktionen auslösen und die Aridität eine wichtige Rolle spielt.

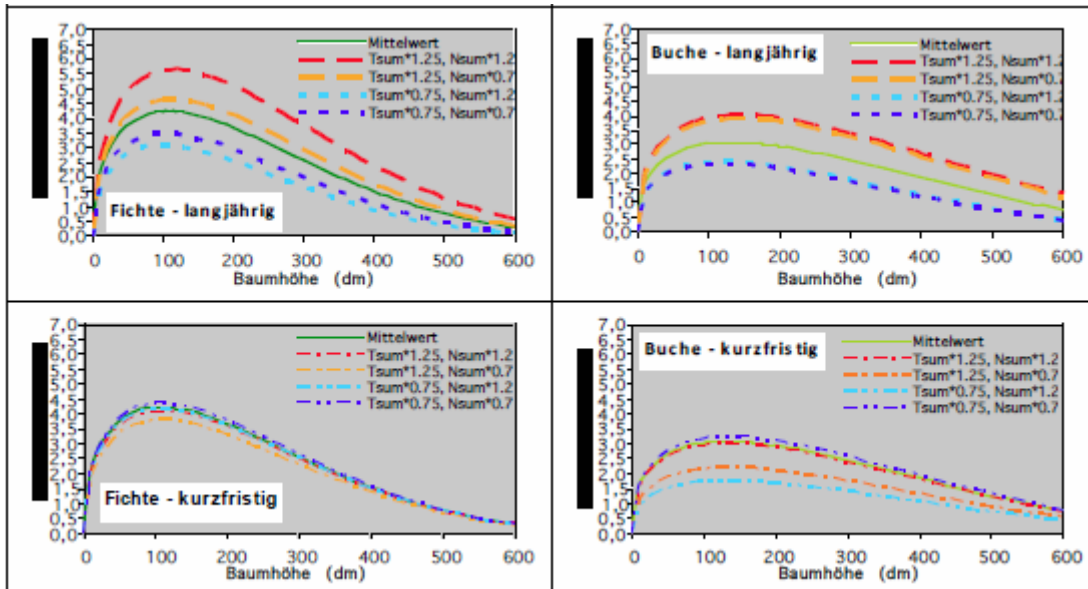


Abbildung 1: Prognosewerte für verschiedene Temperatur- und Niederschlagsszenarien.

2.2 Kreisflächenzuwachsmodell

Die zentrale Aufgabe war die Integration von Wetterdaten in das Kreisflächenzuwachsmodell. Nach ausführlichen Methodentests wurde die Kreisflächenzuwachsleistung für einjährige Zuwächse unter Hinzunahme der Wetterparameter (1) Jahrestemperatursumme und (2) Jahresniederschlag parametrisiert. Das mit dem erweiterten Modell berechnete Zuwachsverhalten der einzelnen Baumarten in Abhängigkeit von Temperatur und Niederschlag ist sehr unterschiedlich (siehe Abbildung 2). Die Modellprüfungen zeigten, dass in den Randbereichen von Niederschlags- und Temperatursummen Schwellenwerte für die Lebensfähigkeit von Baumarten aufgenommen werden sollten. Ebenso sollte die Wechselwirkung zwischen den Zuwächsen und der Wasserhaltekapazität bestimmter Böden sowie der Niederschlags- und Temperaturverteilung im Jahresverlauf eingehender untersucht werden. Die Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen im Bereich der Verbreitungsgrenze einzelner Baumarten kann dazu wertvolle Informationen liefern.

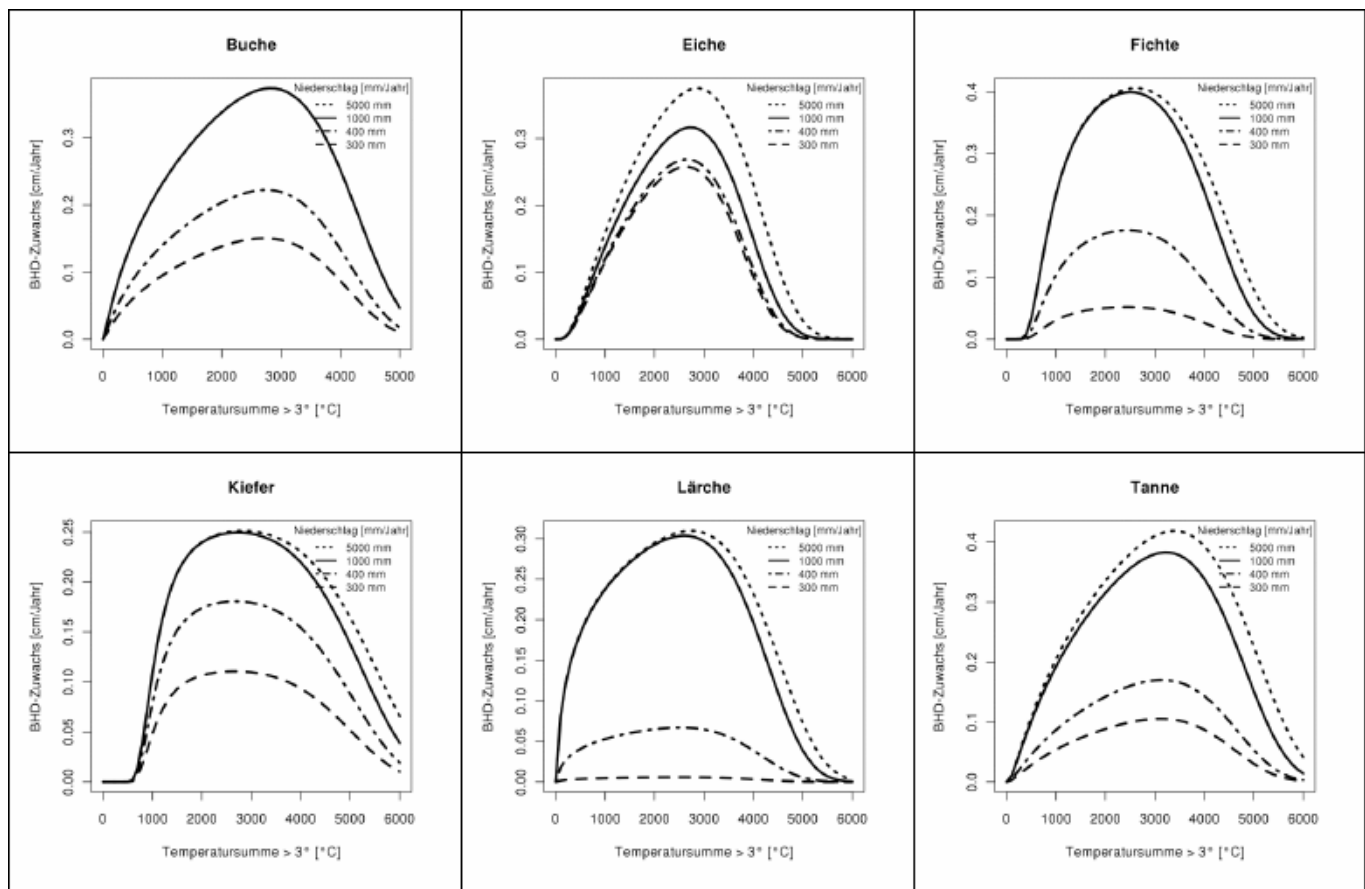


Abbildung 2: Zuwachsverhalten verschiedener Baumarten in Abhängigkeit von Temperatur und Niederschlag.

2.3 Kalamitätsmodell

Auf Basis der ÖWI-Daten war ein Modell zu entwickeln, das die in Österreich beobachteten Kalamitätsnutzungen in Abhängigkeit von Standorts-, Bestandes- und Klimaparametern abschätzen kann. Zur Berücksichtigung des Witterungseinflusses auf die Kalamitätsnutzungen wurden Temperatur-, Niederschlag- und Windmessungen verwendet. Der Einfluss der Topographie wurde anhand der Neigungs- und Expositionsdaten aus der ÖWI und dem aus einem digitalen Geländemodell berechneten TOPEX-Index (TOPographic EXposure) untersucht. Für die Parametrisierung mittels logistischer Regression wurde ein dreistufiger Modellansatz verwendet, der in einem ersten Schritt die Wahrscheinlichkeit für eine kalamitätsbedingte Nutzung angibt. Im zweiten Schritt wird abgeschätzt, ob es sich dabei um eine flächige Nutzung handelt. Im dritten Schritt wurde auf der Ebene des Einzelbaumes die Wahrscheinlichkeit bestimmt, dass dieser Baum im Rahmen einer nicht-flächigen kalamitätsbedingten Nutzung entfernt wird. Die Parametrisierung zeigte, dass die Windgeschwindigkeit (maximale 2-Sekunden Bö) ab einer Bestandeshöhe von 20-25 m eine entscheidende Rolle spielt. Die Jahreszeit, in der ein Sturmereignis auftritt, hat ebenso einen signifikanten Einfluss auf die Kalamitätsnutzungen wie die Baumartenzusammensetzung, das Auftreten von Trockenperioden, die Bestandesdichte, die Stärke von Nutzungseingriffen, die Seehöhe sowie die standörtliche Exposition. Auf der Einzelbaumebene hat sich der h/d-Wert als wichtige, kalamitätsbezogene Größe herauskristallisiert. Die Analyse des Prognoseverhaltens zeigte, dass die Summe der beobachteten Kalamitätsnutzungen vom Modell um 5,7% überschätzt wird, die relativen Verteilungen der Nutzung aber durchaus zufriedenstellend sind (siehe Abbildung 3). Als wichtigstes Ergebnis dieses Abschnitts kann der signifikante Einfluss der Windgeschwindigkeit betrachtet werden, der in dieser Form in ähnlichen Untersuchungen bisher nicht gefunden wurde.

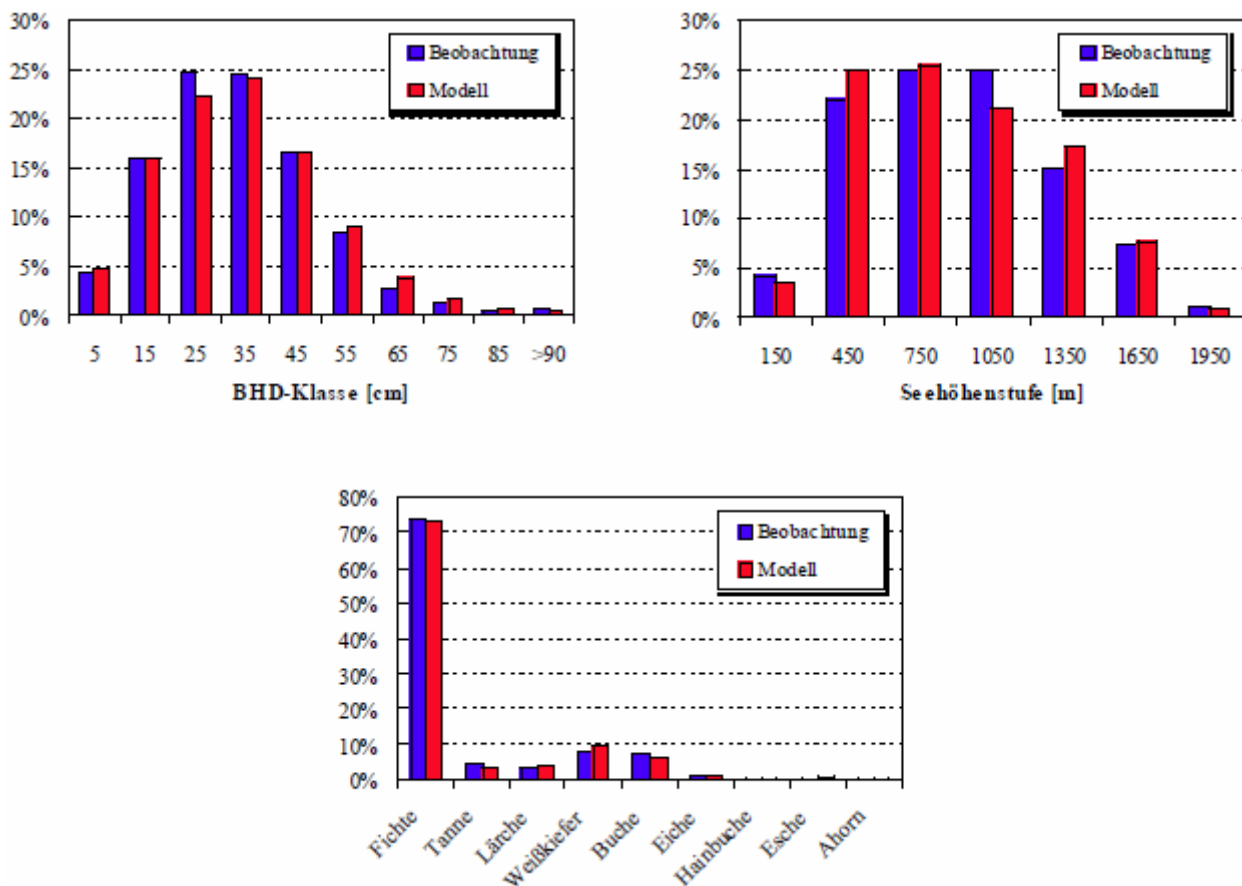


Abbildung 3: Relative Verteilung von beobachteter und vorhergesagter Kalamitätsnutzung (Grundfläche) nach BHD-Klassen, Seehöhenstufen und Baumarten.

2.4 Implementierung

Zur Berechnung der Zuwächse unter verschiedenen Klimaszenarien wurde ein vereinfachtes Wachstumsmodell programmiert. Höhen- und Kreisflächenzuwachs wurden mit den beschriebenen neuen Funktionen geschätzt. Die Konkurrenzmaße wurden jährlich bestimmt. Einwüchse wurden am Anfang des Jahres ihrer ersten Erhebung in das zu simulierende Baumkollektiv aufgenommen. Entnahmen wurden am Anfang des Jahres ihrer letzten Erhebung entfernt. Standortsbeschreibende Koeffizienten wurden im Jahr ihrer Erhebung aktualisiert. Die Schaftholzvolumen wurden mit Hilfe bekannter österreichischer Formzahlfunktionen bestimmt. Für die Biomasseberechnung wurden Koeffizienten für Stamm-, Ast- und Blattkompartimente aus dem Waldwachstumsmodell PICUS verwendet (siehe Kap. 4).

2.5 Kalibrierung

Nach Implementierung von Kreisflächen-, Höhenzuwachs- und Kronenmodell wurde auf den Daten von 1981/85 aufgesetzt und für die folgenden fünf Jahre der Zuwachs geschätzt. Systematische Unterschiede zu den ÖWI-Aufnahmen 1986/90 wurden durch iteratives Verändern von baumartenspezifischen Multiplikatoren des Höhen-, Kreisflächen und Kronenmodells eliminiert. Dieser Korrekturfaktor verbesserte insbesondere bei seltenen Baumarten deren Prognosequalität.

Bei der Betrachtung des kalibrierten Grundflächenzuwachses je Probepunkt und bei der räumlichen Darstellung der Residuen sind keine Muster erkennbar (siehe Abb. 4). Bei Betrachtung des mittleren Höhenzuwachses je Punkt werden kleine und große Zuwächse leicht unter und mittlere Zuwächse leicht überschätzt. Bei der räumlichen Darstellung ist kein Muster erkennbar (siehe Abb. 5).

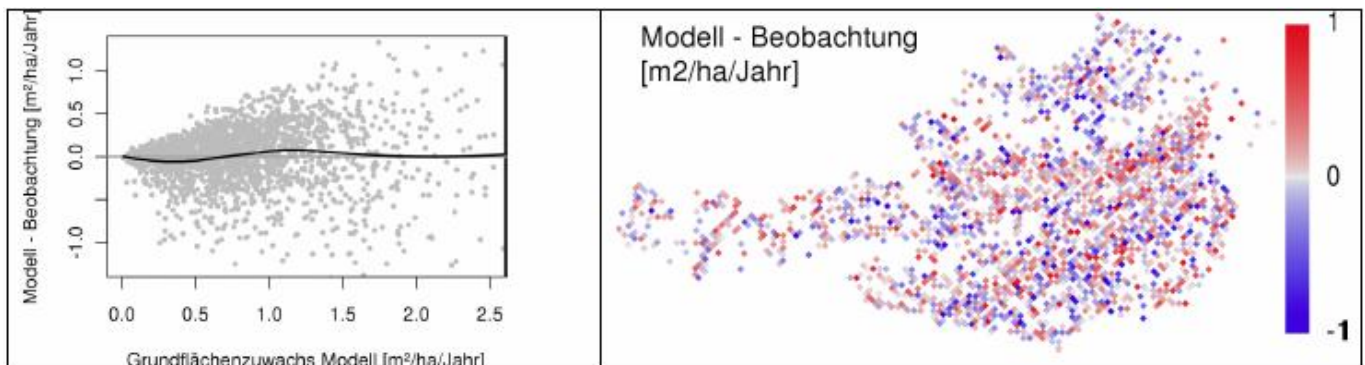


Abbildung 4: Residuen des Kreisflächenzuwachsmodells.

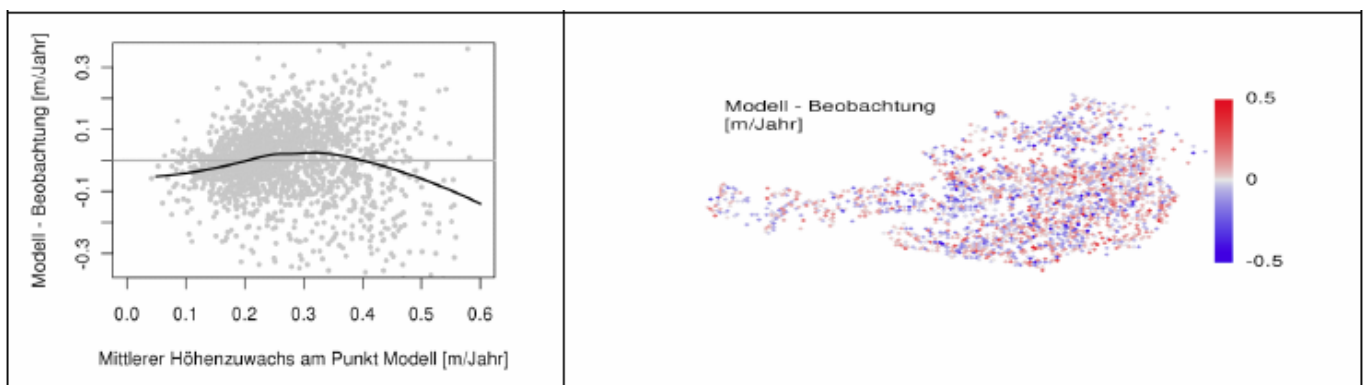


Abbildung 5: Residuen des Höhenzuwachsmodells.

3 Weiterentwicklung des biogeochemisch-mechanistischen Modells BIOME-BGC

Biome-BGC zählt zur Gruppe der „biogeochemisch-mechanistischen“ Waldmodelle, die das Ökosystem in mehrere Stoffpools unterteilen und über die Formulierung der Stoffkreisläufe, Energieflüsse und deren Interaktionen innerhalb des Systems die Beschreibung der im Waldökosystem ablaufenden Prozesse zum Ziel haben. Der Zustand des Ökosystems wird über die Vorräte bzw. Vorratskapazitäten definiert, Änderungen über die Stoffflüsse und Umsetzungsprozesse. Das Modell verwendet eine Selbstinitialisierung, historische sowie rezente Landnutzungseffekte werden berücksichtigt. Somit ist der Vergleich zwischen simulierter und am Ort stehender Biomasse bereits eines der wichtigsten Ergebnisse, da für eine örtliche Initialisierung grundsätzlich keinerlei Bestandesdaten (außer die Baumart, das Alter des Bestandes und rezente Durchforstungsmaßnahmen) notwendig sind. Die Stichprobendaten dienen nur zur Validierung.

Ziel dieses Arbeitspaketes war die Anwendung von Biome-BGC mit seinen artspezifischen Anpassungen und Verbesserungen für Stichprobenpunkte der ÖWI.

3.1 Material

Von insgesamt 2224 ÖWI-Erhebungspunkten wurden für 1133 Punkte mit annähernd Reinbestandscharakter die Simulationen durchgeführt. Diese Erhebungspunkte enthalten zumindest in einer der Aufnahmeperioden 1981/85 bzw. 1986/90 einen Probebaum aus einer Winkelzählprobe oder einem fixem Probekreis.

3.2 Das Modell Biome-BGC

In diesem Projekt wird das Modell BIOME-BGC benutzt, das für österreichische Verhältnisse bereits angepasst und überprüft wurde. Mechanistische Modelle wie BIOME-BGC sind sehr sensibel gegenüber den Stoffvorräten in Ökosystemen, da auch von diesen die berechneten Stoffflüsse abhängen. Die Ausgangsvorräte sind für manche Größen nicht bekannt sind, daher gehen viele Modellanwendungen

davon aus, dass ungestörte Bedingungen wie in einem natürlichen Ökosystem vorliegen, das nicht anthropogen beeinflusst wurde und sich im Gleichgewichtszustand befindet. Diese Bedingungen des ungestörten Ökosystems werden in Modellen über so genannte Selbstinitialisierungsprozeduren errechnet. Dabei laufen alle modellierten Prozesse so lange ab, bis sich die mittleren Werte aller Ausgabegrößen nicht mehr verändern. Der Kohlenstoffvorrat im Boden ist dabei die Größe, bei der sich dieser Zustand als letztes einstellt. Die Ergebnisse der Selbstinitialisierungsprozedur müssen dahingehend korrigiert werden, dass Degradierungseffekte durch Landbewirtschaftung und Nutzung des Ökosystems berücksichtigt werden. Dieser Schritt ist von großer Wichtigkeit, da historische Landnutzungen oftmals zu verringerten Nährstoffvorräten und geringerer Bodenfruchtbarkeit geführt haben. Aus diesem Grund wurden für die vorliegende Arbeit verschiedene Szenarien historischer Landnutzungsformen angenommen und als Teil des Prozesses der Modell-Initialisierung simuliert. Waldbauliche Maßnahmen wie Vollbaumnutzung, Schaftholznutzung oder Rodung können abgebildet werden. Jedoch kann eine Entnahme bzw. ein Transfer nur als Prozentsatz des Gesamtsystems und nicht durch einzelne Bäume wie bei Einzelbaumsimulatoren ausgedrückt werden.

3.3 Ergebnisse

Nach der Selbstinitialisierung und der Berücksichtigung der Landnutzungseffekte erfolgte die Simulation des aktuellen Bestandes. Zu diesem Zweck waren die Baumart definiert über 35 ökophysiologische Konstanten und mögliche Durchforstungseingriffe anzugeben. Die Simulation findet dann auf Tagesbasis so lange statt bis das aktuelle Bestandesalter erreicht ist. Das Modell berechnete für die einzelnen Kompartimente (Wurzel, Stamm, Blatt etc.) den Kohlenstoffgehalt, der in Vorratsfestmeter umgerechnet wurde. Für dieses Projekt wurde vereinbart, dafür die Biomassefunktionen aus dem Modell PICUS (siehe Kap. 4) für einen Vergleich der Modellschätzungen mit den Waldinventurdaten zu verwenden. Für die Initialisierung wurden keinerlei Änderungen am Modell vorgenommen.

3.4 Validierung

Die mittels BIOME-BGC simulierten Biomasse wurden mit den Biomassedaten aus den durch die ÖWI aufgenommenen Bäume verglichen. Abbildung 6 zeigt die Ergebnisse über alle untersuchten Stichprobenpunkte. Es zeigte sich, dass das BGC Modell die Biomasse am Standort je Baumart richtig nachbildet und keine systematischen Trends erkennbar sind. Die Untersuchungen zeigten deutlich, dass für eine Analyse mit ÖWI-Daten eine gewisse Mindestanzahl an Probepunkten für einen Vergleich notwendig ist.

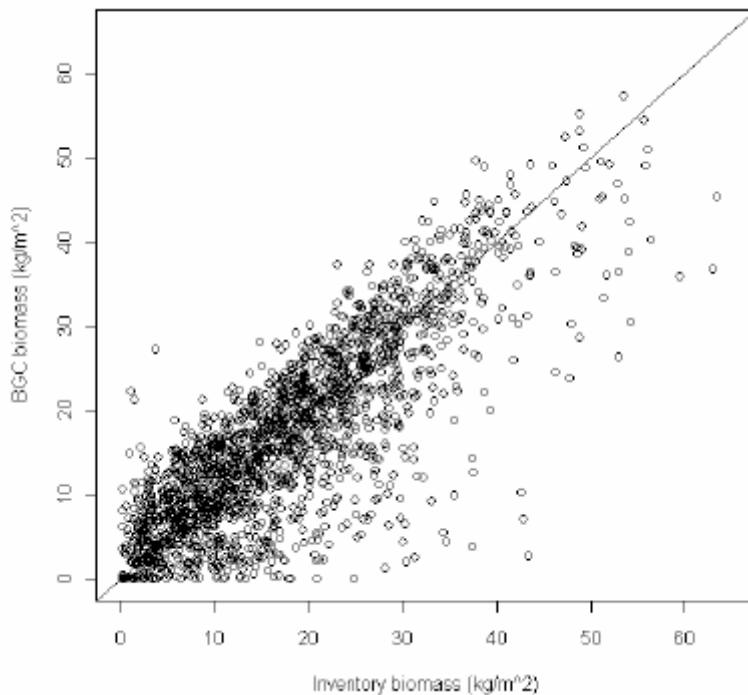


Abbildung 6: Vergleich der BIOME-BGC-Modellierung mit den Daten für 2014 Stichprobenpunkte der ÖWI-Inventurperiode 3, $R_2=0,65$.

4 Weiterentwicklung des hybriden Gap-Modells PICUS

PICUS 1.4 ist ein populationsdynamisches Modell, das aus Gap-Modellen entwickelt wurde. Das Grundkonzept liegt in der Betrachtung des Ökosystems Wald als Aneinanderreihung von gleich großen Flächen, wobei die Prozesse „Verjüngung“, „Wachstum“ und „Mortalität“ auf der Ebene dieser Flächen explizit formuliert sind. Grundidee war die Beschreibung von Sukzessionsprozessen im Ökosystem Wald. Ziel dieses Arbeitspaketes war es, das Waldökosystem-Modell PICUS 1.42 anhand einer Periode der Österreichischen Waldinventur (ÖWI) zu testen. Dies geschah durch einen Vergleich von simulierten mit beobachteten Bestandesparametern.

4.1 Material

Von insgesamt 2224 ÖWI-Erhebungspunkten wurden 1394 Punkte, von denen der Boden modelliert werden konnte, übernommen. Diese Erhebungspunkte enthalten zumindest in einer der Aufnahmeperioden 1981/85 bzw. 1986/90 einen Probestaum aus einer Winkelzählprobe oder einem fixem Probekreis. Die Klimadaten wurden vom Arbeitspaket BIOME-BGC (siehe Kap. 3) übernommen und zu Monatswerten aggregiert.

Im Berichtszeitraum wurde eine PICUS Modellvariante mit statischem Bodenmodul verwendet, für das die Wasserspeicherkapazität des Bodens, der pflanzenverfügbare Stickstoff im oberen Mineralbodenhorizont sowie der pH-Wert des oberen Mineralbodenhorizontes benötigt wird. Es wurde eine Bodendatenbank mit Modellinitialisierungsparametern für ÖWI-Erhebungspunkte erstellt. Dazu wurde eine neue Funktion für die Ableitung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs entwickelt.

4.2 Methodik

Es wurden die aus Vorprojekten verfügbaren Parameter für 12 Baumarten verwendet. Da in den ÖWI-Daten zusätzliche, im Parametersatz von PICUS v1.42 nicht vertretene Baumarten vorkamen, wurden diese Baumarten ökologisch ähnlichen Baumarten, für die eine Parametrisierung vorhanden war, zugeordnet.

Für die Initialisierung der zu simulierenden Baumbestände auf 1-Hektar-Basis wurden mit Hilfe der ÖWI-Probestäume idente (BHD, Höhe) Individuen generiert und jedem Individuum Biomassenwerte für Stamm,

Äste und Laub/Nadeln zugeschrieben. Werden diese Individuen zufällig auf einen Simulationshektar gestellt, ergeben sich Baumkonstellationen, die nicht allen Individuen ein Überleben wegen zu starker Konkurrenzwirkung ermöglichen. Da keine Texturinformation aus den ÖWI-Daten gewonnen wird, wird in PICUS ein Initialisierungsalgorithmus verwendet, der iterativ Individuen neue Koordinaten zuordnet und wiederum das Lichtregime im Bestand simuliert. Diese Prozedur wird solange wiederholt, bis eine maximal mögliche Anzahl von Bäumen überlebensfähig ist. Nach Ablauf der Initialisierungsprozedur wird die resultierende Bestandesstruktur gespeichert und für die eigentlichen WAMOD Simulationen als Initialzustand bereitgestellt.

4.3 Management

Die repräsentierten Probestämme, die zwischen den beiden ÖWI Erhebungszeitpunkten entnommen wurden, werden im Modell zu Beginn des Simulationslaufs entnommen. Diese Stämme liefern somit keinen Zuwachs. Die Mortalität von Individuen wird in PICUS in drei verschiedenen Arten berücksichtigt: erstens über eine so genannte „intrinsische“ Mortalität, die rein zufällige Mortalitätsursachen abbildet; zweitens die „Stressmortalität“, die ein Absterben von Individuen bewirkt, die über einen längeren Zeitraum definierte Zuwächse nicht erreichen, und drittens eine „zusätzliche“ Mortalität aus modellinternen Konsistenzgründen (z.B. stirbt ein Baum, der über seine gesamte Länge aufgrund von Lichtmangel keine Blätter mehr aufweist). Für dieses Projekt wurden die beiden ersten Mortalitätsursachen deaktiviert. Ist in den ÖWI-Daten ein Abgang eines Baumes angezeigt, wird der Fall wie Management behandelt und alle durch diesen Probestamm repräsentierten Individuen zu Beginn des Simulationslaufs entfernt.

4.4 Zuwachsberechnung

PICUS berechnet den Grundflächen/Volumszuwachs unter Berücksichtigung aller überlebenden Individuen bis zum Simulationsende und aller absterbenden Individuen, die während der Simulation an „zusätzlicher“ Mortalität sterben. Einwüchse wurden in PICUS nicht berücksichtigt.

4.5 Ergebnisse

Für den Vergleich von PICUS mit der ÖWI wurden der periodische Grundflächenzuwachs sowie der periodische Volumszuwachs herangezogen. Da die Ergebnisse der ersten Simulationsläufe eine generelle Unterschätzung der simulierten Zuwächse im Vergleich zu den beobachteten Zuwächsen zeigten, wurde den verwendeten Stickstoff-Werten zusätzliche eine in der ursprünglich verwendeten Bodendatenbank nicht explizit enthaltene Stickstoff-Deposition zugeschlagen.

Es zeigt sich, dass PICUS die Grundflächen- und die Volumszuwächse auf den ÖWI-Probepunkten dennoch tendenziell unterschätzt (siehe Abb. 7). Diese Unterschätzung zeigt sich auch bei der Stratifizierung nach Baumarten. Am stärksten ist die Unterschätzung bei Fichten- bzw. Nadelholzdominierten Gruppen. Das tendenziell gleiche Ergebnis zeigt sich auch für den Seehöhen- und Stickstoffgradienten. In Summe zeigen die Ergebnisse der Kalibrierungsphase zufriedenstellende Ergebnisse. Wie bereits erwähnt, wurden nach einer anfänglichen deutlicheren Zuwachsunterschätzung von PICUS in einem ersten Schritt die verwendeten Boden-Stickstoffwerte um die Stickstoffdeposition erhöht. Dieser Zuschlag führt zu höheren Zuwächsen im Modell. Trotzdem zeigen die Ergebnisse noch immer eine leichte Unterschätzung von PICUS. Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurde davon Abstand genommen, diesen Effekt durch „modell tuning“ auszugleichen. Insgesamt stellen die für eine Simulation mit Modellen wie PICUS erforderlichen Bodenmerkmale eine beträchtliche Quelle für mögliche Unsicherheit in Ergebnissen dar.

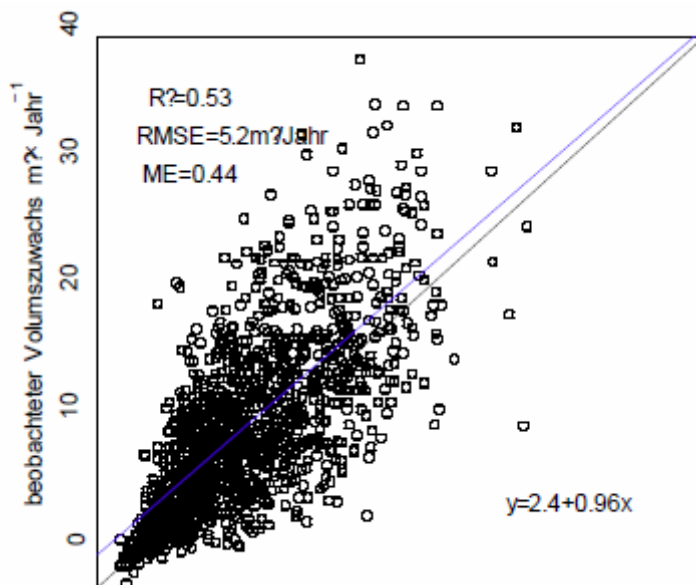


Abbildung 7: Beobachteter vs. mit PICUS simulierter Volumenzuwachs auf 1394 ÖWI-Inventorypunkten. Schwarze Linie: Verhältnis 1:1; blaue Linie: lineare Regression.

5 Bewertung von Schnittstellen, Prüfung von Proxies und Evaluierung der Modelltypen bezüglich ihrer Fähigkeiten, klimabedingte Einflüsse auf Waldökosysteme beschreiben zu können

5.1 Bewertung von Schnittstellen und Prüfung von Proxies

Für die drei Simulatoren sollten Schnittstellen dahingehend untersucht werden, ob sie durch die Verwendung gleicher Teilmodelle, Konstante oder Datenbasen, besser vergleichbare Simulationsergebnisse liefern könnten. So wäre es z.B. nicht zielführend, die Umrechnung von Volumina auf Biomassen und Kohlenstoff in jedem Simulator anders vorzunehmen, sodass dann unterschiedliche Simulationsergebnisse erzeugt werden, die nichts mit der Programmphilosophie und -architektur zu tun hätten. Als die wesentlichsten Schnittstellen für das gegenständliche Projekt stellten sich die gemeinsamen Datensätze für die Witterungs- und Ausgangsdaten dar. Darüber hinaus wurden für die Konversion von Baumvolumina zu Biomasse für die Umrechnung der Simulationsergebnisse von PROGNAUS bzw. PICUS idente Allometrie-Funktionen verwendet, bei BIOME-BGC war dies nicht notwendig, da hier unmittelbar Biomassen ermittelt werden. Für die Witterung lag ein gemeinsam mittels DAYMET generierter Datensatz zur Verfügung. Das Aufsetzen auf identem Ausgangszustand war mit den drei Modellen nur unterschiedlich genau möglich. PROGNAUS konnte exakt auf den erhobenen Zustandsdaten aufsetzen, ja diese geradezu im Original als Ausgangszustand verwenden. Die bei PICUS benötigte Generierung einer räumlichen Verteilung konnte in Einzelfällen zu geringfügig unterschiedlichen repräsentierten Stammzahlen je Hektar führen. Die Herstellung des Ausgangszustandes beim BGCM-Modell war dagegen nicht so einfach und auch nicht voll kompatibel mit den beiden anderen Modellen. Hier mussten zuerst ausgehend vom blanken Boden im Laufe der Zeit die diversen Pools gefüllt werden bis ein Gleichgewichtszustand erreicht worden ist. Die Untersuchung von Proxies zeigte insofern ein interessantes Ergebnis, als im Modell PROGNAUS, in dem ursprünglich die Seehöhe als wichtigste Standortvariable enthalten war, durch die Verwendung der Witterungsdaten, die Seehöhe ihre Bedeutung als Klimaproxy verliert und nicht mehr als Erklärungsvariable aufgenommen wird.

5.2 Datenmaterial für die Validierung

Der verwendete Validierungsdatensatz aus der ÖWI bestand aus Zustandswerten (Kreisfläche, Volumen und oberirdische Biomasse - getrennt für die Kompartimente Blatt, Ast und Stamm - je Hektar) sowie Zuwachswerten dieser Zustandswerte, jeweils je Probestfläche und Jahr innerhalb des Validierungszeitraumes 1987-2002. Weiters standen für jede Probestfläche Beobachtungen der

Standortsvariablen für die jeweilige ÖWI-Aufnahmeperiode zur Verfügung. Für die Validierung wurde angenommen, dass die Standortvariablen einer Probefläche zwischen zwei Beobachtungszeitpunkten der ÖWI konstant bleiben.

Die für die Validierung von den einzelnen Projektpartnern gelieferten Simulationsdaten entsprachen in ihrer Struktur jener der Validierungsdaten. Es wurden also prinzipiell keine Einzelstammdaten übermittelt, sondern bereits für die einzelnen Probeflächen aggregierte Werte. Bedingt durch konzeptionelle Einschränkungen (annähernd Reinbestand, Entwicklung der Waldfläche), kurzfristig nicht errechenbare Eingangsdaten (Wasserspeicherkapazität des Bodens, pflanzenverfügbare Stickstoff sowie pH-Wert) bei einzelnen Modellen und infolge der Berücksichtigung nur jener Probeflächen mit 100% Waldanteil, standen 718 Flächen zur Auswertung zur Verfügung.

5.3 Methoden der Validierung

Der Begriff Validierung ist definiert als der Vergleich zwischen Modellvorhersage und Wirklichkeit. Da der Fokus dieses Projektes auf der Klimasensitivität der Modelle liegt, wurde der zum Teil klimabedingte Verlauf einer Zustandsgröße bzw. die Veränderung dieser Größe über die Zeit betrachtet. Folgende Kennzahlen/Statistiken wurden verwendet, um die Prognosen der Waldmodelle mit den Daten der ÖWI zu vergleichen:

- ! Sensitivität
- ! Gleichläufigkeit
- ! Korrelationskoeffizient
- ! Bias

5.4 Stratifizierung

Zur Steigerung der Genauigkeit der Auswertung wurde der Datensatz hinsichtlich verschiedener Standortmerkmale der ÖWI (erhoben je Probefläche) stratifiziert. Eine Besonderheit der ÖWI stellt die Tatsache dar, dass beim Vorliegen von gravierenden Standortunterschieden eine Probefläche geteilt wird und der Anteil der Teilfläche an der Gesamtfläche in 1/10 angegeben wird. Für die Validierung wurden die Teilflächen nicht getrennt ausgewertet, sondern der Probefläche die Standortmerkmale jener Teilfläche zugeordnet, welche den größten Flächenanteil an der Gesamtfläche hatte. Es wurde nach folgenden Merkmalen stratifiziert: (1) Altersklassen, (2) Bodengruppen, (3) Wuchsgebiete, (4) Höhenstufen und (5) Biome.

Für die Vergleiche wurden sowohl arithmetische Mittelwerte, berechnet über mehrere Probeflächen (also Stichproben) je Jahr, als auch eine Stratifizierung für jede einzelne Probefläche verwendet. Es wurde jedes Modell bzw. die ÖWI mit jedem Modell bzw. der ÖWI verglichen.

3 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Vergleicht man die verschiedenen Waldmodelle im Hinblick auf Sensitivität (Abb. 8) und Gleichläufigkeit (Abb. 9) (also jenen Statistiken, mit denen die Klimasensitivität der Modelle untersucht wurde), so wurden die besten Ergebnisse von PICUS erzielt. Bei der Korrelation zwischen den geschätzten Zuwachsfolgen und den ÖWI-Zuwachsfolgen erzielten Prognaus und BGC die besten Ergebnisse (Abb. 9). Letzteres bedeutet, dass diese beiden Modelle den in der Validierungsperiode augenscheinlichen positiven Wachstumstrend der Zuwachsbeobachtungen (Abb. 10) ebenfalls enthalten. Die Evaluierung über den Bias (Abb. 9), also die mittlere Abweichung des geschätzten Zuwachses, zeigte je nach Modell eine mehr oder weniger deutliche Über- oder Unterschätzung des Zuwachses. Hierzu muss angemerkt werden, dass sich eine Modellschwäche im Hinblick auf den Bias recht einfach über eine Kalibrierung des Modells ausgleichen lässt, für eine Verbesserung der Klimasensitivität müssten die Modelle jedoch zumindest neu parameterisiert werden, vermutlich sogar unter Verwendung anderer oder zusätzlicher Klimavariablen. Die Stratifizierung des Datensatzes brachte keine sehr deutliche Änderung der Ergebnisse für die einzelnen Modelle. Wenn überhaupt, so lässt sich eine Genauigkeitssteigerung am ehesten über eine

Stratifizierung nach Wuchsgebieten und Höhenstufen erreichen. Hier werden je nach Modell für manche Gruppen gute Ergebnisse im Hinblick auf alle Statistiken erzielt, für andere Gruppen eher schlechte Ergebnisse. Vermutlich lässt sich dies aber durch die in manchen Gruppen sehr kleine Anzahl an Probeflächen erklären. Bezüglich der Stratifizierung nach Biomen zeigte sich, dass für Probeflächen des Lärchen- und Eichen-Eschenbioms Prognaus deutlich bessere Ergebnisse erzielte als BGC und PICUS. Jedoch gilt dies genau umgekehrt für das Buchenbiom. Für das Kiefernbium erzielten sowohl PICUS als auch Prognaus recht gute Ergebnisse.

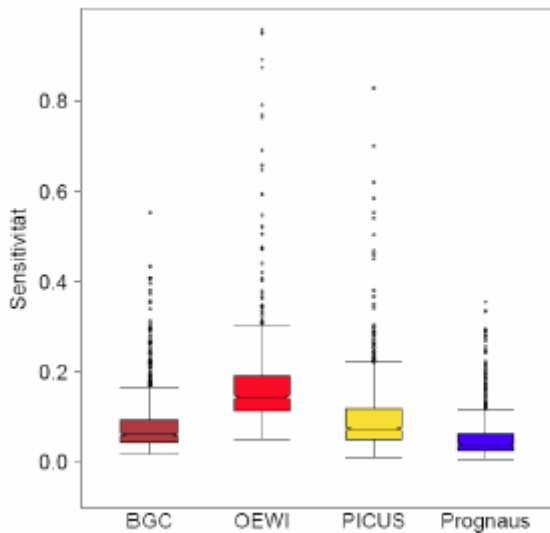


Abbildung 8: Tukey-Boxplots der Sensitivität der Zuwachsfolgen je Probefläche.

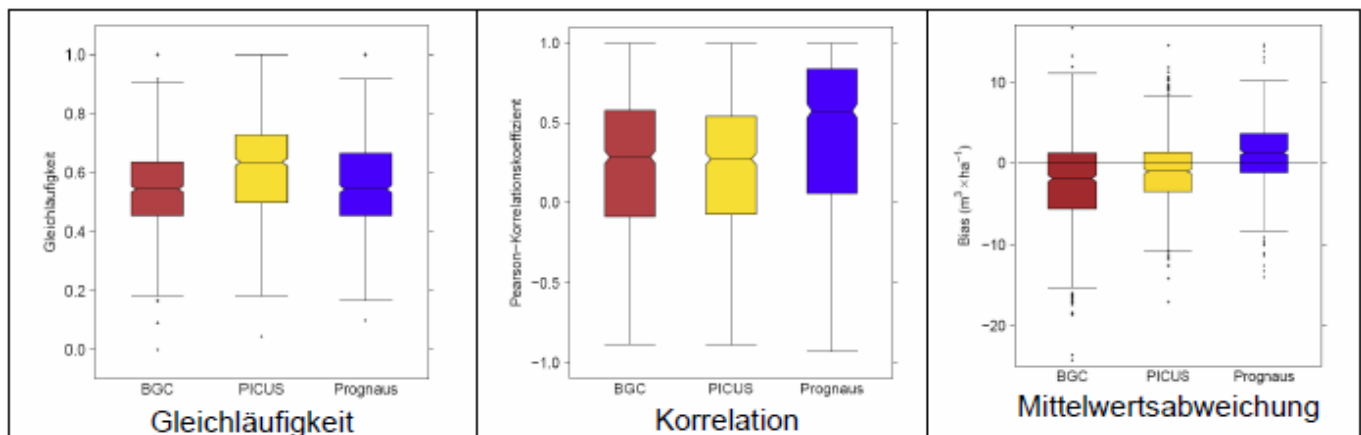


Abbildung 9: Tukey-Boxplots der Gleichläufigkeit, Spearman-Rangkorrelationskoeffizient und Bias zwischen der von den Waldmodellen für die jeweilige Probefläche geschätzte Zuwachsfolge und der in den ÖWI-Daten beobachteten Zuwachsfolge für diese Probefläche.

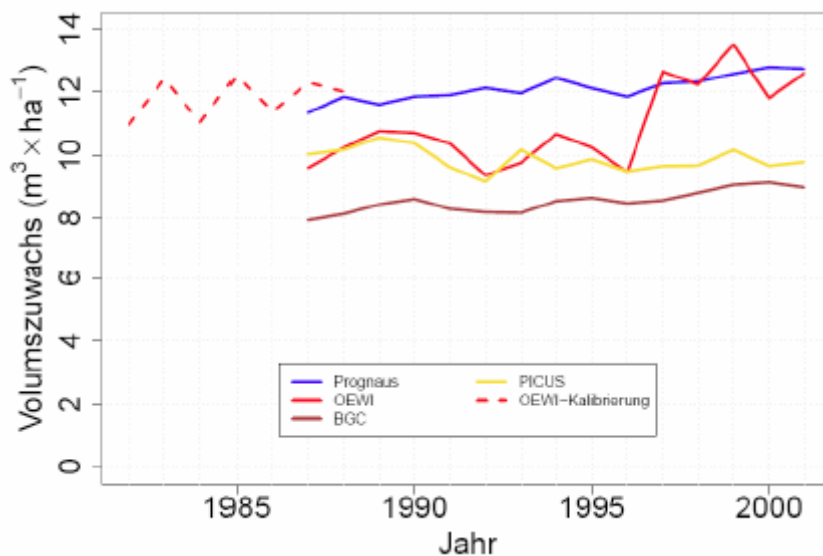


Abbildung 10: Verlauf des Mittelwertes des Zuwachses an Schaftholzvolumen je Hektar über den Validierungszeitraum (in durchgezogenen Linien gezeichnet), sowie zusätzlich für die ÖWI über den Kalibrierungszeitraum (rote unterbrochene Linie).

Die Projektergebnisse liefern verbesserte methodische Grundlagen für zukünftige Holz- bzw. Biomasseaufkommensstudien. Ferner tragen sie bei zur Abschätzung der C-Speicherkapazität unter geänderten Umweltbedingungen (Kyoto und post-Kyoto relevante Reporting-Verpflichtungen) und ermöglichen die Ausarbeitung von Richtlinien für die praktische Waldbewirtschaftung.

C) Projektdetails

Siehe Kapitel B.

4 Methodik

Siehe Kapitel B.

5 Arbeits und Zeitplan

Projektbeginn: September 2008

Zwischenbericht: Oktober 2009

Projektende: Oktober 2010

6 Publikationen und Disseminierungsaktivitäten

Folgende Publikationen bzw. Vorträge sind aus dem Projekt hervorgegangen bzw. nehmen darauf Bezug:

- Eastaugh CS. and Hasenauer H. (2011): Incorporating management history into forest growth modeling. *iForest* 4: 212-217.
- Markus O. Huber; Chris S Eastaugh; Thomas Gschwantner; Hubert Hasenauer; Georg Kindermann; Thomas Ledermann; Manfred J Lexer; Werner Rammer; Stefan Schörghuber; Hubert Sterba: Comparing simulations of three conceptually different forest models with National Forest Inventory data. *Environmental Modelling&Software*, eingereicht.
- Georg Kindermann: Weiterentwicklung eines Kreisflächenzuwachsmodells-Refining a basal area increment model. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten–Sektion Ertragskunde, Jahrestagung 2010, Tagungsband, S. 82-95.

- Ledermann Th., Gschwandtner Th., Kindermann G. (2009): Weiterentwicklung des Prognosemodelles PROGNAUS. BFW-Veranstaltungsreihe Waldforschung aktuell, Vortrag am 28.10.2009.

Diese Projektbeschreibung wurde von der Fördernehmerin/dem Fördernehmer erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte übernimmt der Klima- und Energiefonds keine Haftung.