

Baumarten im Klimawandel

Waldbauliche Anpassungsstrategien für veränderte Klimaverhältnisse

Hermann Spellmann, Matthias Albert, Matthias Schmidt, Johannes Suttmöller und Marc Overbeck

Der Klimawandel führt zu veränderten Risikostrukturen in der Forstwirtschaft. Die Forstbetriebe müssen sich auf eine Zunahme abiotischer und biotischer Gefahren und veränderte Standort-Leistungs-Beziehungen einstellen. Im Folgenden wird das Gesamtkonzept der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) und die einzelnen Teilbereiche zur Entwicklung von waldbaulichen Anpassungsstrategien für veränderte Klimaverhältnisse dargestellt.

Sämtliche Klimaprojektionen lassen für Deutschland einen deutlichen Temperaturanstieg bei gleichzeitig veränderten jährlichen Niederschlagsverteilungen erwarten [8, 10, 24]. Weiterhin treten deutliche regionale Unterschiede der projizierten Dynamik des Klimawandels auf. Neben der allgemeinen Ungewissheit über die Auswirkungen des Klimawandels auf abiotische und biotische Risiken und die Standortproduktivität werden die Förster durch eine Vielzahl von nicht direkt miteinander vergleichbaren Klima- und Waldentwicklungsprojektionen und daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen in ihren waldbaulichen Entscheidungen zusätzlich verunsichert. In diesem durch ein hohes Maß an Unsicherheit geprägten Umfeld können Instrumente zur waldbaulichen Entscheidungsunterstützung unter Klimawandel eine wertvolle Hilfestellung bieten.

Doch die zahlreichen für Deutschland bereits vorgestellten Ansätze zur Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Forstwirtschaft unterscheiden

sich nicht nur methodisch. Insbesondere bei der Auswahl der zur Verfügung stehenden globalen und regionalen Klimamodelle einschließlich der verschiedenen Klimaszenarien sind die Ansätze sehr verschieden, desgleichen bei der Anwendung

unterschiedlicher Regionalisierungstechniken [3, 4, 5, 7, 9, 11, 13, 17, 18, 22, 23].

Methodik zur waldbaulichen Entscheidungsunterstützung

Die Herangehensweise der NW-FVA zur Entwicklung von Anpassungsstrategien umfasst die drei Kernbereiche

- Standort-Leistungs-Bezug,
- abiotische Risiken und
- biotische Risiken.

In allen drei Bereichen werden die Auswirkungen veränderter Klimabedingungen mithilfe statistischer Modelle beschrieben.

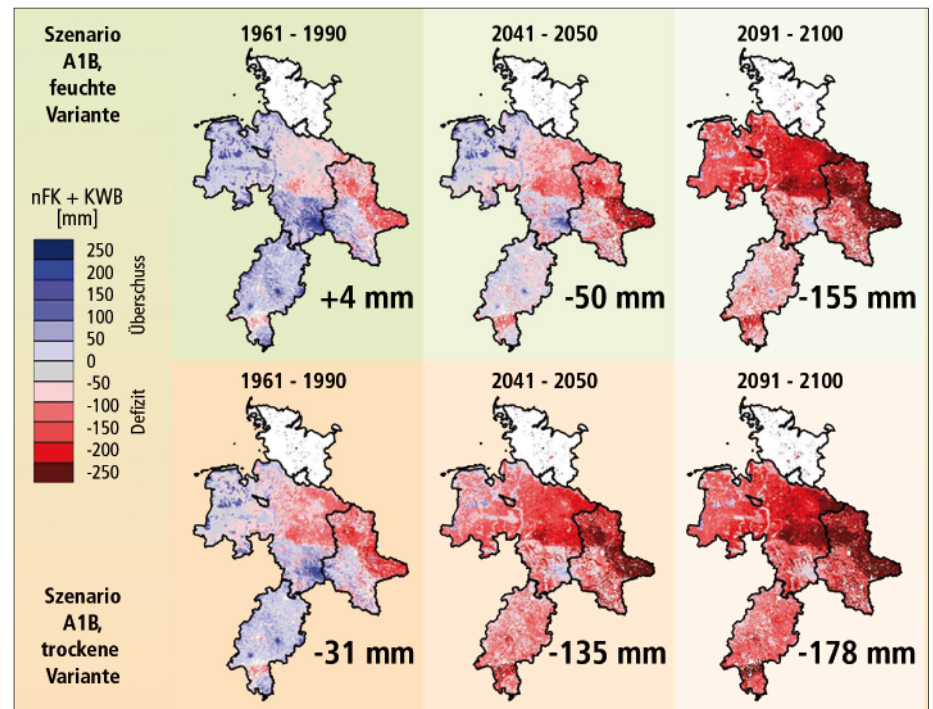


Abb. 1: Summe der klimatischen Wasserbilanz (KWB; dabei wird die potenzielle Evapotranspiration für den Grasstandard berechnet) und der nutzbaren Feldkapazität (nFK) zur Charakterisierung des Trockenstressrisikos im Zuständigkeitsbereich der NW-FVA für die Klima-Referenzperiode 1961 bis 1990 und zwei Klimaprojektionen (2041 bis 2050 und 2091 bis 2100) unter dem mit dem regionalen Klimamodell WETTREG projizierten Klimaszenario A1B in der feuchten (oben) und trockenen Variante (unten). Der Mittelwert des Gesamtgebietes ist für die jeweilige Periode angegeben¹⁾.

¹⁾ Datengrundlage zur flächendeckenden Herleitung der nFK ist die Bodenübersichtskarte 1 : 50 000 (BÜK50) für Niedersachsen und Hessen und die Vorläufige Bodenkarte 1 : 50 000 (VBK50) für Sachsen-Anhalt. Für Schleswig-Holstein konnte die nFK nur für Forststandorte auf der Grundlage der forstlichen Standortkarte abgeleitet werden.

Prof. Dr. H. Spellmann ist Direktor der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Göttingen, und Leiter der Abt.

Waldwachstum. Dr. M. Albert, Dr. M. Schmidt und M. Overbeck sind Mitarbeiter in der Abt. Waldwachstum. J. Suttmöller ist Mitarbeiter in der Abt. Umweltkontrolle.



Hermann Spellmann
Hermann.Spellmann@nw-fva.de

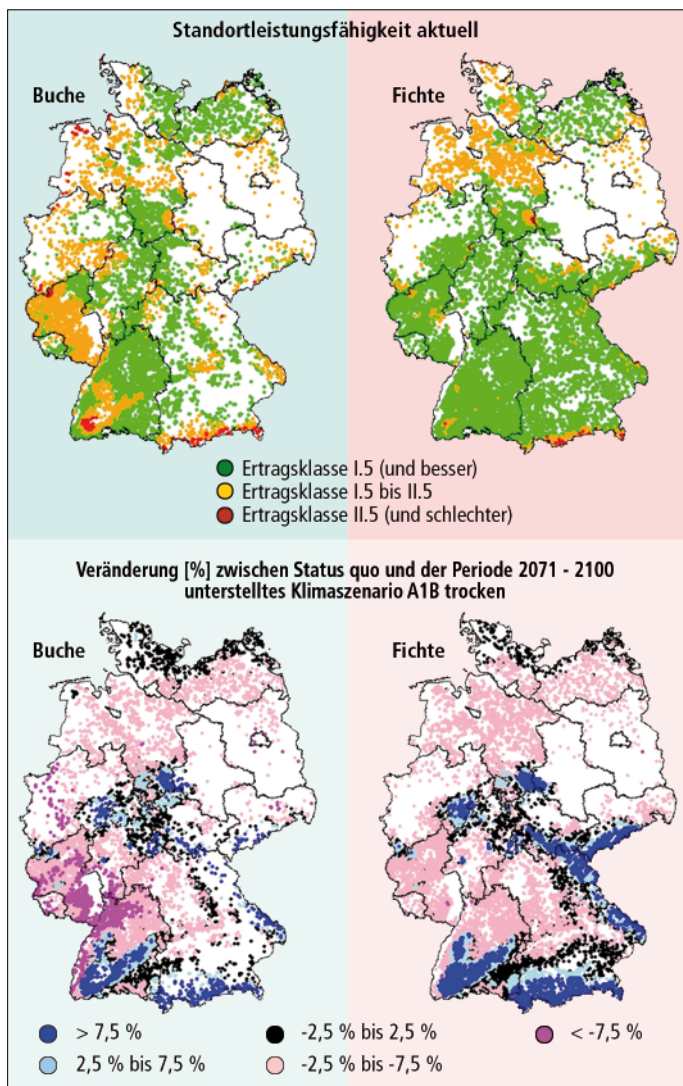


Abb. 2: Schätzung der Standortleistungsfähigkeit für alle Standorte mit aktuellem Buchen- (links) und Fichtenvorkommen (rechts) der Bundeswaldinventur und niedersächsischen Betriebsinventur unter heutigen klimatischen Bedingungen (oben). Relative Veränderung der aktuellen Standortleistungsfähigkeit, bezogen auf die klimatischen Bedingungen der Periode 2071 bis 2100 unter dem Szenario A1B trocken (unten)

Für eine Einschätzung der ökonomischen Leistungsfähigkeit der Forstbetriebe ist einerseits eine umfassende Analyse der veränderten Bestandesproduktivität durch Verschiebungen im Standort-Leistungs-Bezug notwendig. Hierzu wird die Standortproduktivität und die Bestandesentwicklung geschätzt [1, 2, 19]. Des Weiteren müssen die Risiken bezüglich abiotischer und biotischer Gefahren, die bis zum Totalverlust des Produktionsmittels Wald führen können, eingeschätzt werden. Hier kommen beispielsweise Modelle zur Prognose der Anzahl von Buchdruckergenerationen [12] und der Borkenkäferbefallswahrscheinlichkeit [16] zum Einsatz. Auch die Anfälligkeit gegenüber einzelnen Schadereignissen wie Winterstürmen kann quantifiziert werden [20].

Die Grundlagen für die Entwicklung von Anpassungsstrategien und von Handlungsempfehlungen werden in sechs Schritten erarbeitet:

- 1) Die von regionalen Klimamodellen für verschiedene Klimaszenarien bereitgestellten Standortvariablen werden durch Regionalisierungstechniken auf ein Raster von 200 x 200 m herunterskaliert. Dadurch wird der örtliche Bezug für die wichtigsten Klimaparameter Temperatur, Niederschlag und potenzielle Verdunstung (Evapotranspiration) hergestellt. Derzeit wird an der NW-FVA für Klimaprojektionen das mit dem regionalen Klimamodell WETTREG gerechnete Szenario A1B in der feuchten und trockenen Variante verwendet [21]. Das Szenario A1B projiziert eine durchschnittliche globale Temperaturerhöhung um ca. 3,5 °C bis 2100 im Vergleich zur vorindustriellen Zeit. Die beiden Varianten feucht

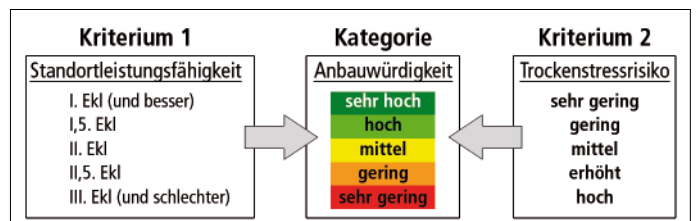


Abb. 3: Definition der Anbauwürdigkeitsklassen (Kategorie) in Abhängigkeit der beiden Kriterien Standortleistungsfähigkeit und Trockenstressrisiko. Die Standortleistungsfähigkeit bezieht sich hierbei auf den Bonitätswert des 20 %-Quantils, d.h. mindestens 80 % der Bestände müssen eine entsprechende Höhenwuchsleistung aufweisen.

Tab. 1: Definition des baumartenspezifischen Trockenstressrisikos*)

Trockenstressrisiko	nFK + KWB in VZ [mm]			
	Fichte	Buche	Eiche/Kiefer	Douglasie
hoch	< -350	< -400	< -500	< -550
erhöht	-233 bis -350	-267 bis -400	-333 bis -500	-367 bis -550
mittel	-116 bis -233	-134 bis -267	-166 bis -333	-184 bis -367
gering	0 bis -116	0 bis -134	0 bis -166	0 bis -184
sehr gering	> 0	> 0	> 0	> 0

*) berechnet anhand der Summe aus nutzbarer Feldkapazität (nFK) und klimatischer Wasserbilanz (KWB; dabei wird die potenzielle Evapotranspiration baumartenspezifisch berechnet) in der Vegetationszeit (VZ)

und trocken spannen dabei einen Unsicherheitskorridor möglicher Klimaentwicklungen auf.

- 2) Die Wasserspeicherkapazität des Bodens ist eine bedeutende Standortgröße, die Trockenperioden in der Vegetationszeit abpuffern kann. Zur Quantifizierung des pflanzenverfügbaren Wassers wird die Summe aus der klimatischen Wasserbilanz (das ist die Differenz aus Niederschlag und potenzieller Evapotranspiration) und nutzbarer Feldkapazität verwendet. In Abb. 1 ist die Summe der klimatischen Wasserbilanz (bezogen auf eine Gras-Referenzfläche) und der nutzbarer Feldkapazität für den Zuständigkeitsbereich der NW-FVA dargestellt [6].
- 3) Der Standort-Leistungs-Bezug wird für die Baumarten Buche, Eiche, Fichte, Kiefer und Douglasie u.a. mithilfe der regionalisierten Standortvariablen und in Abhängigkeit von der geografischen Lage geschätzt.
- 4) Standortabhängige Waldschuttrisiken wie biotische Gefahren, Trockenstress und Sturmgefährdung werden ebenfalls unter Verwendung u.a. der klimatischen Standortvariablen geschätzt.
- 5) Zur Entscheidungsunterstützung bei der Baumartenwahl werden lage- und standortspezifische mehrdimensionale Ökogramme hergeleitet, die neben dem ertragskundlichen Aspekt der Standortleistungsfähigkeit auch das Trockenstressrisiko beinhalten.
- 6) Abschließend werden die Verjüngungs-, Pflege- und Nutzungskonzepte auf ihre Eignung unter veränderten klimatischen Rahmenbedingungen überprüft und gegebenenfalls angepasst [22, 23].

Biométrische Modelle zur Waldentwicklung

Die Modellbildung beruht auf folgenden Grundannahmen:

- 1) Die Standortskonstanz ist auch für mittelfristige Zeiträume nicht mehr gewährleistet, weil sich bereits im Laufe einer Umtriebszeit die klimatischen Bedingungen und Stoffeinträge zu stark verändern. Statische Modelle wie die klassische Ertragstafel sind somit streng genommen nicht mehr zur Bestandesbonitierung und Waldbauplanung geeignet und müssen ersetzt werden.
- 2) Die Auswirkungen des Klimawandels auf das Waldwachstum und auf biotische und abiotische Risiken müssen getrennt betrachtet und analysiert werden: mögliche Zuwachsverluste aufgrund sich verschlechternder Standortbedingungen müssen von mortalitätsbedingten Ausfallraten unterschieden werden. Die einzelnen Risiken unterliegen dabei verschiedenen Einflussfaktoren in unterschiedlicher Weise. Wachstumsänderungen und Risiken weisen eine unterschiedliche Dynamik auf.
- 3) Prognosen über die zukünftige Waldentwicklung erfolgen im Analogieschluss. Dabei sollen die Zustände an einem Standort unter zukünftigen Bedingungen über die Zustände an Standorten beschrieben werden, die bereits heute diese oder ähnliche Bedingungen aufweisen. Die Zu-

sammenhänge zwischen dem Zustand und den Standortvariablen werden mithilfe von statistischen Modellen beschrieben. Für vertrauenswürdige Projektionen für Nordwestdeutschland muss daher bei der Modellentwicklung eine große Standortsamplitude herangezogen werden, die deutlich trockenere und wärmere Bedingungen berücksichtigt als sie aktuell in diesem Bereich auftreten. Die bei der Modellierung des Standort-Leistungsbezugs verwendeten deutschlandweiten Großrauminventurdaten decken einen relativ großen Wertebereich der Standortparameter ab. Für den Zuständigkeitsbereich der NW-FVA werden für mittelfristige Prognosen nur selten Werte geschätzt werden, die außerhalb des Wertebereichs der Inventurdaten liegen (Extrapolation).

Die biometrischen Modelle zur Projektion der Waldentwicklung werden mithilfe von Variablen aus regionalisierten Standortinformationen erstellt. Dies sind die Temperatursumme und die baumartenspezifische klimatische Wasserbilanz in der Vegetationszeit (die ca. 100 mm geringer ist als für die Gras-Referenz; vgl. Abb. 1), der Ariditätsindex [14], das pflanzenverfügbare Bodenwasser (nFK) sowie die Nährstoffausstattung des Bodens inklusive der Stickstoffdeposition. Als Hilfsgrößen dienen die geografische Lage sowie Informationen aus einem digitalen Geländemodell. Die Standort-Leistungsfähigkeit sowie abiotische und biotische Risiken werden geschätzt, indem von den genannten Variablen die jeweils entscheidenden Einflussgrößen ermittelt und ihre Effekte auf die unterschiedlichen Zielgrößen in speziellen Modellansätzen quantifiziert werden.

Der Ansatz der NW-FVA zur Modellierung des Standort-Leistungs-Bezugs soll zwei Fragen beantworten:

- 1) Wie verschiebt sich das Standort-Leistungspotenzial unter Klimawandel und welche Konsequenzen hat dies für die Bewirtschaftung heutiger und zukünftiger Bestände?
- 2) Welche Empfehlungen kann die Ertragskunde für die Baumartenwahl vor dem Hintergrund sich verändernder Leistungspotenziale und Konkurrenzverhältnisse geben?

Zur Schätzung der Höhenbonität einer Baumart (als Ausdruck der Standortleistungsfähigkeit) für eine bestimmte Kombination von Standortseigenschaften unter Berücksichtigung potenzieller nichtlinearer Modelleffekte wurde ein verallgemeinertes additives Regressionsmodell an der NW-FVA entwickelt [1, 2]. Mithilfe dieses Modells können für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland Bonitätsveränderungen unter verschiedenen Klimaszenarien projiziert werden (Abb. 2).

Das Standort-Leistungs-Modell lässt waldwachstumskundlich fundierte Aussagen über die künftig zu erwartenden mittleren Standortleistungsfähigkeiten zu. Für

Anbauempfehlungen reicht eine mittelwertbasierte Bonitätsschätzung nicht aus. Die Einschätzung der Anbauwürdigkeit einer Baumart wird sich üblicherweise nur teilweise an der mittleren Bonität orientieren, die für einen Standort projiziert wird. Vielmehr sollte vor allem die Variabilität der Bonitäten eines Standortes berücksichtigt und Empfehlungen daran festgemacht werden, ob beispielsweise 70, 80 oder 90 % der Bestände einer Standorteinheit eine bestimmte Mindestbonität erreichen. Für eine Entscheidungsunterstützung muss somit ein Quantil geschätzt werden. Ein Quantil ist ein Grenzwert, der eine Verteilung wie z.B. die Höhenbonität in zwei Anteile aufteilt. Welcher konkrete Grenzwert letztlich verwendet wird, leitet sich aus den Anforderungen der forstlichen Praxis bezüglich der Leistungsfähigkeit von Waldbeständen ab. Als hinreichend sichere Grundlage für eine Anbauentscheidung wird für die hier folgenden Ausführungen definiert: mindestens 80 % aller Bestände einer Standorteinheit müssen eine bestimmte Leistungsfähigkeit aufweisen. Somit ist das 20%-Quantil der Höhenbonität zu schätzen²⁾. Dies geschieht mit einem speziellen Ansatz zur Quantilsmodellierung, der wie das mittelwertbasierte Standort-Leistungs-Modell auf einige der oben genannten erklärenden Variablen zurückgreift. Das Quantilsmodell gilt wie das Standort-Leistungs-Modell für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland.

Mehrdimensionale Ökogramme zur Entscheidungsunterstützung bei der Baumartenwahl

Ziel ist es, ein praxistaugliches Instrument für die Entscheidungsfindung bei der Baumartenwahl unter Klimawandel bereitzustellen. Zu diesem Zweck werden die Bonitätsschätzungen mithilfe der Quantilsmodelle in fünf Anbauwürdigkeitsklassen übersetzt: Lagespezifische (d.h. für einen geografischen Standort gültige) mehrdimensionale Ökogramme mit den Achsen Temperatursumme und der Summe aus klimatischer Wasserbilanz (KWB) in der Vegetationszeit und nutzbarer Feldkapazität (nFK) stellen diese Ergebnisse dar

²⁾ Im Standort-Leistungs-Modell wird die Mittelhöhenbonität eines Bestandes im Alter 100 (absolute Bonität) als Ausdruck der Standortleistungsfähigkeit verwendet. Die Anbauwürdigkeitsklassen sind hingegen über Ertragsklassen (relative Bonität) definiert (vgl. nächster Abschnitt und Abb. 3). Dabei ist zu beachten, dass eine Douglasie III. Ertragsklasse mit 10,3 Vfm/ha/a einen absolut höheren durchschnittlichen Gesamtzuwachs in der Umtriebszeit hat als beispielsweise eine Buche I. Ertragsklasse mit einem dGZu von 8,6 Vfm/ha/a.

³⁾ Aufgrund von Modellverbesserungen kann es hierbei zu Unterschieden im Vergleich zu früheren Veröffentlichungen kommen.

und zeigen die zeitliche Entwicklung unter bestimmten Klimaszenarien. Aufgrund der Anzahl der erklärenden Variablen im zugrunde liegenden Quantilsmodell kann das Ökogramm als mehrdimensional bezeichnet werden. Die Anbauwürdigkeitsklassen werden in Abhängigkeit von den beiden Kriterien Standortleistungsfähigkeit und Trockenstressrisiko definiert. Das Kriterium mit der schlechteren Ausprägung bestimmt dabei die zugewiesene Kategorie (Anbauwürdigkeitsklasse; Abb. 3). Der pflanzenphysiologische Trockenstress wird hierbei im Anhalt an [22] in vorläufige, auf Expertenwissen basierende baumartenspezifische Risikoklassen eingeteilt (Tab. 1). Als Standortmerkmal wird hierzu die Summe aus nFK und KWB in der Vegetationszeit herangezogen.

Der Aufbau des Ökogrammes erfolgt in vier Schritten:

- 1) Ermittlung der geografischen Lage des Forstortes, für den das Ökogramm gelten soll.
- 2) Aufspannen eines Temperatursummen- und nFK+KWB-Wertebereiches.
- 3) Schätzung des 20%-Quantils der Mittelhöhenbonität ($hg100_{20\%}$) für den aufgespannten Wertebereich und Klassifizierung in die fünf Anbauwürdigkeitsklassen (Abb. 3).
- 4) Projektion der Standortvariablen Temperatursumme und KWB unter einem unterstellten Klimaszenario und Darstellung des resultierenden ‚Entwicklungspfades‘ im Ökogramm.

Für jeden beliebigen Forstort in der Bundesrepublik Deutschland kann so ein mehrdimensionales Ökogramm für Buche, Eiche, Fichte, Kiefer und Douglasie erstellt werden. Am Beispiel zweier Forstorte wird der ertragskundliche Beitrag der Ökogramme im Entscheidungsprozess bei der Baumartenwahl unter Klimawandel erläutert³⁾.

Das erste Beispiel zeigt einen schwach nährstoffversorgten Standort (Niedersächsische Nährstoffziffer 2+ bzw. Trophiestufe Z) in Brandenburg (Abb. 4). Der Standort liegt auf 80 m über NN und weist aktuell eine mittlere Temperatur von 15,5 °C und eine Niederschlagsmenge von 262 mm in der Vegetationszeit auf. Die nutzbare Feldkapazität beträgt 175 mm, berechnet auf 1,4 m Bodentiefe. Zukünftig zunehmende Trockenheit ist für diesen Standort charakterisierend. In Abb. 4 sind die Ökogramme von Buche, Eiche und Kiefer, drei potenziell auf dem Standort anzubauende Hauptbaumarten, dargestellt. Für die Periode 1981 bis 2010 als Referenzzeitraum (Status quo) und die drei Klimaprojektionsperioden, 2011 bis 2040, 2041 bis 2070 und 2071 bis 2100, sind die resultierenden Punkte der projizierten Werte (nFK+KWB und Temperatursumme unter dem Klimaszenario A1B in der feuchten und trockenen Variante) dargestellt. Der Unsicherheitsbereich, der i.S. des erwähnten Korridors aufgrund der

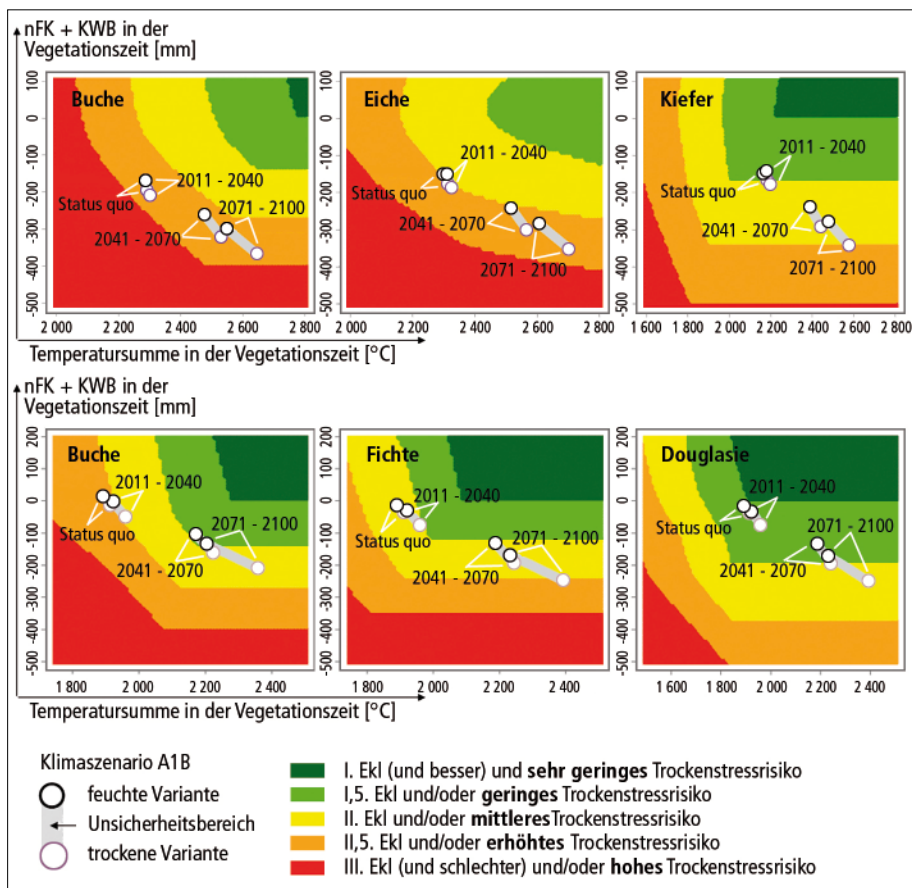


Abb. 4 und 5: Mehrdimensionale Ökogramme für die Baumarten Buche, Eiche und Kiefer auf einem schwach nährstoffversorgten Standort in Brandenburg (oben) und für die Baumarten Buche, Fichte und Douglasie auf einem gut nährstoffversorgten Standort im Harz (unten)

beiden Klimaszenariovarianten zwischen den korrespondierenden Punkten aufgespannt wird, ist hellgrau eingefärbt. Aus ertragskundlicher Sicht erweist sich die Baumart Buche auf diesem Standort bereits heute als gering anbauwürdig. In späteren Perioden erhöht sich zusätzlich das Trockenstressrisiko für die Buche. Je nach Szenariovariante wird die Grenze des erhöhten Trockenstressrisikos bereits in der Periode 2041 bis 2070 bzw. später unterschritten. Bei einem Eichenanbau müssten leichte Verluste gegenüber der heutigen Wuchsleistung und ein mittleres Trockenstressrisiko in Kauf genommen werden. Die projizierte Wuchsleistung der Kiefer (aktuell I,5 Ertragsklasse) verändert sich in

der Zukunft kaum. Es wird jedoch in der zweiten Periode die Grenze zum mittleren Trockenstressrisiko unterschritten. Aus ertragskundlicher Sicht ist von den drei untersuchten Baumarten somit ein Eichen- und Kiefieranbau für diesen Forstort zu bevorzugen. Die Buche könnte je nach Risikopräferenz trotz der projizierten Trockenstressgefahr angebaut werden.

Der Standort des zweiten Beispiels liegt auf 535 m über NN im Harz (Abb. 5). Die Nährstoffverfügbarkeit ist gut (Niedersächsische Nährstoffziffer 4 bzw. Trophiestufe K), in der Vegetationszeit herrscht derzeit eine mittlere Temperatur von 14,4 °C bei einer Niederschlagssumme von 357 mm. Die nutzbare Feldkapazität

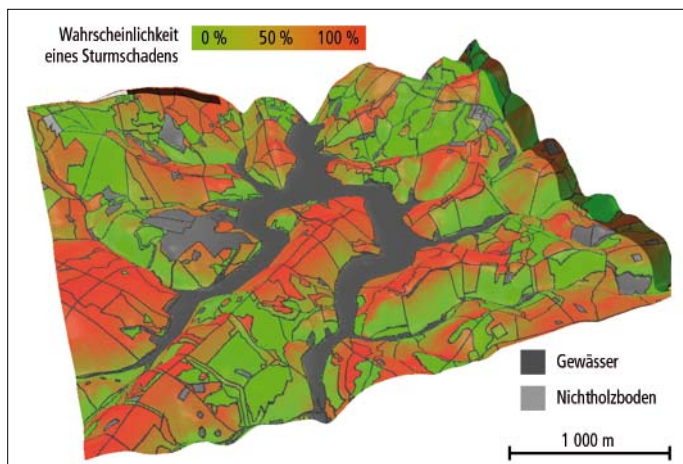


Abb. 6: Analyse des Sturmschadenrisikos für das Gebiet um die Okertalsperre im Harz

Die Wahrscheinlichkeit eines Sturmschadens wurde für die realen Bestände (Datengrundlage Forsteinrichtung, Stichjahr 2003) unter dem Sturmrisikozustand Typ „Nordschwarzwald“ (Luv des Schwarzwaldes während des Orkans „Lothar“ im Winter 1999) mit Hauptwindrichtung aus Nord geschätzt (vgl. [20]).

beträgt 139 mm auf 1,4 m Bodentiefe. Der positive Effekt der erwarteten Temperaturerhöhung, die mit einer Verlängerung der Vegetationszeit einhergeht, ist für diesen Standort charakterisierend. In Abb. 5 sind die Ökogramme von Buche, Fichte und Douglasie dargestellt. Das Ökogramm der Buche zeigt deutlich eine Leistungssteigerung unter dem Klimaszenario A1B vom Status quo bis zur Periode 2041 bis 2070. Je nach Variante des Klimaszenarios unterschreitet die Buche in der zweiten bzw. dritten Periode die Grenze zum mittleren Trockenstressrisiko. Auch für die Fichte wird eine Zunahme der Wuchsleistung projiziert. Ab der zweiten Periode liegt ihre Trockenstressgefahr in der mittleren Stufe. Die Douglasie verbleibt auch unter zukünftigen Bedingungen im Bereich der hohen Anbauwürdigkeit. Erst in der dritten Periode wird für die trockene Variante des Klimaszenarios ein mittleres Trockenstressrisiko projiziert. Für diesen Forstort im Harz sind alle drei Baumarten zum Anbau zu empfehlen. Beim Fichten- und Buchenanbau sollte das Trockenstressrisiko in späteren Perioden beachtet werden.

Die vorgestellten mehrdimensionalen Ökogramme unterstützen die Entscheidung bei der Baumartenwahl durch die Einschätzung der Wuchsleistung und des Trockenstressrisikos. Vier Merkmale zeichnen dabei den Ökogrammansatz aus:

- 1) Die Quantilsmodelle berücksichtigen unterschiedlichste klimatische und standörtliche Ausgangsbedingungen in der Prognose. Die Empfehlungen werden so dynamisch den sich ändernden Klimabedingungen angepasst.
- 2) Die Baumartempfehlung erfolgt für einen Forstort mit seinen entsprechenden Standortseigenschaften und unter Berücksichtigung seiner geografischen Lage.
- 3) Durch die Schätzung der baumartenspezifischen Standort-Leistungsfähigkeit wird der ertragskundliche Aspekt bei der Baumartenwahl berücksichtigt.
- 4) Zahlreiche Unsicherheitsfaktoren beeinflussen die Entscheidungsfindung. Die Wahl des unterstellten Klimaszenarios oder auch eine ungenaue Ansprache der Standortbedingungen können sich auf die Prognoseergebnisse erheblich auswirken.

Forstplanerische Entscheidungen mussten jedoch schon immer unter Berücksichtigung von Unsicherheit und unvollkommener Informationen getroffen werden. Das Ökogramm macht aber den Grad der Auswirkung der Unsicherheit direkt „sichtbar“, indem die Breite des Korridors, wie in den obigen Beispielen dargestellt, zwischen der feuchten und trockenen Variante des Klimaszenarios A1B auf die Schwankungen in der Projektion schließen lässt. Dieser Unsicherheitsbereich könnte auch zwischen unterschiedlichen Klimaszenarien i.S. einer ‚best case‘ und ‚worst-case‘

Analyse (z.B. zwischen dem moderaten B1 und dem stark temperatursteigernden A1FI) aufgespannt werden.

Risikomodelle zur Entscheidungsunterstützung

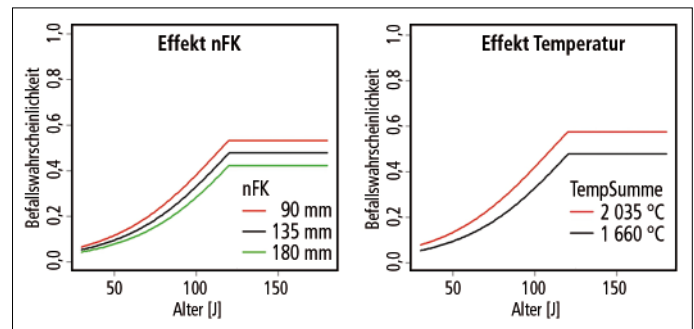
Die mehrdimensionalen Ökogramme allein bieten noch keine ausreichende Entscheidungsgrundlage bei der Baumartenwahl. Diese muss immer unter Beachtung abiotischer und biotischer Risikofaktoren sowie ökologischer und naturschutzfachlicher Belange stattfinden [11].

Daher werden an der NW-FVA derzeit neue Ansätze zur Quantifizierung der Auswirkungen sich verändernder klimatischer Bedingungen auf abiotische und biotische Risiken entwickelt. Das Sturmschadenrisiko-Modell ist ein Beispiel eines an der NW-FVA eingesetzten abiotischen Risikomodells [20]. Die Wahrscheinlichkeit eines Sturmschadens wird hierbei in Abhängigkeit von der Baumart, den Baumdimensionen Bhd und Höhe, der Exponiertheit (Kuppe, Hang, Tallage etc.) und Exposition (Himmelsrichtung) gegenüber der Hauptwindrichtung sowie der Vernässungsstufe für Einzelbäume geschätzt. Das Modell ist damit eine ideale Ergänzung des an der NW-FVA entwickelten Einzelbaumwachstumssimulators [15]. Szenarioanalysen lassen Rückschlüsse auf die aktuelle und zukünftige Gefährdung eines Bestandes bzw. Bestandesteile zu (Abb. 6).

Die Wirkung verschiedener Klimagrößen auf biotische Risiken lässt sich ebenfalls funktional beschreiben. Das Modell zur Schätzung der Buchdruckerbefallswahrscheinlichkeit ist hierfür ein Beispiel [16]. Dabei wird die Befallswahrscheinlichkeit für einen Fichtenbestand in einer 10-jährigen Periode in Abhängigkeit von der Temperatursumme in der Vegetationszeit, den Bestandesgrößen Alter und Mischungsanteil, der nutzbaren Feldkapazität und der Exponiertheit in südwest- bis südöstlicher Richtung geschätzt. Die Wirkung risikovermindernder bzw. -verstärkender Standortfaktoren ist in Abb. 7 am Beispiel der nutzbaren Feldkapazität und der unter Klimawandel zunehmenden Temperatursumme in der Vegetationszeit dargestellt.

Die vorgestellten Standort-Leistungs-Modelle und mehrdimensionalen Ökogramme wurden im Verbundprojekt „Anpassungsstrategien für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung unter sich wandelnden Klimabedingungen – Decision Support System Wald und Klimawandel“ erarbeitet, das vom BMBF im Rahmen des Programms „Klimazwei“ gefördert wurde. Das Modell zum Borkenkäferbefall ist ein Ergebnis aus dem Projekt „Waldbauliche Anpassungsstrategien an veränderte Klimabedingungen in den Regionen Harz und Lüneburger Heide“ des Forschungsverbundes Klimafolgenforschung in Niedersachsen (KLIF; gefördert vom Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur).

Abb. 7: Befallswahrscheinlichkeiten (geschätzt nach „Buchdruckermodell“) in Abhängigkeit der nFK-Werte (links) bzw. Temperatursummen (rechts) und des Bestandesalters



Alle übrigen unabhängigen Variablen gehen in diesem Beispiel konstant mit den Mittelwerten der Datenbasis in die Schätzung ein (Fichtenanteil = 84 %, mittlere Exponiertheit, Temperatursumme = 1 660°C [für Abbildung Effekt nFK], nFK=135 mm [für Abbildung Effekt Temperatur]).

Die Erkenntnisse zum Standort-Leistungs-Bezug und zu abiotischen und biotischen Risiken im Problemfeld Klimawandel und Forstwirtschaft müssen in Handlungsempfehlungen und Bewirtschaftungsgrundsätzen münden (z.B. eine stärker standörtlich angepasste Definition der Zielstärken). Neben einer Anpassung allgemeiner Bewirtschaftungsgrundsätze sollen thematische Karten zur Leistungsfähigkeit und für die verschiedenen abiotischen und biotischen Risiken erstellt werden. Die Aussagen der komplexen biometrischen Modelle werden damit als einfach zu handhabende Entscheidungsunterstützungssysteme für die Forsteinrichtung und den Bewirtschafter vor Ort bereitgestellt. Insbesondere die räumliche und zeitliche Hiebsabfolge könnte somit unter dem Gesichtspunkt der Risikominimierung optimiert werden.

Vorläufige Empfehlungen und Schlussfolgerungen

Das wuchsleistungsbezogene Standortspotenzial ist ein wichtiger Aspekt im Entscheidungsprozess bei der Baumartenwahl. Veränderte Klimabedingungen werden zu einer allmählichen Bonitätsverschiebung beitragen [1, 2]. Stress- und Risikofaktoren wie Winterstürme, Trockenheit, biotische Schadorganismen etc. werden die Waldökosysteme unter Klimawandel jedoch deutlich stärker beeinflussen. Die Einschätzung zukünftiger Risiken spielt somit eine bedeutende Rolle bei der Baumartenwahl und bei der Anpassung der Bewirtschaftung. Abgesicherte Anpassungsstrategien für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung unter Klimawandel sind derzeit noch nicht verfügbar.

Aufgrund der hohen Unsicherheiten insbesondere bei der Einschätzung zukünftiger klimatischer Entwicklungen aber z.B. auch im Hinblick auf die Anpassungsfähigkeit von Baumarten bzgl. sich rasch ändernder Umweltfaktoren müssen waldbauliche Empfehlungen zukünftig im Einzelnen ohnehin ständig neuen Erkenntnissen angepasst werden. Vorläufige Empfehlungen zur Bewirtschaftung können

jedoch schon heute gegeben werden, um zukünftige Risiken zu minimieren.

Kurzfristig umsetzbare Maßnahmen wie die Stabilisierung der vorhandenen Wälder durch die Erhöhung der Einzelbaumvitalität, die Verkürzung der Produktions- und damit der Gefährdungszeiträume durch eine gestaffelte Durchforstung und der Erhalt und die Förderung von Mischbaumarten haben oberste Priorität.

An zweiter Stelle steht die längerfristige Senkung und Vermeidung von Risiken im Allgemeinen. Maßnahmen hierzu sind der Vorrang standortgemäßer Naturverjüngung, ausreichende Zahl von Z-Bäumen, Begrenzung der Vorratshöhen bei gleichzeitiger Beachtung einer angemessenen Flächenleistung, differenzierte Zielstärkennutzung und ggf. kleinflächige bzw. saumweise Endnutzung, Vermeidung destabilisierender Maßnahmen (wie z.B. eine Verdichtung des Erschließungsnetzes) und ein konsequenter Waldschutz.

Der mittel- bis langfristige standortgemäße Waldumbau bildet schließlich die dritte Priorität. Er umfasst die Begründung von Mischbeständen und das Ersetzen schon heute nicht standortgemäßer Naturverjüngung. Eine Diversifizierung auch durch die Integration von anbauwürdigen nicht-standortsheimischen Baumarten wie Douglasie, Küstentanne, Japanische Lärche und Roteiche unter Einbeziehung von Pionierbaumarten kann die Leistungsfähigkeit der Forstbetriebe erhalten und die Risiken reduzieren. Generell ist ein Anbau von Baumarten außerhalb ihres standörtlich-klimatischen Grenzbereiches zu vermeiden.

Aus den bisherigen Erkenntnissen zum Konfliktfeld Wald und Klimawandel ergeben sich drei grundsätzliche Schlussfolgerungen:

- 1) Angesichts der Langfristigkeit der forstlichen Produktion verbietet sich jeder Aktionismus.
- 2) Vorläufige Entscheidungshilfen verhindern grobe Fehler in der Planung und Bewirtschaftung.
- 3) Mit den derzeitigen Holzvorräten sollte unter Wahrung der Nachhaltigkeit marktconform umgegangen werden.

Literaturhinweise

können bei den Autoren angefordert oder heruntergeladen werden bei: www.forstpraxis.de/downloads.