

# Neuparametrisierung standortsensitiver Bonitätsfächer wichtiger Baumarten unter Berücksichtigung von konzeptionellen Verbesserungen und erweiterten Datengrundlagen

---

*Jan Schick*

*Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt*

## Zusammenfassung

Die bisher an der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) verwendeten Standort-Leistungsmodelle werden derzeit neu parametrisiert. Hierzu wurde zunächst die Datenbasis umfangreich erweitert. Zur bisher verwendeten BWI I bis III sowie den Betriebsinventuren aus Hessen und Niedersachsen kommen die Betriebsinventur Schleswig-Holsteins sowie die Daten der Kohlenstoffinventur für alle drei genannten Bundesländer. Weiterhin die Versuchsflächen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg sowie der NW-FVA. Somit ergibt sich je nach Baumart ein Datenzuwachs von plus 42 % (Kiefer) bis zu plus 160 % (Douglasie). Besonders hervorzuheben sind hierbei die bisher nicht vorhandenen langen Messreihen der Versuchsflächen. Auch die vorhandene Standortkartierung konnte ausgebaut werden, sodass mittlerweile für 79 % der Plots Wasserhaushalts- und Nährstoffziffer vorliegen.

Auch die verwendeten Einflussgrößen werden, im Vergleich zu den bisherigen Modellen, deutlich verändert. Die atmosphärischen Variablen, Temperatur- und Niederschlagssummen sowie die Stickstoffdeposition, gingen bisher als gleichgewichtete Mittelwerte ein. Dies wird durch eine mit Wachstumsgängen gewichtete Mittelwertbildung ersetzt. Hierdurch soll das unterschiedliche Wachstum in verschiedenen Altersphasen besser berücksichtigt werden. Weiterhin wird für die Temperatursumme eine Hangkorrektur eingeführt. Dies ist erforderlich, da die Ausgangsdaten hierfür dem Deutschen Wetterdienst entstammen, dessen Stationen stets in der Ebene stehen. Weiterhin soll die Niederschlagssumme nicht mehr direkt eingehen, sondern durch die Temperatursumme geteilt werden um einen Ariditätsindex zu erzeugen. Dieser soll Trockenheit besser abbilden. Überdies ging die Stickstoffdeposition bisher als über dem Alter normierter Wert ein, künftig soll diese direkt als absoluter Wert eingehen.

Zu Testzwecken wurde das Modell für die Buche parametrisiert, die Effekte zeigten hierbei weitgehend plausible Verläufe. Weitergehende Interpretationen sind an dieser Stelle jedoch nicht zielführend, da die Modellformulierung noch nicht finalisiert ist.

## Einleitung

Der Klimawandel stellt die Forstwirtschaft vor erhebliche Herausforderungen. Aufgrund der vergleichsweise schnellen Veränderungen der klimatischen Verhältnisse muss die lange angenommene Standortkonsistenz als ungültig angesehen werden (vgl. IPCC 2021). Dies führt dazu, dass die Wuchsleistung bereits etablierter Baumarten sich erheblich ändern und ggf. ein Wechsel der Baumart künftig zu besseren Ergebnissen führen kann. Um die ökonomische Rentabilität der Bestände zu evaluieren, ist eine Quantifizierung dieser zu erwartenden Wuchsleistung von Nöten. Dies erfordert wiederum Modelle, welche die Leistung sowohl von vorhandenen als auch neu zu begründenden Beständen klimasensitiv schätzen können.

Weiterhin ist in der Zukunft auch mit erhöhten Risiken für Sturmschäden und, durch längere Trockenperioden, für Borkenkäferbefall zu rechnen (vgl. IPCC 2021). Um diese in der Waldbauplanung adäquat berücksichtigen zu können, müssen besagte Risiken quantifiziert werden. Speziell beim Sturmrisiko spielt die Höhe des Bestandes eine erhebliche Rolle und auch bei Borkenkäferkalamitäten spielen die Dimensionen des Bestandes eine Rolle. Somit zeigt sich auch hier die Erforderlichkeit für eine klimasensitive Modelle, welche eben jene Bestandeshöhen unter künftigen Bedingungen fortschreiben können.

An der NW-FVA existiert ein seit Jahren erprobter und eingesetzter Satz an eben hierzu fähigen Standort-Leistungs-Modellen (SCHMIDT 2020). Durch hinzugewonnene Daten sowie neue Methoden in der Aufbereitung der Eingangsgrößen, werden diese derzeit neu strukturiert und parametrisiert. Hiermit soll eine feingliedrigere und präzisere Schätzung rezenter und zukünftiger Höhen erreicht werden.

Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über die Erweiterung der Datengrundlage sowie die angedachten Veränderungen der Kovariablen. Es wurde bereits ein Modell probeweise parametrisiert, die Ergebnisse sind jedoch absolut vorläufig.

## Bisherige Modellierung

Die Ausgangsbasis der Modellierung bilden die an der NW-FVA vorhandenen Standort-Leistungs-Modelle (SLM), welche für die Baumarten Eiche, Buche, Fichte, Weißtanne, Douglasie, Kiefer und Europäische Lärche parametrisiert sind (siehe bspw. SCHMIDT 2020). Die Verwendung einer Wachstumsfunktion gewährleistet die Abbildung eines biologisch sinnvollen Wachstumsganges durch das Modell. Hier wurde die durch LAPPI (1997) hergeleitete, linearisierte Korffunktion verwendet. Diese wurde ursprünglich für die Darstellung von Höhe über Durchmesser konzipiert und wurde entsprechend für Hg über Alter angepasst:

$$\ln(E[Hg_{kt}]) = A_{kt} + B_{kt}x_{kt}$$

wobei

$$x_{kt} = \frac{(Alt_{kt} + \lambda)^{-c} - (100 + \lambda)^{-c}}{(50 + \lambda)^{-c} - (100 + \lambda)^{-c}}$$

mit

$Hg$	Höhe des Grundflächenmittelstammes [m]
$Alt$	Alter des Bestandes [a]
$A, B, \lambda, c$	Parameter
$k$	Index für den Plot
$t$	Index für die Zeit / Messung

Hierbei ist  $A$  als die erwartete, logarithmierte Hg im Alter 50 zu interpretieren.  $B$  entspricht der erwarteten, logarithmierten Differenz der Hg zwischen den Altern 50 und 100. Diese biologische Interpretation der Parameter ermöglicht eine unmittelbare, intuitive Einordnung der geschätzten Effekte und führt zu erheblich einfacheren Plausibilitätsprüfungen. Weiterhin zeichnen sich  $A$  und  $B$  durch eine geringe Korrelation aus, was sich positiv auf die statistischen Eigenschaften der Modelle auswirkt. Überdies ermöglicht die Linearität der Formel eine erheblich einfachere und eindeutige Parametrisierung der Modelle. Schlussendlich hat sich die Formel in jahrelanger Erprobung bewährt, sodass eine Weiterverwendung sinnvoll erscheint.

Zur Modellierung wurde für jede Baumart ein separates generalisiertes, additives Modell (GAM) parametrisiert. Zunächst wurden die Parameter  $\lambda$  und  $c$ , welche die Grundform der Kurve bestimmen, vorab für alle Baumarten getrennt mittels Gittersuche optimiert. Anschließend erfolgte die Prüfung möglicher Eingangsgrößen sowie deren Modifikation, so wurden bspw. die Wasserhaushalts- und Nährstoffziffern nach sachlogischen und statistischen Kriterien zu Gruppen zusammengefasst. Temperatur und Niederschlag gingen als Summen in der Vegetationsperiode ein. Final ergab sich folgende Modellformulierung:

$$\ln(E[Hg_{kt}]) = \beta_0 + f_1(temp_{kt}) + f_2(nds_{kt}) + f_3(ndep_{kt}) + whz_k^t \beta_{whz} + nz_k^t \beta_{nz} + f_4(rw_k, hw_k) + \beta_1 * x_{kt}$$

mit

$Hg$	Höhe des Grundflächenmittelstammes [m]
$temp, nds$	Temperatursumme [°C] und Niederschlagssumme [mm] in der Vegetationsperiode, gemittelt über das Bestandesleben
–	
$ndep$	Stickstoffdeposition [eq/ha/a], gemittelt über das Bestandesleben und normiert
$whz, nz$	Wasserhaushalts- und Nährstoffziffer des Bestandes, codiert als Dummy-Vektor
$rw, hw$	Koordinaten (Rechtswert, Hochwert) des Bestandes
$k$	Index für den Plot
$t$	Index für den Messzeitpunkt
$\beta_0$	Interzept
$\beta_1$	Koeffizient
$\beta_{whz}, \beta_{nz}$	Koeffizientenvektoren für $whz$ und $nz$
$f(.)$	Spline-Funktionen

## Erweiterung der Datengrundlage

Die Dendrometrie des bisher verwendeten Datensatzes entstammte den Bundeswaldinventuren I-III (BWI) sowie Betriebsinventuren aus Hessen und Niedersachsen. Dies erlaubte bereits eine sehr gute räumliche Abdeckung des deutschen Waldes, die Messungen beschränkten sich zeitlich jedoch auf den Bereich von 1986 (BWI I) bis 2014 (Betriebsinventuren). Somit fehlen längere Zeitreihen an Messwiederholungen. Weiterhin wird durch das systematische Probenetz zwar eine repräsentative Probe gezogen, seltene Standorte sind hierdurch jedoch auch entsprechend schwach vertreten. Die jeweiligen Prädiktionen sind somit mit einer hohen Unsicherheit belegt.

### Dendrometrie

Der erste Schritt zur Verbesserung der vorhandenen Modelle ist die Erweiterung der Datenbasis. Der neue Datensatz besteht aus den Messungen der Bundeswaldinventuren I-III (BWI) sowie der Betriebsinventuren (BI) und Kohlenstoffinventur (CI) der Länder Hessen, Niedersachsen und Schleswig-Holstein. Hinzu kommen Messungen auf den Versuchsflächen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA) und der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) sowie speziell für dieses Vorhaben von der NW-FVA durchgeführte Messungen auf klimatisch extremen Standorten. Tabelle 1 stellt den Umfang des aktuellen Datensatzes hinsichtlich Plots, Aufnahmen und Einzelmessungen dar. Tabelle 2 zeigt die Änderung im Vergleich zum alten Datensatz, getrennt nach Baumarten. Bei letzterem ist zu beachten, dass auf einem Plot mehrere Baumarten sein können, die kumulative Anzahl an Plots ist daher in Tabelle 2 deutlich höher.

*Tabelle 1: Umfang der Datengrundlage zur Neuparametrisierung der Standort-Leistungs-Modelle. Dargestellt ist die absolute Anzahl an Messplots, die Summe der durchgeführten Aufnahmen, die Summe an einzelnen, individuellen Messungen sowie die mittlere Anzahl besagter Messungen pro Aufnahme.*

	Anzahl Plots	Anzahl Aufnahmen	Anzahl Messungen	∅ Messungen pro Aufnahme
BI	106.705	165.293	1.461.756	8,8
BWI	58.336	121.127	853.068	7,0
CI	5.456	5.456	33.206	6,1
FVA	1.868	11.434	1.691.151	147,9
NW-FVA	1.870	11.816	1.093.927	92,6
<b>Summe</b>	<b>174.235</b>	<b>315.126</b>	<b>5.133.108</b>	

In Tabelle 1 ist oben beschriebenes Phänomen klar zu erkennen: Die Inventuren verfügen über eine hohe Anzahl an Plots (über 170.000) bei geringerer Zahl an Aufnahmen und an gemessenen Bäumen pro Aufnahme, wohingegen die vergleichsweise wenigen Versuchsflächen (ca. 3.700) erheblich mehr Einzelbaumdaten aus mehr Messwiederholungen liefern. Durch die neu hinzugewonnenen Daten kann somit auch die Plausibilität der Schätzung bei längeren Zeitreihen beurteilt werden.

*Tabelle 2: Anzahl an Plots pro Baumart im alten und neuen Datensatz, sowie der Zuwachs an Daten in Prozent.*

Baumart	Alt	Neu	Änderung
Eiche	43.301	65.353	+50,93 %
Buche	73.143	113.045	+54,55 %
Fichte	89.471	129.694	+44,96 %
Weißtanne	6.806	10.950	+60,89 %
Douglasie	8.959	23.323	+160,33 %
Kiefer	68.044	96.854	+42,34 %
Europ. Lärche	16.267	27.446	+68,72 %
<b>Summe</b>	<b>305.991</b>	<b>466.665</b>	<b>+52.51 %</b>

Tabelle 2 zeigt bei allen Baumarten eine erhebliche Erweiterung des Datensatzes, von +42 % bei der Kiefer bis +16 % bei der Douglasie, wobei letzteres speziell auf die Daten der Versuchsflächen (NW-FVA und FVA) zurückzuführen ist.

Die räumliche Abdeckung der Daten ist in Abbildung 1 dargestellt. Hierbei ist klar zu erkennen, dass die Grundabdeckung des Gebietes der Bundesrepublik Deutschland durch die hohe Anzahl an Plots der Inventuren (BWI, BI, CI) erfolgt. Die Versuchsflächen der Versuchsanstalten (NW-FVA, FVA) sind in der Anzahl weniger, zeichnen sich jedoch durch eine hohe Zahl an gemessenen Bäumen und vor allem an Messwiederholungen aus (vgl. Tabelle 1).

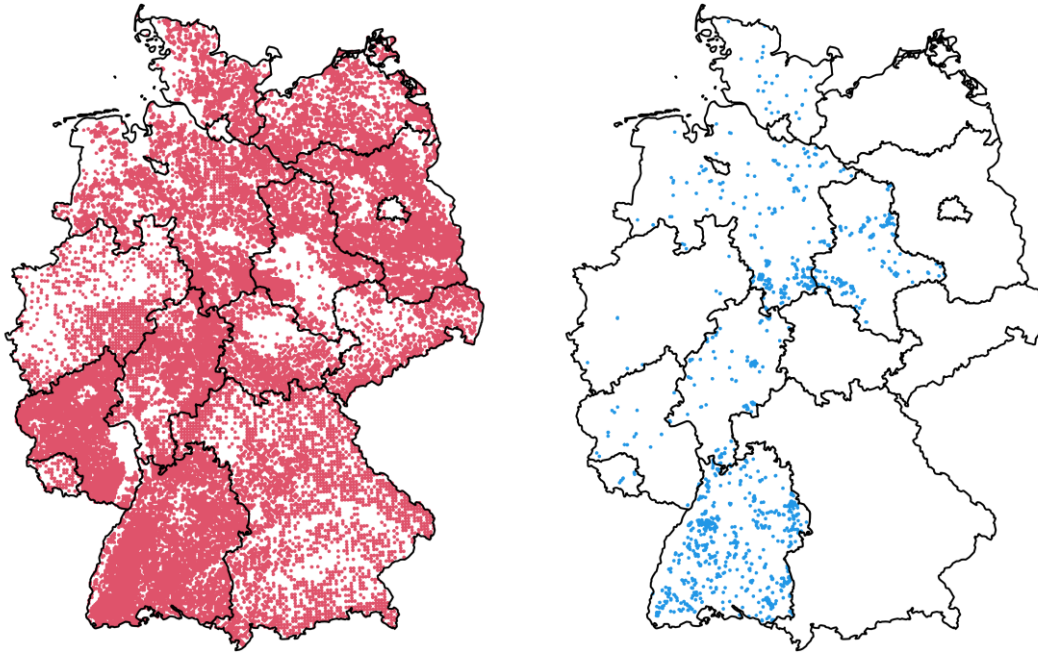


Abbildung 1: Räumliche Abdeckung der Datengrundlage zur Neuparametrisierung der Standort-Leistungs-Modelle. Die linke Grafik (rote Punkte) zeigt den aus den Inventuren (BWI, BI, CI) stammenden Teil des Datensatzes, die rechte Grafik (blaue Punkte) die Daten der Versuchsanstalten (NW-FVA, FVA).

### Klimadaten und Standortkartierung

Die verwendeten Temperatur- und Niederschlagssummen basieren auf Tageswerten des Deutschen Wetterdienstes (DWD). Für diese wurde mittels des R-Paketes `vegperiod` (NUSKE 2022) jährlich die Vegetationsperiode bestimmt. Anschließend wurden die Werte aufsummiert und auf ein 50m\*50m Raster regionalisiert, die Werte stehen aktuell von 1900 bis 2019 zur Verfügung. Für Projektionen stehen die sieben Regionalisierungen des ReKliEs-Kernensembles des Klimaszenarios RCP 8.5 von 2020 bis 2100 in der gleichen Auflösung bereit. Die Stickstoffdeposition wurde basierend auf Daten des Umweltbundesamtes und liegt von 1800 bis 2100 vor.

Die Standortkartierung besteht einerseits aus den im Rahmen der BWI kartierten Werten. Weiterhin liegen die Kartierungen der Wasserhaushaltsziffer (Whz) und Nährstoffziffer (Nz) der jeweiligen Landesforstverwaltungen für Hessen, Niedersachsen, Schleswig-Holstein und Sachsen-Anhalt vor. Zusätzlich wurden durch die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) Kartierungen für Bayern geliefert, die Werte für Baden-Württemberg kamen von der FVA. Somit kann derzeit 79 % der Plots ein Paar aus Wasserhaushalts- und Nährstoffziffer zugewiesen werden. Um die Dendrometrie der restlichen 21 % nicht komplett zu verlieren, wurden whz und nz hier einer "Unbekannt"-Kategorie zugeordnet, welche in der Modellierung ihren eigenen Effekt bekommt.

### Modifikation der Eingangsgrößen

Neben der erweiterten Datengrundlage werden auch substantielle Änderungen in der Aufbereitung der Eingangsvariablen vorgenommen, speziell bei Temperatur- und Niederschlagssumme in der Vegetationsperiode sowie der Stickstoffdeposition. Bisher gingen diese Größen als einfacher Mittelwert über das Bestandesleben ein. Für eine realitätsnähere Abbildung biologischer Prozesse wird dies durch einen mit Wachstumsgängen gewichteten Mittelwert ersetzt. Weiterhin erfolgt eine Hangkorrektur besagter Temperatursummen.

## Gewichtung mit Wachstumsgängen

Der bisher verwendete, gleichgewichtete Mittelwert für Temperatur- und Niederschlagssumme in der Vegetationsperiode sowie Stickstoffdeposition unterstellt implizit eine gleiche Wirksamkeit der Witterung bei unterschiedlichen Altern. Für eine biologisch plausible Gewichtung werden künftig Wachstumsgänge aus Ertragstafeln verwendet. Letztere wurden basierend auf den Bonitätsfächern der Ertragstafelsammlung SCHOBER (1995) an der NW-FVA funktionalisiert (vgl. auch ALBERT et al. 2022, STAUPENDAHL 2022). Die verwendeten Ertragstafeln finden sich in Tabelle 3. Abbildung 2 zeigt die Wachstumsgänge der vier Hauptbaumarten. Da bei einer späteren Schätzung die Bonität als unbekannt vorausgesetzt werden muss, wird hierbei über alle Baumarten pauschal die erste Bonität verwendet.

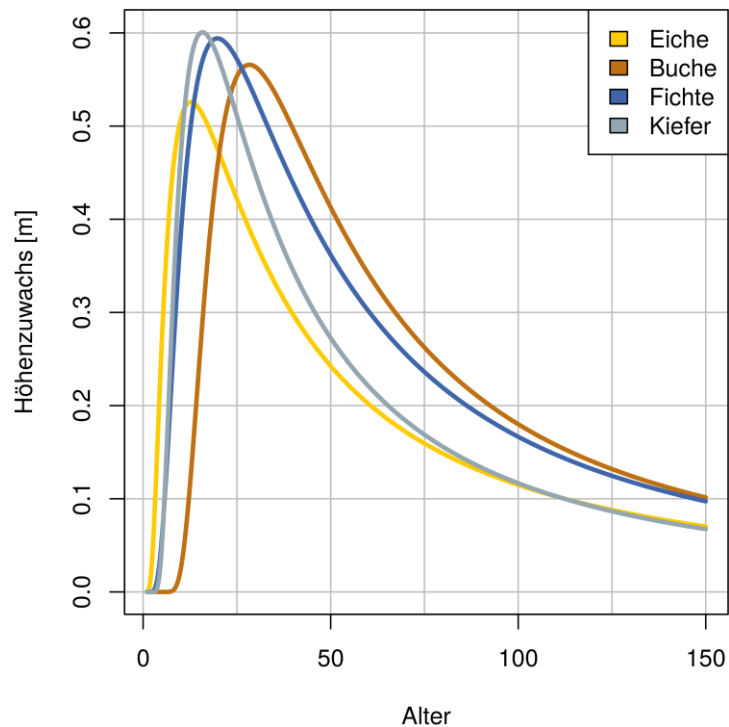


Abbildung 2: Zur Gewichtung der Klimavariablen verwendete Wachstumsgänge aus funktionalisierten Ertragstafeln, beispielhaft für die vier Hauptbaumarten.

Tabelle 3: Zur Gewichtung der Wachstumsgänge verwendete Ertragstafeln.

Baumart	Ertragstafel
Eiche	Jüttner 1955
Buche	Schober 1967/1971
Fichte	Wiedemann 1936/1942
Weißtanne	G. D. Schmidt 1955
Douglasie	Bergel 1985
Kiefer	Wiedemann 1943
Europäische Lärche	Schober 1946

## Hangkorrektur

Die primäre Datenquelle für die verwendeten Temperatursummen ist der DWD. Da dessen Messstationen jedoch nicht an Hängen stehen, sondern nur auf flachem Terrain, entsprechen auch die Temperaturen jenen in der Ebene. Um die Temperatur auf Hängen zu erhalten, wird die in WaSiM-ETH

(SCHULLA 2021) implementierte Hangkorrektur für Temperatursummen mittels GAM nachmodelliert. Hierzu wurden Aspect (Wertebereich 0° bis 360°) und Slope (Wertebereich 0° bis 74°) auf Basis des Copernicus DGM (Digitales Geländemodell) errechnet und als Prädiktoren für die Temperatursummenkorrektur genutzt. Die explained deviance des geschätzten Modells liegt bei 99,9 %, die Anpassung ist daher als nahezu perfekt zu bewerten. Das Resultat ist eine moderate Erhöhung der Temperatur auf Südhängen sowie eine stärkere Abkühlung auf Nordhängen, beide Effekte nehmen mit steigendem Gefälle zu. Eine beispielhafte Anwendung auf dem Brocken (Harz) findet sich in Abbildung 3.

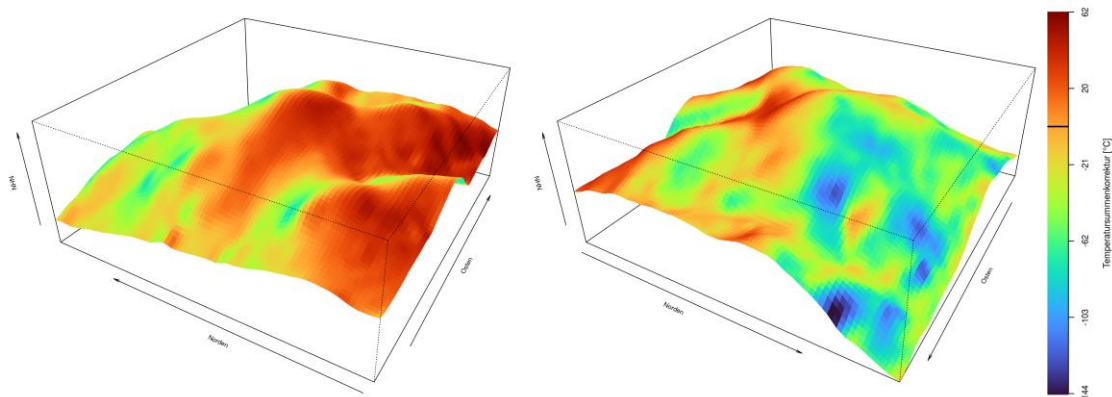


Abbildung 3: Effekt der Temperatursummenkorrektur. Dargestellt ist die absolute Korrektur der Temperatursumme in der Vegetationsperiode in °C am Beispiel des Reliefs des Brockens (Harz). Der Mittelpunkt der Karte befindet sich auf dem Gipfel, die linke Teilgrafik ist aus Blickrichtung Westsüdwest, die rechte aus Ostnordost erstellt. Der schwarze Strich in der Legende markiert die Null. Relief nicht maßstabsgetreu.

## Vorläufige Ergebnisse

Zu Testzwecken wurde das Modell der Buche vorläufig nach folgender Formulierung parametrisiert:

$$\ln(E[Hg_{kt}]) = \beta_0 + f_1(temp_{kt}) + f_2(arid_{kt}) + f_3(ndep_{kt}) + whz_k^t \beta_{whz} + nz_k^t \beta_{nz} + f_4(rw_k, hw_k) + \beta_1 * x_{kt}$$

Die Formulierung entspricht hierbei zunächst weitgehend der des bisherigen Modells (siehe oben), wobei die Eingangsgrößen, wie in den vorhergehenden Kapiteln beschrieben, modifiziert und erweitert wurden. Weiterhin wurde durch das Teilen der Niederschlagssumme durch die Temperatursumme ein Ariditätsindex erzeugt ( $arid_{kt}$ ), welcher den Niederschlag ersetzt und aufgrund der Datenlage auf ein Maximum von 0,4 begrenzt wurde. Die Stickstoffdeposition ging bisher als über dem Alter normierter Wert ein, in die künftige Modellierung soll sie jedoch absolut eingehen. Die resultierenden Effekte der atmosphärischen Variablen sind in Abbildung 4 dargestellt. Hierbei ist anzumerken, dass die absoluten Höhen der Effekte durch die log-Transformation (siehe oben) nicht direkt interpretierbar sind. Auf die Darstellung der Effekte für  $whz$  und  $nz$  sowie des räumlichen Glätters wurde hier verzichtet.

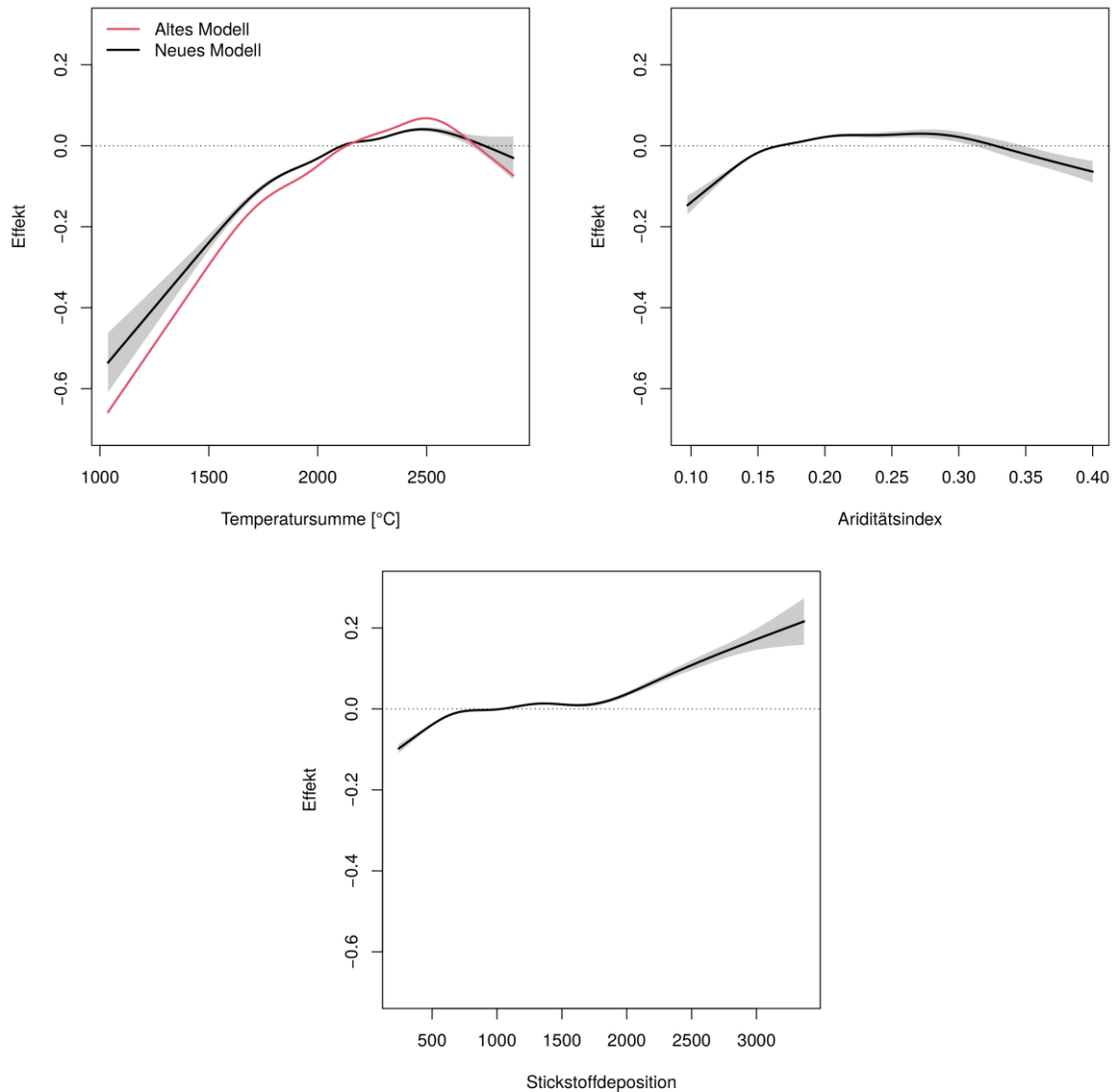


Abbildung 4: Darstellung der vorläufigen Effektschätzungen für das Buchenmodell. In der oberen Reihe findet sich die Temperatursumme in der Vegetationsperiode, die schwarze Linie kennzeichnet den neuen Effekt, die rote die des bisherigen Modells. Die 95 %-Konfidenzbänder sind grau dargestellt. Daneben findet sich der aufgrund der Datenlage bei 0,4 gekappte Ariditätsindex. Der Effekt der Stickstoffdeposition findet sich unten in der Grafik.

Wie in der Abbildung klar zu erkennen ist, zeigt die Temperatursumme ein Optimum bei ca. 2500 °C, wie auch schon im bisherigen Modell. Bisher zeigte sich jedoch ein stärkerer Abfall jenseits des Optimums. Dieses Resultat könnte sich unter anderem durch die Verwendung des (neuen) Ariditätsindex erklären lassen, da sich die Effekte gegenseitig beeinflussen. Der Ariditätsindex selbst zeigt ebenfalls einen Optimalverlauf mit abfallenden Höhen bei zu feuchten oder zu trockenen Standorten. Die Stickstoffdeposition wirkt sich bis ca. 750 eq/ha/a positiv aus, danach stagniert die Wirkung jedoch, um bei 1750 eq/ha/a wieder stark anzusteigen. Letzteres könnte durch die Verfügbarkeit an Daten begründet sein, hier muss noch eine Kappung der Daten auf einen Maximalwert geprüft werden. Sowohl beim Ariditätsindex als auch bei der Stickstoffdeposition ist kein Vergleich mit dem bisherigen Modell möglich. Ersterer stellt eine komplett neue Größe dar. Letztere geht als absoluter Wert in die neuen Modelle ein und nicht mehr, wie bisher, als normierter.

Generell sollen die hier gezeigten Effekte als absolut vorläufig bewertet werden, sie dienen lediglich zur Illustration möglicher Ergebnisse.



## Ausblick

Da sich die neuen Modelle noch in Entwicklung befinden, kann an dieser Stelle keine definitive Aussage über deren endgültige Formulierung oder über die mögliche Form resultierender Effekte getroffen werden. Grundsätzlich wird sich die Formulierung jedoch an den bereits vorhandenen Modellen orientieren. Es wird weiterhin ein GAM eingesetzt werden und auch die verwendeten Einflussgrößen wirken zunächst ähnlich. Letzteres ist vor allem in der Verfügbarkeit an Daten begründet: Einerseits sollten für die Parametrisierung alle Einflussgrößen im Optimalfall für den kompletten, wenigstens aber für den erheblichen Teil des verwendeten Datensatzes vorliegen. Andererseits soll eine Anwendung des Modells auch auf neuen, bisher nicht erfassten Beständen möglich sein. Daher sollten die Einflussgrößen hierfür bestenfalls für die komplette Waldfläche der Bundesrepublik vorliegen. Da dieses Kriterium nur von wenigen Daten erfüllt wird, werden auch hier ähnliche Größen verwendet wie bei den bestehenden Modellen. Es ist jedoch hervorzuheben, dass Temperatur- und Niederschlagssumme sowie die Stickstoffdeposition komplett neu berechnet wurden. Auch die Standortkartierung wurde umfangreich erweitert und überarbeitet.

Weitere deutliche Unterschiede zu den bisherigen Modellen ergeben sich in der Aufbereitung der Daten (siehe oben) sowie hinsichtlich der Wirkung der Einflussgrößen. So ist bspw. angedacht, die Niederschlagssumme im Modell durch einen Ariditätsindex (siehe oben) zu ersetzen. Hierzu wird die Niederschlagssumme durch die Temperatursumme geteilt, um ein relatives Maß zu erhalten und die durch den Klimawandel erwartete Trockenheit besser abzubilden. Weiterhin sind durch die erweiterte Datengrundlage die einzelnen Kategorien der Standortkartierung deutlich besser besetzt. Bisher wurden die extremen und daher seltenen Kategorien teils zusammengefasst, bspw. besonders trockene oder besonders nährstoffreiche Böden. Künftig wird hier eine feinere Gliederung möglich sein. Letztlich wird bei der Modellierung schlussendlich jede Variable hinsichtlich ihres Eingangs in das Modell sowie ihrer Aufbereitung überprüft und angepasst werden, über die Ergebnisse kann zum aktuellen Zeitpunkt jedoch keine Aussage getroffen werden.

Hinsichtlich der Anwendung der Modelle ergeben sich mannigfaltige Möglichkeiten. So werden die Leistungsschätzungen aus den bereits vorhandenen Modellen bspw. eingesetzt, um ökonomische Analysen durchzuführen, Sturmschadensrisiken zu berechnen (ZEPPENFELD u. SCHMIDT 2022) oder in der multikriteriellen Baumartenwahl (HAMKENS 2022). Durch die Neuparametrisierung dieser Modelle sollen Klimaeffekte besser abgebildet und seltene Standorte adäquater erfasst werden können. Durch die erweiterte Datengrundlage ist überdies von einer erhöhten Präzision der Prädiktion und stabileren Effekten auszugehen. Somit soll hier ein leistungsstarkes Werkzeug zur Planung künftiger Waldbestände unter Klimawandel entstehen.

## Danksagung

Dank geht an Matthias Schmidt und Matthias Albert für umfangreiche Vorarbeit und Unterstützung, Thorsten Zeppenfeld für das Regionalisieren der Klimadaten und Bernd Ahrends für die Modellierung der Stickstoffdeposition. Weiterhin an die Deutsche Forschungsgemeinschaft für die Förderung des Graduiertenkollegs 2300 "EnriCo" (Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) - Projektnummer 316045089), im Rahmen dessen die Neuparametrisierung erfolgt.

## Literatur

- ALBERT, M.; MATTHIAS, S.; NAGEL, R.-V.; SPELLMANN, H. (2022): Eine neue Generation von Ertragstafeln. *AFZ – DerWald* 77(15): 35–39.
- HAMKENS, H. (2022): Baumartenwahl im Klimawandel. In: Beiträge zur Jahrestagung 2022. DVFFA – Sektion Ertragskunde.
- IPCC (2021): *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- LAPPI, J. (1997): A Longitudinal Analysis of Height/Diameter Curves. *For Sci* 43(4): 555–570.
- NUSKE, R. (2022): *vegperiod: Determine Thermal Vegetation Periods*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7272438>
- SCHMIDT, M. (2020): Standortsensitive und kalibrierbare Bonitätsfächer: Wachstumspotenziale wichtiger Baumarten unter Klimawandel. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 190(5/6): 136–160.
- SCHOBER, R. (1995): Ertragstafeln wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung. *Sauerliformode* \ddota\elseä\finder, J D.
- SCHULLA, J. (2021): Model Description WaSiM (Water balance Simulation Model), 10.06.00.
- STAUPENDAHL, K. (2022): Mit der Sloboda- und Cieszewski & Bella-Funktion geschätzte Bonitätsfächer auf Basis der Daten der Ertragstafelsammlung Schober
- ZEPPENFELD, T.; SCHMIDT, M. (2022): Modellierung und Projektion von Wintersturmschäden im Klimawandel. In: Beiträge zur Jahrestagung 2022. DVFFA – Sektion Ertragskunde.