

Wachstum von Eiche, Buche, Fichte und Kiefer im Klimawandel

Matthias Schmidt, Jan Schick und Thorsten Zeppenfeld

<https://doi.org/10.5281/zenodo.5717913>

Zur Abschätzung der Folgen des Klimawandels auf den Wald wurden an der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt Standort-Leistungs-Modelle (SLM) entwickelt, mit denen sich die Wuchsleistung wichtiger Baumarten im Klimawandel projizieren lässt. Diese SLM stellen eine wichtige Ergänzung zu Modellen zur Gefährdungseinschätzung durch Trockenstress, Stürme oder Borkenkäfer dar. Letztere ermöglichen die Abschätzung des Totalverlustes von Bäumen und Beständen, die SLM erlauben die Abschätzung des Risikos von Zuwachsverlusten.

Methodik

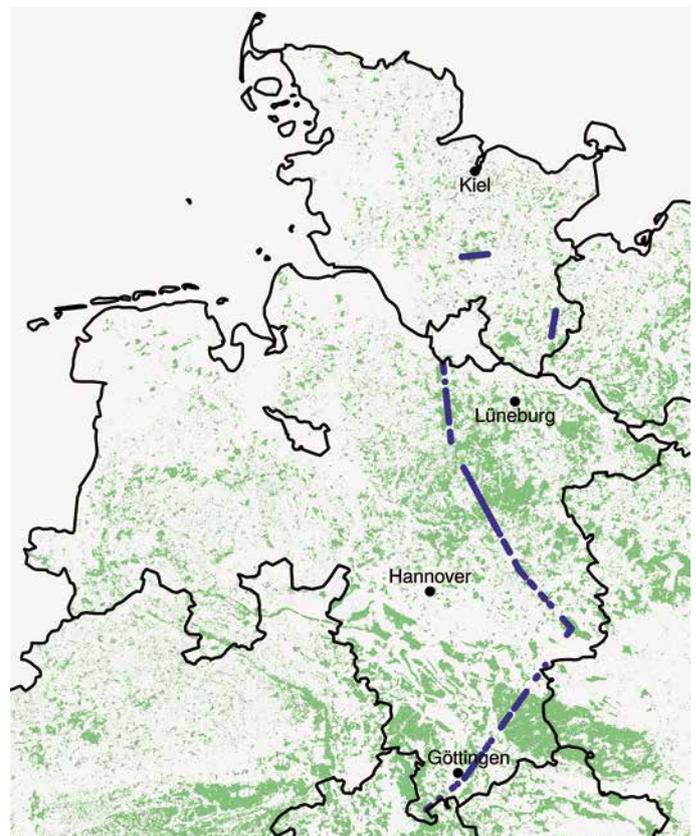
Die SLM sind als standortssensitive Bonitätsfächer konzipiert, mit denen sich die Entwicklung der Mittelhöhe (Hg) über dem Alter in Abhängigkeit von wichtigen Standortfaktoren einschätzen lässt (Schmidt 2020). Diese Faktoren sind die Temperatur- (TSum) und Niederschlagssumme (NSum) in der Vegetationszeit, die jährliche Stickstoffdeposition (NDep) sowie die Wasserhaushalts- (WHZ) und Nährstoffziffer (NZ) entsprechend der forstlichen Standortkartierung. Die edaphischen Standortfaktoren WHZ und NZ gehen statisch und die Klima- und Depositionsparameter dynamisch in die Leistungsschätzung ein. Dynamisch bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Standortfaktoren TSum, NSum und NDep als Mittelwerte für den Zeitraum berechnet werden, der für die Projektion der Mittelhöhe relevant ist. Soll beispielsweise die Mittelhöhe im Alter 100 (absolute Mittelhöhenbonität) im Jahr 2050 projiziert werden, so werden die 100 jahresspezifischen Werte für TSum, NSum und NDep von 1950 bis 2050 gemittelt und als Prädiktoren im Modell verwendet. Durch diese Vorgehensweise werden exakt die Klima- bzw. Depositionsbedingungen berücksichtigt, die für die spezifische Mittelhöhen-Entwicklung auf einem gegebenen Standort im betreffenden Zeitraum relevant sind. Bei den Klimaparametern handelt es sich bis 2020 um aggregierte und regionalisierte (räumlich interpolierte) Messdaten der Stationen des Deutschen Wetterdienstes. Für Projektionen in die Zukunft werden ab 2020 regionalisierte Werte aus Klimaprojektionen genutzt, wobei an der NW-FVA derzeit die 7 Klimäläufe des ReKliEs-De-Kernensembles auf Basis des RCP 8.5 Klimaszenarios verwendet werden (Hübener et al. 2017). Die Grundlage für die Regionalisierung der NDep bilden flächendeckende Berechnungen mit dem prozessorientierten LOTUS-EUROS Modell (Schaap et al. 2015), auf deren Basis Zeitreihen der retrospektiven Deposition generiert werden (Wellbrock et al. 2019). Die ertragskundliche Datengrundlage der SLM umfasst die Bundeswaldinventur I, II und III (Riedel et al. 2017) sowie Daten der Landeswaldinventur Brandenburg und von Betriebsinventuren der Niedersächsischen Landesforsten und von HessenForst. Durch diese sehr umfangreiche Datenbasis werden sowohl große Gradienten der dynamischen Standortfaktoren als auch edaphische Extremstandorte abgedeckt. Insbesondere die Erfassung der unter den aktuellen Klimabedingungen wärmsten und niederschlagsärmsten Standorte in Deutschland ist von großer Bedeutung, um möglichst realistische Projektionen unter den Bedingungen eines veränderten Klimas zu ermöglichen. Dabei wird angenommen, dass Wälder in Nordwestdeutschland zukünftig ähnliche Wuchsleistungen zeigen wie derzeitige Wälder auf den aktuell wärmsten und niederschlagsärmsten Standorten, wenn sich das Klima in Richtung dieser Standorte verändert (Analogieschluss).



Foto: J. Evers

Ergebnisse

Im Folgenden werden Projektionen der absoluten Mittelhöhenbonität und der Leistungsklasse (LKL = dGZmax) für die Jahre 2000 und 2100 entlang eines Transektes von Bad Segeberg über die Wälder östlich von Mölln, die Harburger Berge bei Hamburg, die Lüneburger Heide, den Elm bei Braunschweig, den Harz und den Göttinger Wald bis zum Kaufunger Wald für Eiche, Buche, Fichte und Kiefer dargestellt. Um die klimaabhängigen Trends entlang des Transektes klarer erkennen zu können, wurde die tlw. starke, durch kleinräumige Standortunterschiede bedingte Streuung der projizierten Bonitäten durch einen Glättungsalgorithmus reduziert. Hier werden nur die Höhenbonitäten detaillierter analysiert. Bei einer Analyse der Leistungsklassen wäre zu beachten, dass die Volumenzuwächse der Baumarten bei gleicher Höhenbonität deutliche Unterschiede aufweisen. Für die Eiche weisen die Schätzungen für das Jahr 2000 in den Hochlagen des Harzes



Transekt von Bad Segeberg über die Wälder östlich von Mölln, die Harburger Berge bei Hamburg, die Lüneburger Heide, den Elm bei Braunschweig, den Harz und den Göttinger Wald bis zum Kaufunger Wald. Für diesen Transekt wird die Wuchsleistung für die Jahre 2000 und 2100 projiziert. Der Transekt beinhaltet ausschließlich Waldflächen.

Wachstum von Eiche, Buche, Fichte und Kiefer im Klimawandel

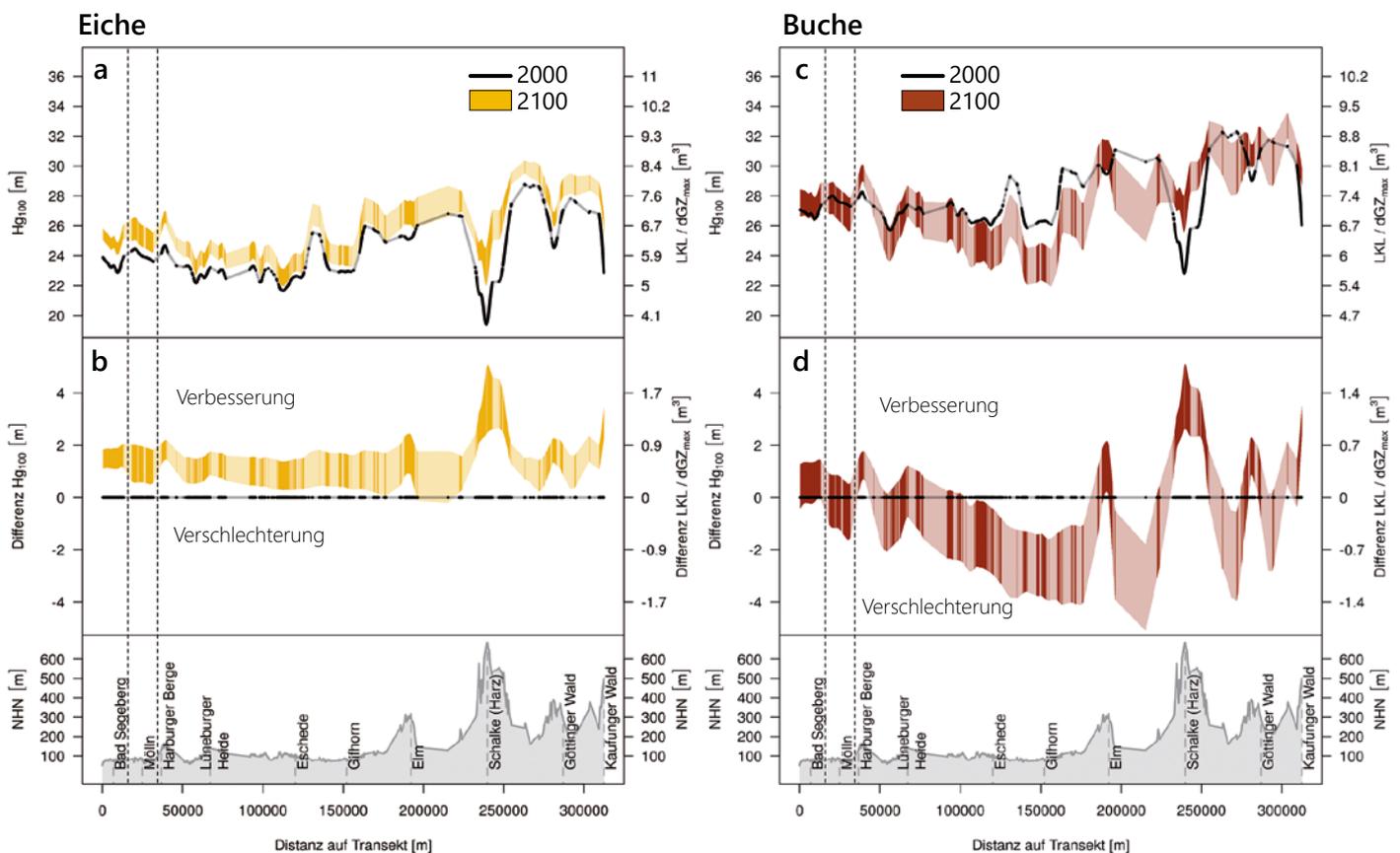
eine höhere Unsicherheit auf, da sie im Randbereich der Daten liegen, die die Grundlage des SLM bilden. In den Gebieten mit aktuell schon hohen Temperatur- und niedrigen Niederschlagssummen liegen die Projektionen für das Jahr 2100 in Abhängigkeit von den verschiedenen Klimäläufen und baumartenspezifischen Datengrundlagen mehr oder weniger stark im Extrapolationsbereich, sodass die Modellvorhersagen auch in diesem Bereich weniger sicher sind.

Zusätzlich werden die Veränderungen zwischen dem Jahr 2000 und 2100 abgebildet, um die unterschiedlichen Reaktionen der Baumarten auf den projizierten Klimawandel bzgl. der Wuchseistung zu analysieren.

Für das Jahr 2000 zeigen die Modellschätzungen für **Eiche** ein Muster, das im Norddeutschen Tiefland vor allem durch die Geologie bestimmt wird (Abb. unten, **Eiche a**). So werden innerhalb des Tieflands die besten Bonitäten auf Geschiebelehmen oder -mergeln projiziert, wie sie entlang des Transektes in den Harburger Bergen, partiell zwischen Eschede und Gifhorn sowie südöstlich von Gifhorn vorkommen. Geringere Bonitäten werden auf sandigen Substraten geschätzt, wie sie entlang des Transektes westlich von Bad Segeberg, östlich von Mölln und von der Lüneburger Heide bis nach Gifhorn dominieren. Im Mittelgebirgsraum sind die geschätzten Bonitäten dagegen deutlich mit der Höhenlage korreliert. So werden die besten Bonitäten in den tiefsten Lagen zwischen Elm, Harz, Göttinger Wald und Kaufunger Wald projiziert. Diese liegen in Südniedersachsen noch über denen der besten Tieflandsstandorte. Die geringsten Bonitäten werden im Bergland in

den höchsten Lagen des Kaufunger Waldes und vor allem des Harzes geschätzt, wo auf der Schalke (762 m) die geringste Bonität des gesamten Transektes projiziert wird. Der Vergleich mit den Projektionen für das Jahr 2100 zeigt für die Eiche fast ausnahmslos Bonitätsverbesserungen (Abb. unten, **Eiche b**). Nur zwischen Elm und Harz weisen einzelne Klimäläufe geringfügige Verschlechterungen auf. Im Tiefland werden die größten Bonitätsverbesserungen in Schleswig-Holstein und den Harburger Bergen projiziert, wobei die Unterschiede insgesamt relativ gering sind. Im Bergland sind die Bonitätsverbesserungen in den tieferen Lagen bis 250 m Höhenlage ähnlich wie im Tiefland. Mit zunehmender Höhenlage werden im Elm, Göttinger Wald, Kaufunger Wald und Harz deutlich ansteigende Bonitätsverbesserungen geschätzt, die auf der Schalke einen Maximalwert von 5 m erreichen.

Für die **Buche** weisen die Schätzungen für das Jahr 2000 ein ähnliches Muster wie bei Eiche auf. Allerdings liegen die Bonitäten erwartungsgemäß deutlich höher als bei Eiche (Abb. unten, **Buche c**). Die höchsten aktuellen Bonitäten werden wie bei Eiche in den tieferen Lagen Südniedersachsens erreicht. Bei der Projektion für das Jahr 2100 zeigen sich jedoch große Unterschiede zwischen den beiden Laubbaumarten, da im Tiefland mit Ausnahme der Harburger Berge in mindestens einem der Klimäläufe Bonitätsverschlechterungen von bis zu 4 m auftreten (Abb. unten, **Buche d**). Im südlichen Tieflandsbereich um Eschede und Gifhorn werden sogar in allen 7 Klimäläufen Bonitätsverschlechterungen projiziert. Auch in den tieferen Lagen des Berglandes bis 200 m werden für die Buche fast ausnahms-



Projektionen der absoluten Mittelhöhenbonität (Hg_{100}) und der Leistungsklasse (LKL/dGZ_{max}) für Eiche (a) und Buche (c) für das Jahr 2000 (schwarze Linien) und für das Jahr 2100 und die 7 Klimäläufe des ReKliEs-De-Kernensembles auf Basis des RCP 8.5 Klimaszenarios (farbige Bänder) entlang des in Abb. Seite 29 dargestellten Transektes von Bad Segeberg bis zum Kaufunger Wald. Die Veränderungen zwischen den Projektionen für 2000 und 2100 zeigen die Diagramme b (Eiche) und d (Buche). Für Punkte außerhalb der Waldfläche, die am hellerem Farbton erkennbar sind, wurde zwischen den Projektionen benachbarter Waldflächen interpoliert. Die unteren Graphiken beschreiben das Profil der Seehöhe (NHN) entlang des Transektes.

Wachstum von Eiche, Buche, Fichte und Kiefer im Klimawandel

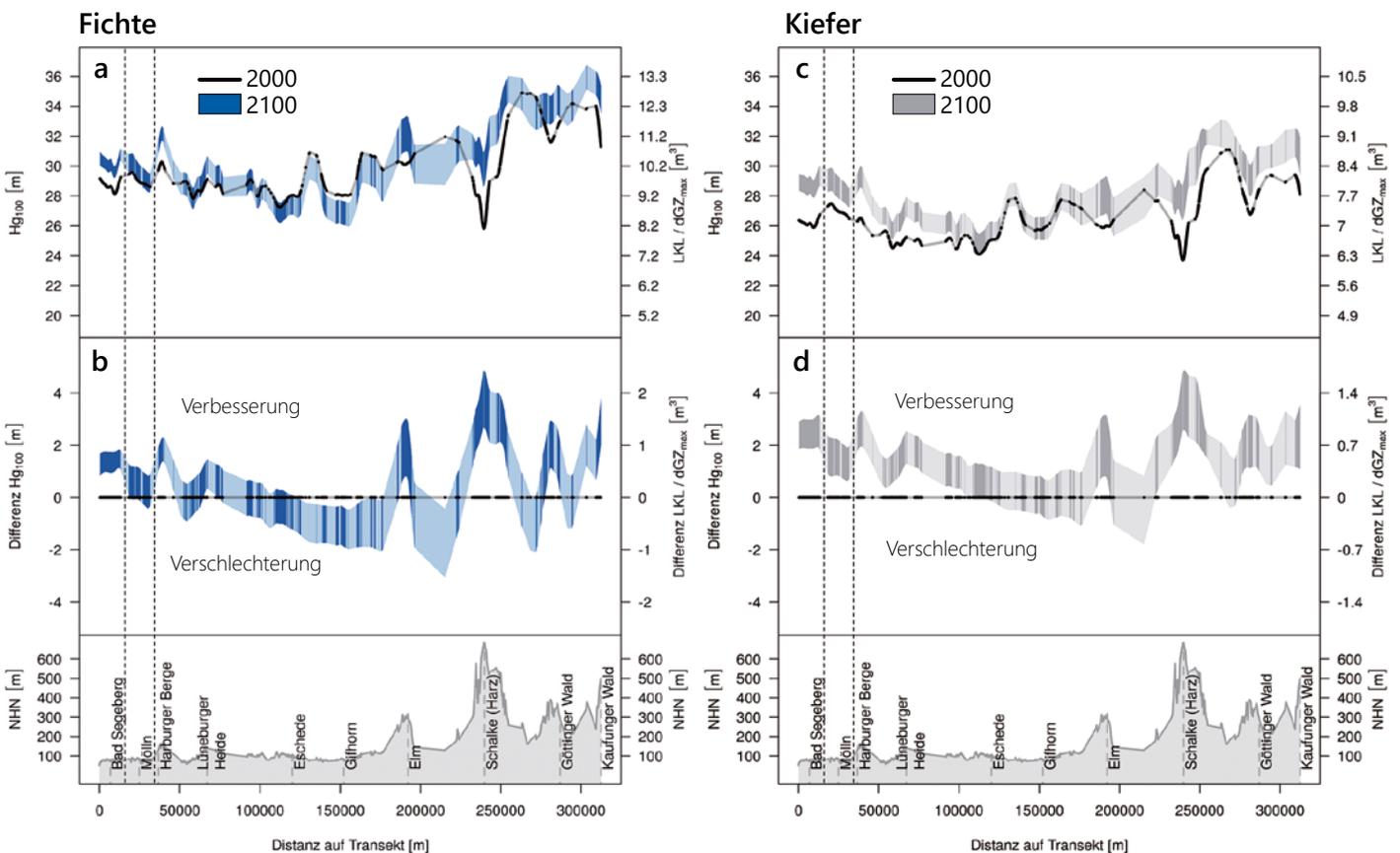


Foto: M. Spielmann

los Bonitätsverschlechterungen von bis zu 5 m projiziert. Mit steigender Höhenlage nimmt die Zahl der Klimäläufe mit Bonitätsverbesserungen deutlich zu. So werden bereits ab 300 m ausschließlich Bonitätsverbesserungen geschätzt. Der Maximalwert wird mit 5 m Bonitätsverbesserung auf der Schalke im Harz projiziert.

Für die **Fichte** weisen die Schätzungen für das Jahr 2000 ein ähnliches Muster wie bei Buche und Eiche auf. Allerdings liegen die Bonitäten – auch hier erwartungsgemäß – noch einmal deutlich höher als bei Buche (Abb. unten, **Fichte** a). Die

höchsten aktuellen Bonitäten werden wie bei Eiche und Buche in den tieferen Lagen Südniedersachsens erreicht. Aufgrund ihrer geringen Ansprüche bzgl. der Temperatursumme sind die relativen Bonitätsveränderungen zwischen den mittleren Höhenlagen und den Hochlagen aber geringer als bei Buche und Eiche. Bzgl. der Projektionen für das Jahr 2100 zeigt die Fichte ein ähnliches Muster wie die Buche und unterscheidet sich damit ebenfalls deutlich von der Eiche (Abb. unten, **Fichte** b). So weisen im Norddeutschen Tiefland viele Standorte mindestens einen Klimalauf mit Bonitätsverschlechterungen auf. Allerdings sind diese Verschlechterungen deutlich geringer als bei der Buche. Auch ist im Vergleich zu dieser der Tieflandbereich, in dem ausschließlich Bonitätsverschlechterungen projiziert werden, weniger ausgedehnt. Zudem treten Bereiche mit Bonitätsverbesserungen in allen Klimäläufen nicht nur in den Harburger Bergen, sondern auch im Bereich von Bad Segeberg und der nördlichen Lüneburger Heide auf. Im Bergland sind Bereiche mit ausschließlich Bonitätsverschlechterungen auf den Bereich zwischen Elm und Harz beschränkt, hier werden auch die maximalen Verschlechterungen von bis zu 3 m projiziert. In den höheren Lagen ab 300 m treten auch bei der Fichte ausschließlich Bonitätsverbesserungen auf, die im Elm und Göttinger Wald über den Werten für Buche liegen. In den höheren Lagen des Kaufunger Waldes und des Harzes sind die Bonitätsverbesserungen von Buche und Fichte in etwa gleich. So beträgt der Maximalwert für die Fichte auf der Schalke ebenfalls 5 m. Das Niveau der Schätzungen für die **Kiefer** für das Jahr 2000 (Abb. unten, **Kiefer** c) liegt zwischen den Projektionen für Bu-



Projektionen der absoluten Mittelhöhenbonität (Hg_{100}) und der Leistungsklasse (LKL/dGZ_{max}) für Fichte (a) und Kiefer (c) für das Jahr 2000 (schwarze Linien) und für das Jahr 2100 und die 7 Klimäläufe des ReKliEs-De-Kernensembles auf Basis des RCP 8.5 Klimaszenarios (farbige Bänder) entlang des in Abb. Seite 29 dargestellten Transektes von Bad Segeberg bis zum Kaufunger Wald. Die Veränderungen zwischen den Projektionen für 2000 und 2100 zeigen die Diagramme b (Fichte) und d (Kiefer). Für Punkte außerhalb der Waldfläche, die am hellerem Farbton erkennbar sind, wurde zwischen den Projektionen benachbarter Waldflächen interpoliert. Die unteren Graphiken beschreiben das Profil der Seehöhe (NHN) entlang des Transektes.

Wachstum von Eiche, Buche, Fichte und Kiefer im Klimawandel

che und Eiche. Bzgl. des grundsätzlichen Musters ähnelt die Kiefer der Fichte. So sind die Bonitätsrückgänge zwischen den mittleren Höhenlagen und den Hochlagen von Kaufunger Wald und insbesondere des Harzes weniger stark als bei Buche und Eiche. Besonderheiten der Kiefer sind die im Baumartenvergleich relativ guten Bonitäten östlich von Mölln und die relativ schlechten Bonitäten im Elm. Beim Vergleich mit den Projektionen für das Jahr 2100 weist die Kiefer ein Muster auf, das zwischen dem von Eiche und Fichte liegt (Abb. Seite 31, **Kiefer d**). So treten im südlichen Tieflandsbereich und zwischen Elm und Harz deutlich mehr Klimäläufe mit Bonitätsverschlechterungen auf als bei Eiche, aber deutlich weniger als bei Fichte. Auch gibt es bei Kiefer keine Bereiche, in denen in allen Klimäläufen Bonitätsverschlechterungen projiziert werden. Die stärksten Bonitätsverbesserungen zeigen sich wie bei den anderen Baumarten in den höheren Mittelgebirgslagen, wobei der Maximalwert ebenfalls auf der Schalke im Harz erreicht wird.

Als allgemeines Muster lässt sich für alle Baumarten festhalten, dass für die Hochlagen von Kaufunger Wald und Harz, wo aktuell die Temperatursumme der begrenzende Wachstumsfaktor ist, sehr deutliche Bonitätsverbesserungen projiziert werden. Klare Verbesserungen werden auch in den mittleren Mittelgebirgslagen bis 400 m, für die Harburger Berge und für

Anteile an der Gesamtwaldfläche für die Trägerländer der NW-FVA mit ausschließlich Bonitätsverbesserungen bzw. -verschlechterungen in allen 7 Klimäläufen bzw. mit indifferenter Entwicklung für die Hauptbaumarten

Schleswig-Holstein			
Baumart	Bonitätsverbesserungen [%]	Bonitätsverschlechterungen [%]	Indifferent [%]
Eiche	100,0	0,0	0,0
Buche	26,4	0,6	73,0
Fichte	78,3	0,0	21,7
Kiefer	99,9	0,0	0,1
Niedersachsen			
Baumart	Bonitätsverbesserungen [%]	Bonitätsverschlechterungen [%]	Indifferent [%]
Eiche	98,5	0,0	1,5
Buche	13,1	44,6	42,3
Fichte	21,4	26,1	52,5
Kiefer	69,4	0,0	30,6
Hessen			
Baumart	Bonitätsverbesserungen [%]	Bonitätsverschlechterungen [%]	Indifferent [%]
Eiche	84,0	0,0	16,0
Buche	23,8	36,0	40,2
Fichte	37,3	29,0	33,7
Kiefer	63,7	16,1	20,2
Sachsen-Anhalt			
Baumart	Bonitätsverbesserungen [%]	Bonitätsverschlechterungen [%]	Indifferent [%]
Eiche	91,2	0,0	8,8
Buche	13,1	77,6	9,3
Fichte	16,7	66,0	17,3
Kiefer	16,1	5,3	78,6



Foto: M. Spielmann

den Bereich bei Bad Segeberg geschätzt. In den übrigen Bereichen des Tieflandes und den tieferen Mittelgebirgslagen sind die Verbesserungen bei Eiche geringer. Die übrigen Baumarten weisen hier bereits Standorte bzw. Klimäläufe mit Bonitätsverschlechterungen auf. Dabei nimmt der Anteil mit Bonitätsverschlechterungen von Kiefer über Fichte zu Buche deutlich zu. Als Ursache für Bonitätsverschlechterungen sind sehr hohe zukünftige Temperatursummen oberhalb der Optimalbereiche und vor allem sehr geringe zukünftige Niederschlagssummen zu nennen, die das Wachstum begrenzen.

Projektionen für die gesamte Waldfläche erlauben eine summarische Analyse der Hauptbaumarten bzgl. der zukünftig zu erwartenden Veränderungen der Wuchsleistung. Für einen Vergleich werden die Ergebnisse für alle Trägerländer der NW-FVA aufgeführt (Tabelle links).

Für eine umfassende Bewertung des Anpassungspotenzials der Baumarten im Rahmen einer multifunktionalen Waldwirtschaft müssen die Projektionen der Wuchsleistung mit der Einschätzung wichtiger abiotischer und biotischer Risiken wie Trockenstress-, Sturm- und Borkenkäferschäden im Klimawandel kombiniert werden. So kann eine deutliche Zunahme der Risiken dazu führen, dass unveränderte oder sogar verbesserte Wuchsleistungen, die sich nach dem hier vorgestellten Modell theoretisch ergeben müssten, nicht realisiert werden.

Literatur

- Hübener H, Bülow K, Fooker C, Früh B, Hoffmann P, Höpp S, Keuler K, Menz C, Mohr V, Radtke K, Ramthun H, Spekat A, Steger C, Tousseint F, Warrach-Sagi K, Woldt M (2017): Ergebnisbericht REKLIES-DE – Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland. 76 S., <http://reklies.hlnug.de/fileadmin/tmpl/reklies/dokumente/ReKLIES-De-Ergebnisbericht.pdf>
- Riedel T, Hennig P, Kroiher F, Polley H, Schmitz F, Schwitzgebel F (2017): Die dritte Bundeswaldinventur (BWI 2012): Inventur- und Auswertemethoden, 124 S
- Schaap M, Kruit RW, Hendriks C, Kranenburg R, Segers A, Bultjes P (2015): Atmospheric deposition to German natural and semi-natural ecosystems during 2009. Umweltforschungsplan Projekt No. (FKZ) 371263240-1 UBA-FB00. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Berlin
- Schmidt M (2020): Standortsensitive und kalibrierbare Bonitätsfächer: Wachstumspotenziale wichtiger Baumarten unter Klimawandel (Site-sensitive, calibratable site index curves: The growth potential of important tree species under climate change).AFJZ 190(5/6):136-160. DOI: 10.23765/afjz0002043
- Wellbrock N, Ahrends B, Bögelein R, Bolte A, Eickenscheidt N, Grüneberg E, König N, Schmitz A, Fleck S, Ziche D (2019): Concept and Methodology of the National Forest Soil Inventory. In: Wellbrock N., Bolte A. (eds) Status and Dynamics of Forests in Germany. Ecological Studies (Analysis and Synthesis), vol 237. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15734-0_1