

Wachstum von Eiche, Buche, Fichte und Kiefer im Klimawandel

Matthias Schmidt, Jan Schick und Thorsten Zeppenfeld

<https://doi.org/10.5281/zenodo.5588911>

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 (H_g) über dem Alter in Abhängigkeit von wichtigen Standortsfaktoren einschätzen lässt (Schmidt 2020). Diese Faktoren sind die Temperatur- (T_{Sum}) und Niederschlagssumme (N_{Sum}) in der Vegetationszeit, die jährliche Stickstoffdeposition (N_{Dep}) sowie die Wasserhaushalts- (WHZ) und Nährstoffziffer (NZ) entsprechend der forstlichen Standortskartierung. Die edaphischen Standortsfaktoren WHZ und NZ gehen statisch und die Klima- und Depositionsparameter dynamisch in die Leistungsschätzung ein. Dynamisch bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Standortsfaktoren T_{Sum} , N_{Sum} und N_{Dep} 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 T_{Sum} , N_{Sum} und N_{Dep} 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 Klimaläufe des ReKliEs-De-Kernensembles auf Basis des RCP 8.5 Klimaszenarios verwendet werden (Hübener et al. 2017). Die Grundlage für die Regionalisierung der N_{Dep} 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 Standortsfaktoren 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).

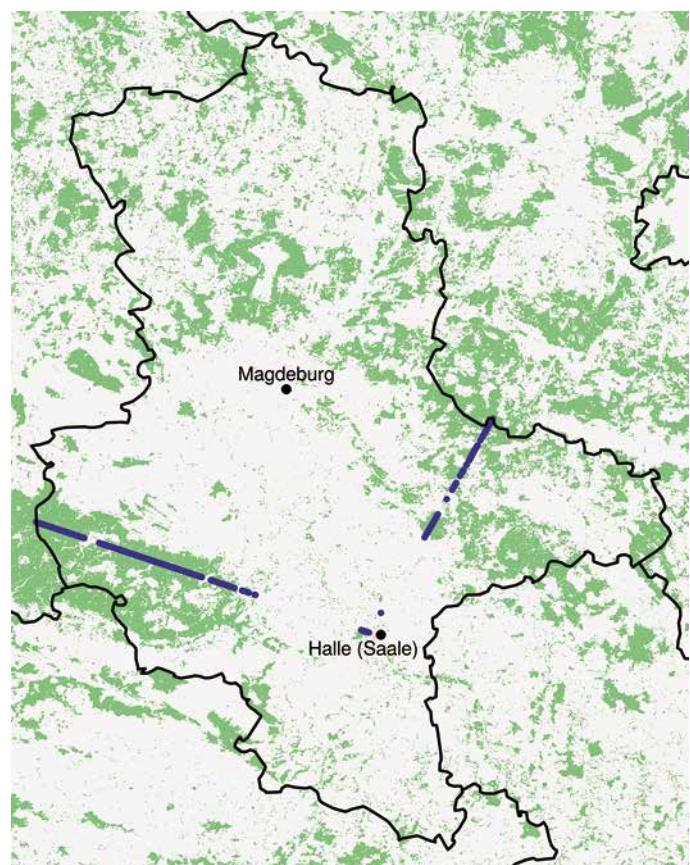


Foto: J. Evers

Ergebnisse

Im Folgenden werden Projektionen der absoluten Mittelhöhenbonität und der Leistungsklasse (LKL = dGZmax) für die Jahre 2000 und 2100 entlang eines Transektes vom Hohen Fläming über Dessau, Halle (Saale), das obere Selketal (Harz) bis zum Brocken für die Baumarten Eiche, Buche, Fichte und Kiefer dargestellt. Um die klimaabhängigen Trends entlang des Transektes klarer erkennen zu können, wurde die tlw. starke, durch kleinräumige Standortsunterschiede 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.

Insbesondere für die Eiche, aber auch für Kiefer und Buche sind die Schätzungen für das Jahr 2000 in den Hochlagen des Oberharzes unsicher, da sie im Randbereich der Daten liegen,



Transekt vom Hohen Fläming über Dessau, Halle (Saale) und das obere Selketal (Harz) bis zum Brocken. 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

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 Klimaläufen 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 Wuchsleistung zu analysieren.

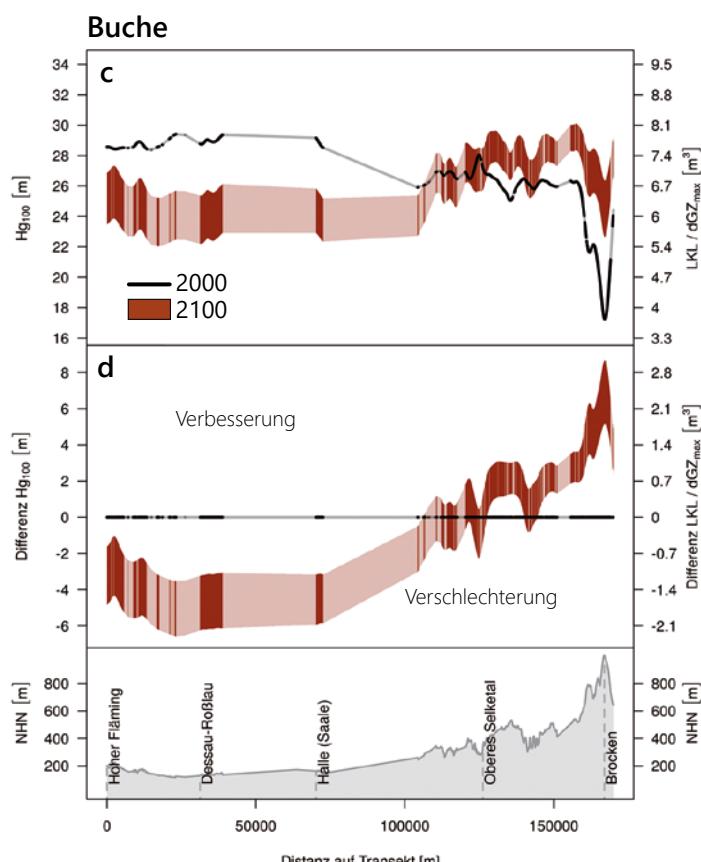
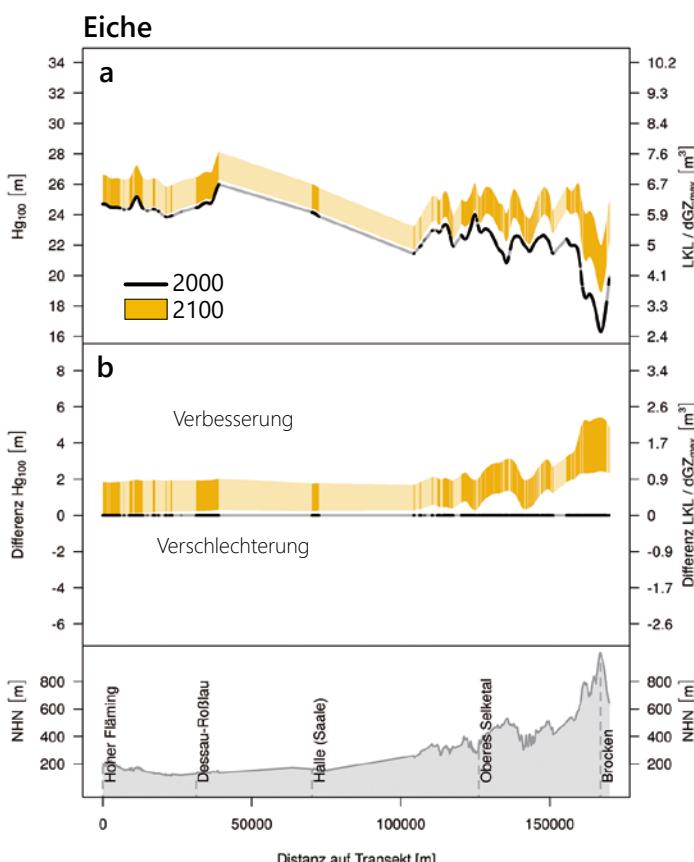
Für das Jahr 2000 zeigen die Modellschätzungen für **Eiche** im Bereich zwischen Fläming und Harzrand etwas höhere Bonitäten als im Harz. Ab einer Seehöhe von 450 m sinken die Bonitäten dann zum Brocken hin stark ab (Abb. unten, **Eiche a**). Der Vergleich mit den Projektionen für das Jahr 2100 zeigt für die Eiche ausnahmslos Bonitätsverbesserungen, wobei die Klimaläufe zwischen Fläming und Harzrand eine Zunahme von 0,1 - 2 m aufweisen (Abb. unten, **Eiche b**). Ab dem Harzrand nehmen die Bonitätsverbesserungen bis zu einer Seehöhe von 450 m weiter leicht zu, um in Richtung Brocken deutlich auf Werte zwischen 2 - 5 m anzusteigen. Im Vergleich mit den anderen Baumarten zeigt die Eiche die geringste Variabilität zwischen den verschiedenen Klimaläufen.

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**). Bei der Projektion für das Jahr 2100 zeigen sich



Foto: J. Evers

jedoch große Unterschiede zwischen den beiden Laubbaumarten, da für den Bereich vom Fläming bis zum Harzrand für alle Klimaläufe Bonitätsverschlechterungen von 1 - 6,5 m auftreten (Abb. unten, **Buche d**). In den tieferen Lagen des Harzes werden sowohl geringe Verschlechterungen als auch geringe Verbesserungen projiziert. Ab 400 m treten dann ausnahmslos Bonitätsverbesserungen auf, die am Brocken einen Maximalwert von 9 m erreichen. Aufgrund der deutlich empfindlicheren Reaktion der Buche gegenüber sich ändernden Klimafaktoren weisen Buche und Eiche im Tiefland im Jahr 2100 sehr ähnliche absolute Bonitäten auf, im Harz bleibt der absolute Bonitätsvorsprung der Buche bis 550 m in etwa gleich, während die Buche im Oberharz gegenüber der Eiche mit zunehmender Höhenlage deutlich stärker vom projizierten Klimawandel profitiert.



Projektionen der absoluten Mittelhöhenbonität (H_{g100}) 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 Klimaläufe des ReKliEs-De-Kernensembles auf Basis des RCP 8.5 Klimaszenarios (farbige Bänder) entlang des in der Abb. Seite 34 dargestellten Transektes vom Hohen Fläming bis zum Brocken. 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

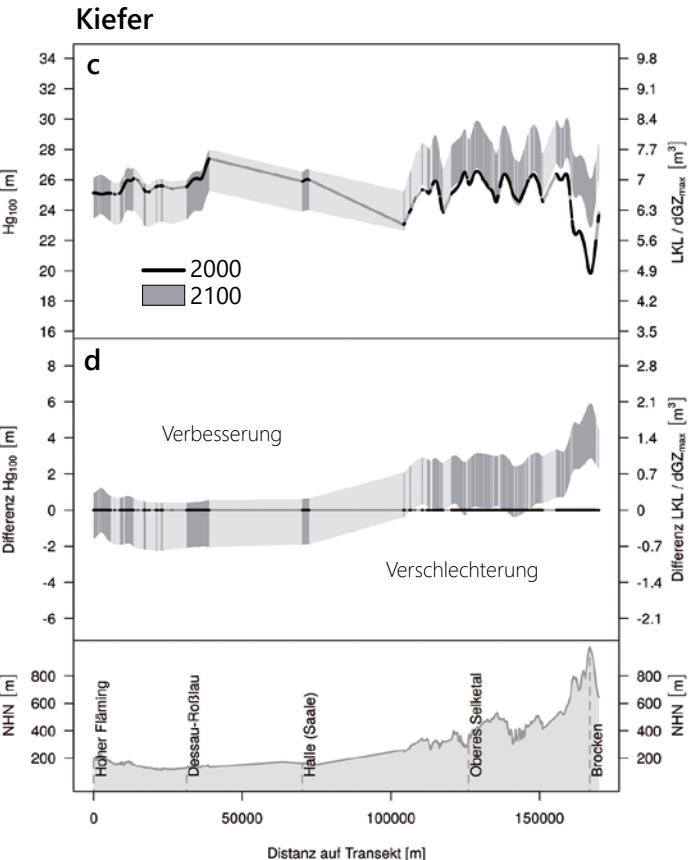
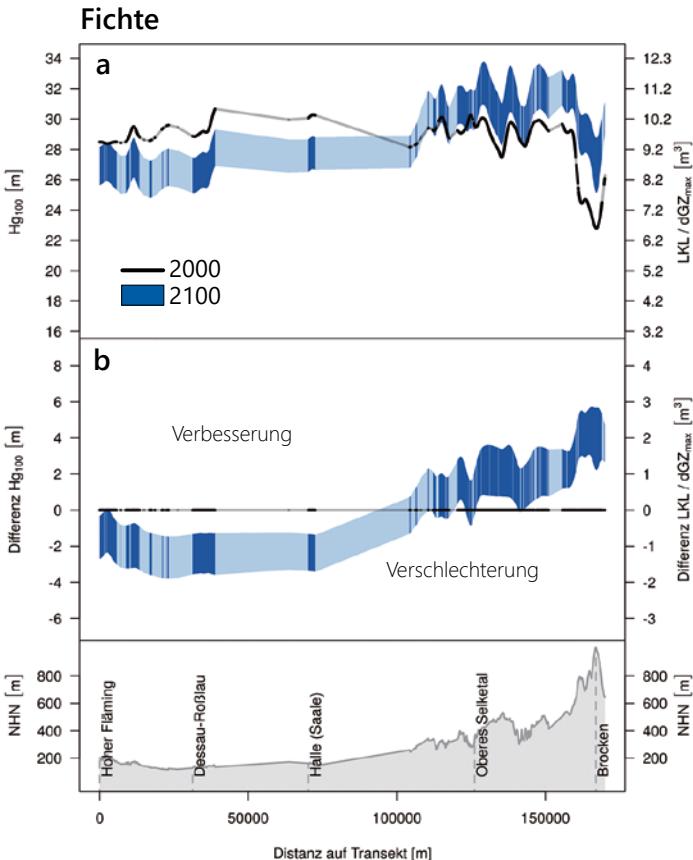


Foto: M. Spielmann

Für die **Fichte** werden für das Jahr 2000 vom Fläming bis zu Seehöhen von 450 m (Harz) relativ ähnliche Bonitäten geschätzt (Abb. unten, **Fichte** a). Ab dieser Höhenlage nimmt die Bonität der Fichte erst langsam und in Richtung des Brocken stark ab. Aufgrund ihrer geringen Ansprüche bzgl. der Temperatursumme sind die relativen Bonitätsveränderungen zwischen den mittleren Höhenlagen und den Hochlagen aller-

dings geringer als bei Buche und Eiche. Das Bonitätsniveau der Fichte liegt zwischen Fläming und Harz in etwa auf dem der Buche, im Harz deutlich darüber, wobei ihr Vorsprung mit steigender Seehöhe zunimmt. Bzgl. der Projektionen für das Jahr 2100 zeigt die Fichte ein ähnliches Muster wie die Buche. Vom Fläming bis zum Harzrand treten fast ausnahmslos Bonitätsverschlechterungen von bis zu 4 m auf, im Harz werden bis 550 m Bonitätsverbesserungen zwischen 0,5 - 3,5 m projiziert, die mit weiter steigender Seehöhe auf 2,5 - 6 m ansteigen (Abb. unten, **Fichte** b). Allerdings sind weder die Bonitätsverschlechterungen zwischen Fläming und Harzrand noch die Verbesserungen ab 550 m so stark ausgeprägt wie bei der Buche. Daraus ergibt sich, dass die Bonitäten der Fichte in den Projektionen im Tiefland etwas über denen der Buche liegen. Im Harz bleibt der Abstand zwischen Fichte und Buche im Mittel etwa gleich, wobei große Unterschiede zwischen den einzelnen Standorten auftreten.

Wie für Fichte weisen die Bonitätsschätzungen für die **Kiefer** für das Jahr 2000 vom Fläming bis zu Seehöhen von 450 m (Harz) ein ähnliches Niveau auf und nehmen zum Brocken hin deutlich ab (Abb. unten, **Kiefer** c). Beim Vergleich mit den Projektionen für das Jahr 2100 weist die Kiefer zwischen Fläming und Harzrand ein Muster auf, das zwischen dem der Eiche und dem der Fichte liegt (Abb. unten, **Kiefer** d). So treten sowohl Klimaläufe mit Bonitätsverbesserungen als auch mit -verschlechterungen auf. Bereits ab dem Harzrand zeigen sich fast ausnahmslos Bonitätsverbesserungen, die wie bei Buche und Fichte ab 550 m deutlich ansteigen. Das Bonitätsniveau



Projektionen der absoluten Mittelhöhenbonität (H_{g100}) 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 Klimaläufe des RekliEs-De-Kernensembles auf Basis des RCP 8.5 Klimaszenarios (farbige Bänder) entlang des in der Abb. Seite 34 dargestellten Transektes vom Hohen Fläming bis zum Brocken. 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

der Kiefer liegt aktuell im Tiefland etwas über dem der Eiche. Für das Jahr 2100 werden für beide Baumarten sehr ähnliche Bonitäten projiziert. Im Harz liegen die aktuellen Bonitäten der Kiefer bis 550 m etwas unterhalb und in den Hochlagen etwas oberhalb der Werte für die Buche. Für das Jahr 2100 werden für Kiefer und Buche im Harz ähnliche Bonitäten projiziert, wobei auch hier Unterschiede zwischen den einzelnen Standorten auftreten.

Als allgemeines Muster lässt sich für alle Baumarten festhalten, dass für die Standorte des Oberharzes, auf denen aktuell die Temperatursumme der begrenzende Wachstumsfaktor ist, deutliche Bonitätsverbesserungen projiziert werden. In den tieferen Lagen des Harzes werden je nach Baumart nur geringere Verbesserungen und teilweise Verschlechterungen projiziert. Im Tiefland werden für die Eiche nur relativ geringe Bonitätsverbesserungen, für Kiefer überwiegend Verschlechterungen und für Fichte und Buche ausnahmslos Verschlechterungen projiziert. Als Ursache sind sehr hohe zukünftige Temperatursummen oberhalb der Optimalbereiche und vor allem sehr geringe zukünftige Niederschlagssummen zu nennen, die das Wachstum begrenzen. Als Folge dieser Trends werden die Bonitäten von Buche, Fichte und Kiefer im Jahr 2100 im Harz (mit Ausnahme der Hochlagen) im Mittel über den Werten im Tiefland liegen. Bei Eiche weisen die Tieflandstandorte im Jahr

Anteile an der Gesamtwaldfläche für die Trägerländer der NW-FVA mit ausschließlich Bonitätsverbesserungen bzw. -verschlechterungen in allen 7 Klimaläufen 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

2100 weiterhin etwas höhere Bonitäten als im Harz auf, wobei sich der Bonitätsunterschied aber verringern wird. 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 (Tab. 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 den hier vorgestellten Modellen theoretisch ergeben müssten, nicht realisiert werden.

Literatur

- Hübener H, Bülow K, Focken C, Früh B, Hoffmann P, Höpp S, Keuler K, Menz C, Mohr V, Radtke K, Ramthun H, Spekat A, Steger C, Tous-saint F, Warrach-Sagi K, Woldt M (2017): Ergebnisbericht REKLIES-DE – Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland. 76 S., <http://reklies.hlnug.de/fileadmin/tmp/reklies/dokumente/ReKliEs-De-Ergebnisbericht.pdf>
- Riedel T, Hennig P, Kroher 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, Buultjes 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/afjz2002043
- 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