

Entscheidungshilfen zur klimaangepassten Baumartenwahl in Hessen

Ergebnisse aus dem Integrierten Klimaschutzplan Hessen 2025:
Projekt L-12 „Klimarisiko- und Zielbestockungskarten Forst“



Titel:

Entscheidungshilfen zur klimaangepassten Baumartenwahl in Hessen

Untertitel:

Ergebnisse aus dem Integrierten Klimaschutzplan Hessen 2025:
Projekt L-12 „Klimarisiko- und Zielbestockungskarten Forst“

Impressum:**Herausgeber:**

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Grätzelstraße 2
37079 Göttingen

Tel.: 0551 / 69401-0

Fax: 0551 / 69401-160

E-Mail: zentrale@nw-fva.de

Internet: www.nw-fva.de

Autoren:

Döbbeler, H.; Buresch, M.; Heitkamp, F.; Nagel, R.-V.; Spellmann, H.

Beteiligte:

Arbeitsgruppe Waldbau: Döbbeler, H.; Hamkens, H.; Nagel, R.-V.; Spellmann, H.

Arbeitsgruppe Boden und Klima: Ahrends, B.; Eichhorn, J.; Evers, J.; Heitkamp, F.; Listing, M.; Paar, U.; Meesenburg, H.; Sutmöller, J.

Arbeitsgruppe HessenForst: Nowak, S.; Ullrich, T.; Weidig, J.

Projektkoordination: Bialozyt, R.

Titelfoto:

Evers, J.

Oktober 2020

1. Anlass

Der **Klimawandel** stellt für die nachhaltige multifunktionale Forstwirtschaft mit ihrer weitreichenden Bindung an die Standortverhältnisse und ihren langen Produktionszeiträumen eine **besondere Herausforderung** dar. Es wird erwartet, dass Ausmaß, räumliche und zeitliche Verteilung sowie Geschwindigkeit des Klimawandels vielerorts die Anpassungsfähigkeit unserer Baumarten überschreiten. Forstbetriebe und Gesellschaft sind daher gut beraten, **Risikovor-sorge** zu betreiben. Die waldbaulichen Handlungsoptionen zur Anpassung der Wälder an den Klimawandel reichen vom standortsgemäßen Waldumbau, der Stabilisierung der vorhandenen Wälder bis hin zur Senkung bzw. Verteilung der Risiken. Trotz aller Unsicherheiten im Detail erlaubt das bislang erarbeitete Wissen die Bereitstellung von **Entscheidungshilfen zur Klimaanpassung**, die in der Forstpraxis in ein **adaptives Management** zu integrieren sind, das grobe Fehler vermeidet und dem Erkenntnisfortschritt folgt.

Nach den Schäden der letzten Jahre steht derzeit die **Wiederbewaldung** der Schadflächen im Mittelpunkt des Interesses. Die entstandenen Freiflächen und Störungslöcher müssen unter Beachtung ökonomischer, ökologischer und sozialer Aspekte mit Baumarten und Herkünften wiederbewaldet werden, die nach heutigem Stand des Wissens geeignet sind, sowohl dem herrschenden, als auch dem künftigen Klima gerecht zu werden (DVFFA 2019). Sie sind **Teil eines standortgemäßen Waldumbaus**, der sich angesichts des Altersaufbaus der hessischen Wälder noch über Jahrzehnte hinziehen wird. Standortgemäß ist eine Baumart, „ wenn ihre Bedürfnisse an Strahlung, Wärme, Wasser und Nährstoffe durch Boden und Klima des Anbauortes gut erfüllt sind. Dies äußert sich in Gesundheit, Vitalität und gutem Wachstum“ (v. Lüpke 1995). Kenntnisse des lokalen Klimas, der physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften sowie der Vegetation sind daher Voraussetzungen für eine zielgerichtete Baumartenwahl.

2. Forschungsansatz

Der Forschungsansatz der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) geht davon aus, dass **zunehmender Trockenstress** aufgrund verlängerter Vegetationsperioden und erhöhtem Verdunstungsanspruch bei den meisten mitteleuropäischen Baumarten zu einer verminderten Produktivität und einer erhöhten Anfälligkeit gegenüber weiteren abiotischen und biotischen Stressfaktoren führt. Die Einschätzung des Trockenstressrisikos für grund- und stauwasserfreie Waldstandorte erfolgt über Schwellenwerte der **Standortwasserbilanz (SWB)** nach Grier u. Running (1977). Sie verrechnet den Mittelwert der klimatischen Wasserbilanz in der Vegetationsperiode (Verhältnis zwischen Verdunstungsanspruch und zur Verfügung stehenden Niederschlägen, KWB) für eine 30-jährige Klimaperiode mit der nutzbaren Feldkapazität des Bodens (pflanzenverfügbares Bodenwasser, nFK) für eine Bezugstiefe von 1 m und nutzt damit Eingangsgrößen, die flächendeckend, hoch aufgelöst zur Verfügung stehen. Die SWB integriert somit über die KWB die klimatischen Unterschiede, die bisher über die Wuchszonen der forstlichen Standortserkundung berücksichtigt wurden. Die verwendeten

Schwellenwerte der Trockenstressgefährdung beruhen auf Literaturangaben, Inventurauswertungen und Expertenwissen und bewerten die Vitalität, Widerstandsfähigkeit und Leistungsfähigkeit der Baumarten, ohne jedoch bei hoher Gefährdung deren absolute Verbreitungsgrenzen aufzuzeigen (Tab. 1, Spellmann et al. 2007, 2011, Suttmöller et al. 2008, Overbeck et al. 2012, Albert et al. 2017, Böckmann et al. 2019). Sie gehen davon aus, dass den Bäumen zu Beginn der Vegetationsperiode ein gefüllter Bodenwasserspeicher zur Verfügung steht.

Tabelle 1: Trockenstress-Risikoklassifizierung wichtiger Baumarten im Anhalt an die Standortswasserbilanz – Saldo aus klimatischer Wasserbilanz in der Vegetationsperiode (Grasreferenz) plus der nutzbaren Feldkapazität (nFK) –

Trockenstressrisiko	Fichte	Buche	Eiche/Douglasie	Kiefer
gering	> 0 mm	> -50 mm	> -150 mm	> -200 mm
mittel	0 bis -80 mm	-50 bis -100 mm	-150 bis -350 mm	-200 bis -450 mm
hoch	< -80 mm	< -100 mm	< -350 mm	< -450 mm

<ul style="list-style-type: none"> - Roterle - Moorbirke 	<ul style="list-style-type: none"> - Weißtanne - Japanlärche - Bergulme - Schwarznuss 	<ul style="list-style-type: none"> - Roteiche - Ahornarten - Esche - Hainbuche - Linde - Europ. Lärche - Küstentanne 	<ul style="list-style-type: none"> - Sandbirke - Schwarzkiefer
--	---	---	--

Die weiteren Auswirkungen der sich ändernden Klimabedingungen auf Wälder werden baumartenspezifisch mit Hilfe von **statistischen Modellen** funktional beschrieben.¹ Dabei werden die Bereiche Wachstum und Risiken getrennt betrachtet, weil sie unterschiedlichen Einflussfaktoren und Dynamiken unterliegen und unterschiedliche Anpassungsmaßnahmen erfordern (vgl. Albert et al. 2018, Schmidt 2020, Schmidt et al. 2010, Overbeck u. Schmidt 2011, Hittenbeck et al. 2019, Fleck et al. 2015). Analogieschlüsse bilden die Grundlage für die Prognosen der zukünftigen Waldentwicklung. Sie gehen davon aus, dass sich die zukünftigen Zustände an einem Standort über die Zustände an anderen Standorten beschreiben lassen, die gegenwärtig diese oder ähnliche Bedingungen aufweisen.

3. Datengrundlagen

Die wichtigsten Datengrundlagen bilden die beobachteten Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes, Klimaszenarien, Bodeninformationen aus Bodenübersichtskarten, der forstlichen

¹ Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind die statistischen Modelle zur Berücksichtigung der Wuchsleistung und anderer Gefährdung als dem Trockenstress noch nicht Bestandteil der vorliegenden Entscheidungshilfen zur klimaangepassten Baumartenwahl. Ihre Integration in das Entscheidungsunterstützungssystem ist in einem nächsten Arbeitsschritt vorgesehen (s. Kap. 5, Entscheidungsbaum).

Standortskartierung, dem forstlichen Umweltmonitoring, Geländeinformationen aus dem digitalen Geländemodell DEM mit einer horizontal Gitterweite von 25 m, Bestockungsinformationen aus Bundeswaldinventuren (BWI), Forsteinrichtungen, Betriebsinventuren und von Versuchsflächen sowie ausgewählte Waldschutzstatistiken.

Mögliche Klimaentwicklungen werden derzeit durch die RCP-Klimaszenarien ² (IPCC 2014) beschrieben. Während das optimistische Szenario RCP 2.6 gegenüber dem Zeitraum 1986 - 2005 einen Anstieg der globalen Jahresmitteltemperatur um 0,3 °C bis 1,7 °C bis zum Ende des Jahrhunderts projiziert, ist nach dem pessimistischen Szenario RCP 8.5 mit einer Temperaturerhöhung von 2,6 °C bis 4,8 °C zu rechnen. Ungeachtet der Unterschiede im Detail lassen sämtliche Klimaprojektionen für Deutschland einen deutlichen **Temperaturanstieg** bei gleichzeitig veränderten jährlichen **Niederschlagsverteilungen** erwarten (vgl. Abb. 1). Sehr wahrscheinlich ist zudem ein gehäuftes Auftreten von **Witterungsextremen** wie Trockenperioden, Starkregenereignissen oder Stürmen (IPCC 2014, UBA 2015).

Die vorliegenden Entscheidungshilfen zur Klimaanpassung basieren auf dem Emissionsszenario **RCP 8.5**, gerechnet mit dem Globalmodell **ECHAM 6** (Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg, s. Jungclaus et al. 2010, Stevens et al. 2013) und dem statistischen Regionalmodell **STARS II** (Orlowsky et al. 2008) für den Zeitraum 2040 bis 2070. Diese wurden an der NW-FVA mit einem kombinierten Verfahren aus Inverse Distance Weighting und Höhenregressionen im Modellsystem WaSiM-ETH (Schulla u. Jasper 2007) auf ein 50 x 50 m -Raster herunterskaliert, um den örtlichen Bezug herzustellen.

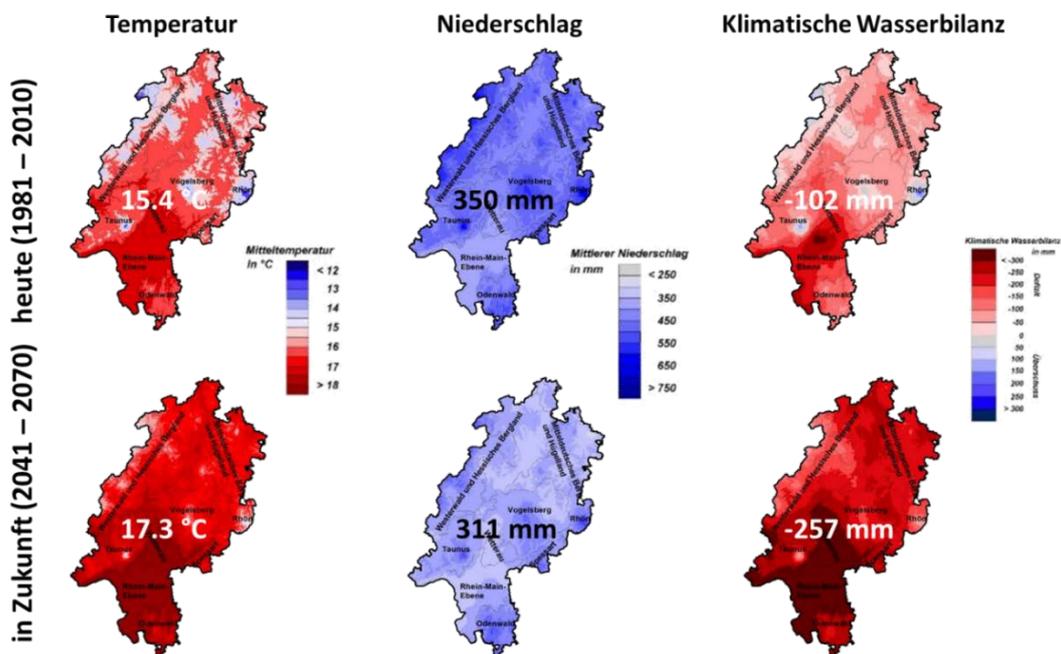


Abbildung 1: Klima-Kennwerte in der Vegetationszeit für Hessen in den Klimaperioden 1981-2010 und 2041-2070 - Klimadaten (1981-2010) DWD, Klimaprojektion (2041-2070) RCP8.5 ECHAM6 STARS II, Median

² RCP - Representative Concentration Pathways: Deren Ziffern geben an, welche zusätzliche Energie (in Watt/m²) maximal durch den fortschreitenden Treibhauseffekt in die bodennahe Atmosphäre eingebracht wird.

Neben den Daten zum zukünftigen Klima sind Informationen über die **physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften** eine wichtige Voraussetzung für eine standortsgemäße Baumartenwahl. Diese Merkmale werden im Rahmen der forstlichen Standortkartierungen erfasst. Diese lag bislang für ca. 80 % der Waldflächen in Hessen vor, mit größeren Lücken im Privat- und Kommunalwald. Darüber hinaus hatte die zweite Bodenzustandserfassung (BZE 2) aufgezeigt, dass die vorliegenden Standortkartierungen zu wenig differenzieren (2/3 Nährstoffansprüche mesotroph, > 50 % Geländewasserhaushalt frisch bis betont frisch). Zum Lückenschluss und zur **Verbesserung der Standortkartierungsergebnisse** wurden neue Modelle entwickelt, um die Trophie, den Geländewasserhaushalt (GWH) sowie die nutzbare Feldkapazität (nFK) für die kartierten und nicht kartierten Flächen herleiten zu können. Für die Ableitung der nFK wurden zusätzlich zu den an der NW-FVA vorliegenden ca. 650 Bodenprofile über 3.500 analog beschriebene Bodenprofile aus verschiedenen Quellen, einschließlich des Privatwaldes, aufbereitet, digitalisiert und in das forstökologische Datenbanksystem ECO der NW-FVA integriert. Hierdurch konnte auf der Grundlage von insgesamt 4179 Bodenprofilen ein **generalisiertes additives Modell (GAM)** für die flächenhafte Schätzung der nFK parametrisiert und Leitprofile für bestimmte Substratgruppen, Grundwasserhaushalts- und Trophie-Stufen generiert werden, die ebenfalls eine Bestimmung der nFK erlauben. Damit war es möglich, in einer vergleichenden Analyse die nFK-Herleitung für die Waldflächen in Hessen nach den vier Ansätzen modellgestützte Regionalisierung (GAM), neu generierte Leitprofile, Leitprofile der Bodenkarte 1:50.000 sowie bisherige Standortkarte mit Zuordnung der mittleren nFK-Richtwerte zu den Frischestufen nach der HAFEA zu überprüfen. Im Ergebnis zeigte der Vergleich, dass der modellgestützte Regionalisierungsansatz (GAM) nach derzeitigem Bearbeitungsstand am besten geeignet ist, um die nFK zu schätzen. Neben einer weitgehenden Abdeckung der Gesamtwaldfläche Hessens mit wichtigen Bodenparametern konnte somit auch eine qualitative Verbesserung des Informationsgehaltes der bereits standortkartierten Flächen erreicht werden. Dies gilt auch für die **Einschätzung der Trophie mit einem Fuzzy-Logic-Ansatz** (Heitkamp et al. 2020), der stärker differenziert, so dass bisher unterrepräsentierte Trophiestufen besser erfasst werden.

4. Potenzialabschätzung der Baumarten

Grundlage aller Klimaanpassungsmaßnahmen ist die Überprüfung, ob auf gegebenem Standort die derzeit dort wachsenden oder dort noch zu verjüngenden Baumarten nach heutigem Stand des Wissens geeignet sind, sowohl mit dem herrschenden, als auch mit dem künftigen Klima zurechtzukommen. Zur Potenzialabschätzung der heimischen und der anbauwürdigen eingeführten Baumarten wurde an der NW-FVA eine **Zuordnungstabelle** entwickelt. Darin wird die **Stellung der Baumarten in Mischbeständen** entsprechend ihrer Wasser- und Nährstoffansprüche nach bestimmten Stufen der Standortwasserbilanz (50 mm-Stufen) und der Trophie (6 Stufen) in eine zweidimensionale Matrix eingeordnet. Je nach Erfüllung ihrer ökologischen Ansprüche an den Standort kann die Baumart **führend (F)**, **beigemischt (M)**, **vorübergehend beigemischt (VM)**, **begleitend (B)** oder **vom Anbau ausgeschlossen (grau)** sein. Ihre Trockenstressgefährdung wird berücksichtigt (vgl. Tab. 1), indem die Hauptbaumarten nur bis zur Mitte ihrer mittleren Trockenstressgefährdung als führend eingeordnet werden. Ab der Mitte des Bereichs mittlerer Trockenstressgefährdung bis an die Grenze zu einer

hohen Gefährdung bleibt die Baumart potenziell Mischbaumart. Der **Sonderfall „vorübergehend beigemischt“** bezieht sich auf waldbauliche Ausgangssituationen in Buchen- und Fichtenbeständen mit flächiger Naturverjüngung, die auf Standorten stocken, deren Wasserversorgung in der Vegetationszeit sich in den kommenden Jahrzehnten in die erste Standortswasserbilanz-Stufe mit hoher Trockenstressgefährdung verschlechtert, so dass hier die vorhandene Verjüngung nur „vorübergehend“ im Sinne kürzerer Produktionszeiten bzw. geringerer Zielstärken in die Waldentwicklung einbezogen werden kann. Begleitbaumarten als weiterer Bestandteil der Mischbestände sind die auf einem breiten Standortsspektrum meist natürlich ankommenden Nebenbaumarten und natürlich ankommende Hauptbaumarten in ihrem standörtlichen Grenzbereich. Ihr Beitrag zur Risikovorsorge und zur Erhöhung der Artenvielfalt ist ökologisch nicht zu vernachlässigen.

Abweichend von den standortsökologischen Kriterien Standortswasserbilanz und Trophie enthält die Zuordnungstabelle noch folgende **Setzungen**:

- Die SWB-Stufe -50 bis -100 mm bildet den mittleren Trockenstressrisikobereich der Buche ab. Mit Blick auf die Bedeutung der Buche in Hessen und für den Naturschutz wurde hier für die ganze Stufe noch führende Buche vorgesehen, die i.d.R. aus Naturverjüngung hervorgeht.
- Im Bereich der SWB-Stufe ≥ 0 mm sind die dort ggf. ebenfalls standortsgemäßen Baumarten Kiefer und Schwarzkiefer nicht eingeordnet, weil dieser Standortsbereich flächenmäßig stark schrumpft und Baumarten mit höheren Ansprüchen an die Wasserversorgung vorbehalten bleiben sollte.
- Im Bereich der SWB-Stufen ≥ 0 mm bis -100 bis -150 ist keine führende Sandbirke vorgesehen, um diesen Standortsbereich für Baumarten mit höheren Ansprüchen an die Wasserversorgung und besseren Ertragsaussichten zu reservieren.
- Im Bereich SWB -100 bis -150 mm ist die Vogelkirsche nicht als führend eingestuft weil die Leistung und Vitalität mit abnehmender Wasserversorgung deutlich sinkt.
- Im frischeren Bereich (SWB > -100 mm) ist keine führende Winterlinde vorgesehen, um ertragreicheren Baumarten Planungsfläche zu reservieren.
- Auf carbonat-eutrophen Standorten sind mehrere Baumarten ausgeschlossen, um Rotfäule oder Ernährungsungleichgewichten vorzubeugen.
- Das breite Anbauspektrum der gut an den Klimawandel angepassten Esche berücksichtigt nicht das biotische Risiko des Eschen-Triebsterbens. In der Regel werden unter heutigen Bedingungen keine Eschen gepflanzt und auch im Fall von Naturverjüngung keine Bestände mit führender Esche angestrebt. Ein Ausschluss der Esche ist aber ebenso falsch.

Für **hydromorphe Standorte** ist eine Zuordnung der Baumarten mit Hilfe der Standortswasserbilanz nicht geeignet. Für diese Standorte erfolgt die Zuordnung der Baumarten nach dem Geländewasserhaushalt aus der Standortskartierung (nass, sickerfeucht, wechselfeucht, feucht und wechselfeucht) und der Trophiestufe.

Ergänzend ist darauf hinzuweisen, dass die Potenzialabschätzung der Baumarten keine Restriktionen berücksichtigt, die sich aus Schutzgebiets- und Zertifizierungsaufgaben ergeben. Es

wird auch grundsätzlich nicht zwischen natürlicher und künstlicher Bestandesbegründung unterschieden. Dies muss betrieblich entschieden werden.

5. Waldentwicklungsziele

In dem standortsgebundenen Rahmen lassen sich Baumarten, die in ihren ökologischen Ansprüchen und in ihrem Wuchsverhalten zueinander passen und oftmals auch natürlich miteinander vergesellschaftet sind zu Mischbestandstypen kombinieren. Für die **Bevorzugung von Mischbeständen** sprechen vor allem ihre oft höhere Stabilität und ihre fast immer höhere Resilienz beim Ausgleich von Störungen. Durch die strenge Beachtung der Standortsansprüche und des Konkurrenzverhaltens der Baumarten lassen sich Misserfolge vermeiden, Pflegekosten begrenzen und natürliche Entwicklungen gezielt nutzen. Unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte ist es in gleichaltrigen Mischungen meist empfehlenswert, die Baumarten gruppen- bis horstweise oder kleinflächig zu mischen.

Ausgehend von diesen Überlegungen wurden im letzten Jahrzehnt von HessenForst **Waldentwicklungsziele** für die waldbauliche Planung entworfen, die jetzt in einer gemeinsamen Arbeitsgruppe mit Vertretern/in der NW-FVA und des hessischen Waldbesitzerverbandes für die Belange des Kommunal- und Privatwaldes leicht modifiziert wurden. Sie beschreiben Leitbilder des angestrebten Waldaufbaus, ordnen ihre sukzessionale Stellung ein und benennen Entwicklungsziele hinsichtlich der Holzerzeugung, der Schutz- und Erholungsfunktion sowie der Baumartenanteile. Außerdem sind die standörtlichen Planungsbereiche der WEZ neu eingefügt, die aus der Stellung der beteiligten Baumarten in der Zuordnungstabelle abgegrenzt sind (s. Abb. 2). Der **Waldentwicklungszielkatalog** für den Privat- und Kommunalwald umfasst 30 Waldentwicklungsziele.

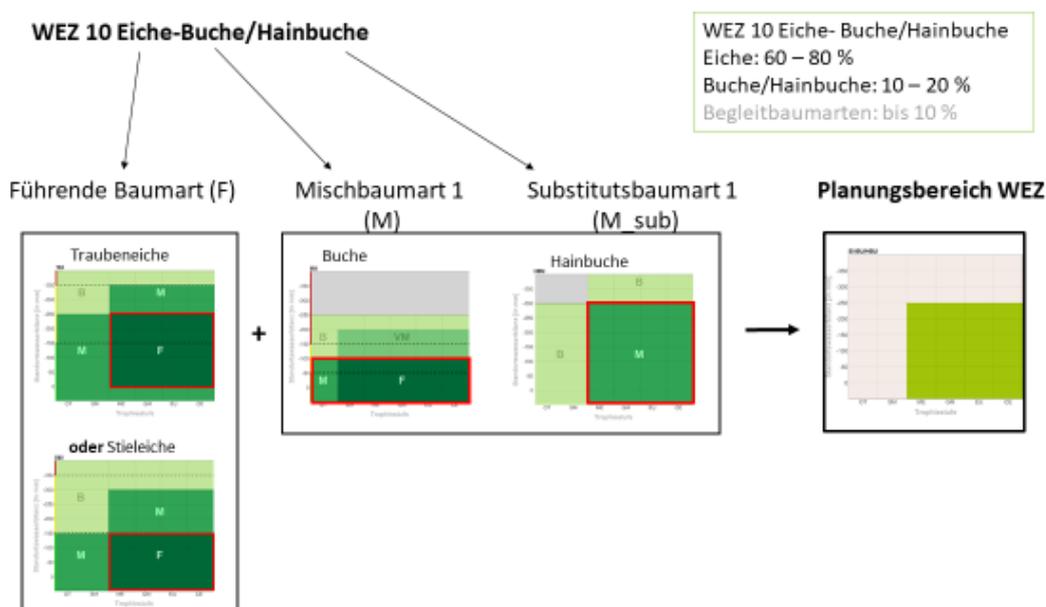


Abbildung 2: Aus der Zuordnungstabelle abgeleiteter Planungsbereich des WEZ 10 Eiche-Buche/Hainbuche

In der Regel ergeben sich auch unter künftigen Standortbedingungen mehrere Optionen für die Wahl geeigneter WEZ (s. Abb. 3). Ein nicht unerheblicher Teil der Waldstandorte in Hessen wird sich allerdings bezüglich der Standortwasserbilanz schon bis zur Mitte des Jahrhunderts in Bereiche verschlechtern, die die Auswahl möglicher WEZ gegenüber heute stark einschränken.

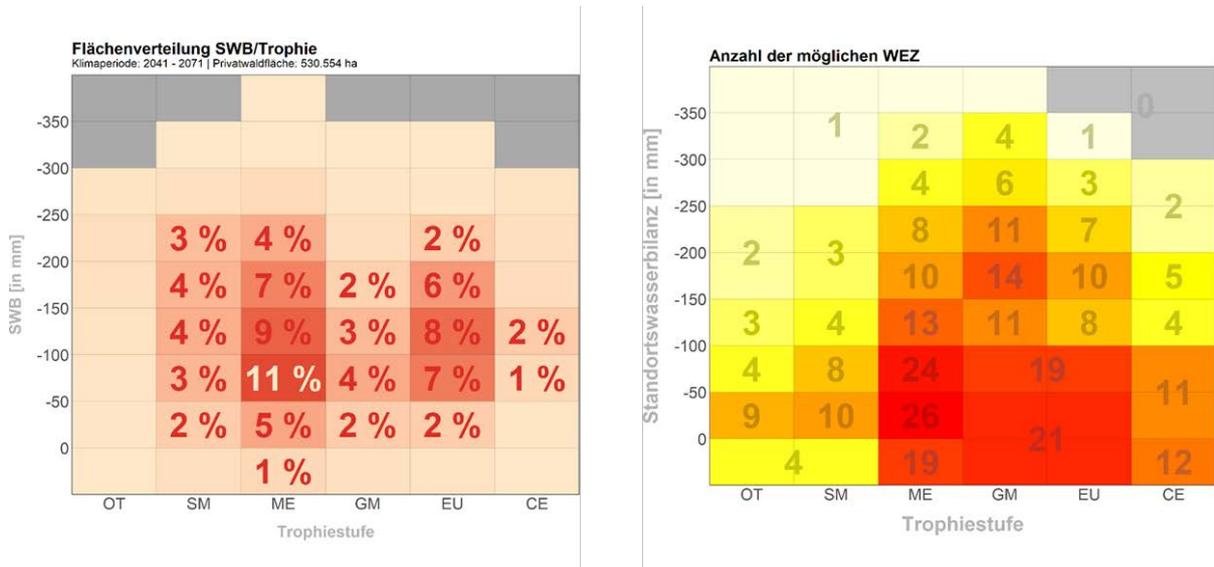


Abbildung 3: Darstellung der relativen Flächenanteile der Standortkombinationen in der Periode 2040 – 2070 (links) und der Anzahl der WEZ je Standortkombination (rechts) für den Privat- und Kommunalwald in Hessen

Dazu kommen ggf. Restriktionen durch etwaige Schutzgebietsauflagen, sonstige Gefährdungen, waldbauliche Ausgangssituationen oder betriebliche Belange. Die auf den einzelnen Bestand bezogene Baumartenwahl im Forstbetrieb folgt somit einem **Entscheidungsbaum**³, der zunächst anhand des Trockenstressrisikos die Potenziale abschätzt, in einem nächsten Schritt Schutzgebietsauflagen berücksichtigen muss und anhand von Wuchsleistung und Gefährdung unter den standortgemäßen Baumarten bzw. Waldentwicklungszielen weiter differenziert und schließlich die waldbaulichen Ausgangssituationen (Istbestockung, Vorverjüngung) und betriebliche Belange (Ertragserwartung, Risikobereitschaft, Investitionsbereitschaft, andere Ökosystemleistungen etc.) berücksichtigt (Abb. 4).

³ Der Entscheidungsbaum soll unter Ergänzung dieser dem Trockenstressrisiko nachgeschalteten Kriterien noch während der Projektlaufzeit in einen WEB-Service bzw. eine App integriert werden, die auf hochaufgelöste Karten mit den zuvor genannten Standortinformationen zurückgreifen und dem Nutzer eine Auswahl standortgemäßer Waldentwicklungsziele anbieten.

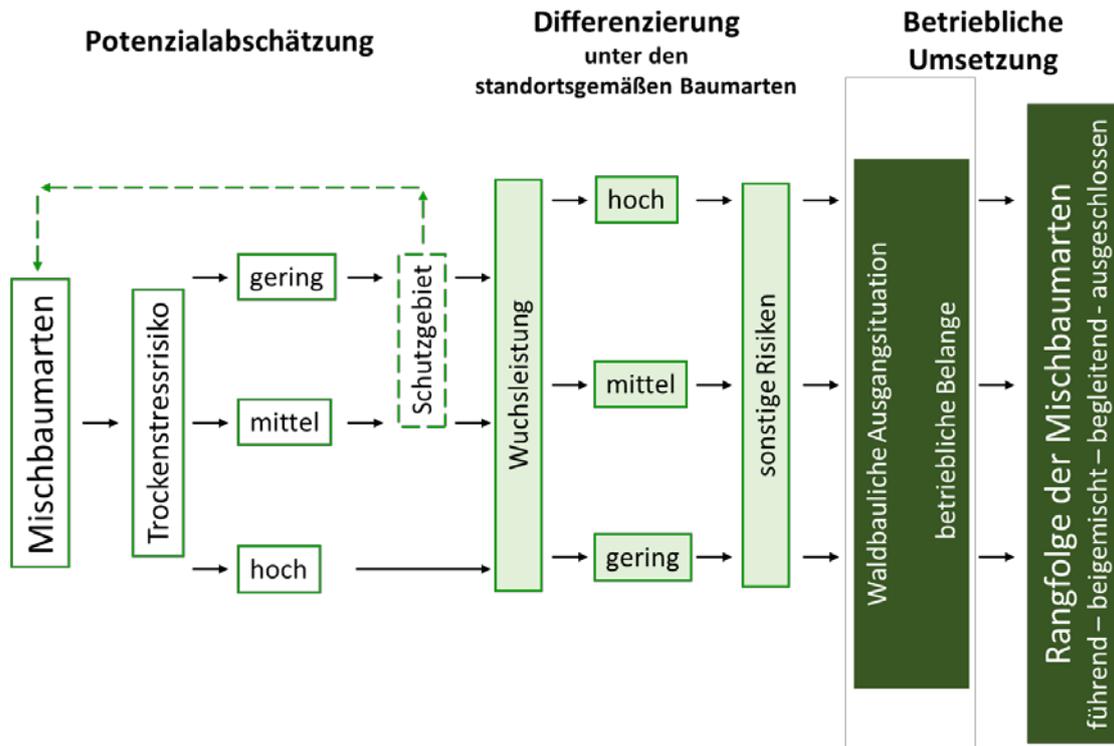


Abbildung 4: Entscheidungsbaum zur Wahl standortgemäßer Waldentwicklungsziele unter sich ändernden Klimabedingungen

6. Literatur

- Albert, M.; Nagel, R.-V.; Nuske, R.S.; Suttmöller, J.; Spellmann, H. (2017): Tree Species Selection in the Face of Drought Risk - Uncertainty in Forest Planning. *Forests*, 8(10), 363, 25 S. (doi: 10.3390/f8100363)
- Albert, M.; Nagel, R.-V.; Suttmöller, J.; Schmidt, Mat. (2018): Quantifying the effect of persistent dryer climates on forest productivity and implications for forest planning: a case study in northern Germany. *Forest Ecosystems*, 5:33, 22 S. (doi: 10.1186/s40663-018-0152-0)
- Böckmann, T.; Hansen, J.; Hauskeller-Bullerjahn, K.; Jensen, T.; Nagel, J.; Nagel, R.-V.; Overbeck, M.; Pampe, A.; Petereit-Bitter, A.; Schmidt, M.; Schröder, M.; Schulz, C.; Spellmann, H.; Stüber, V.; Suttmöller, J. Wollborn, P. (2019): Klimaangepasste Baumartenwahl in den Niedersächsischen Landesforsten. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt; Niedersächsische Landesforsten (Hrsg.): *Aus dem Walde - Schriftenreihe Waldentwicklung in Niedersachsen*, Band 61, 170 S.
- DVFFA (2019): Anpassung der Wälder an den Klimawandel. Positionspapier des Deutschen Verbandes Forstlicher Forschungsanstalten (DVFFA). http://www.dvffa.de/system/files/files_site/Waldanpassung_Positionspapier%20des%20DVFFA_09_2019.pdf

- Fleck, S.; Albert, M.; Plašil, P.; Nagel, R.; Suttmöller, J.; Ahrends, B.; Schmidt, Mat.; Evers, J.; Hansen, J.; Overbeck, M.; Schmidt, W.; Spellmann, H.; Meeseburg, H. (2015): Pilotstudie zu den lokalen Auswirkungen des Klimawandels auf die Forstwirtschaft in ausgewählten Regionen Sachsen-Anhalts. Beiträge aus der NW-FVA, Band 13, 221 S.
- Grier, C.G. u. Running, S.W. (1977): Leaf Area of Mature Northwestern Coniferous Forests: Relation to Site Water Balance. Ecology 58 (4): 893-899
- Heitkamp, F., B. Ahrends, J. Evers, C. Steinicke & H. Meeseburg (2020): Inference of forest soil nutrient regimes by integrating soil chemistry with fuzzy-logic: regionwide application for stakeholders of Hesse, Germany. Geoderma Regional, 23, e00340.
- Heuer, E: (2020): Wald im Klimawandel braucht Unterstützung – auch und gerade in Corona-Zeiten. proWALD, 6-9
- Hittenbeck, A.; Bialozyt, R.; Schmidt, Mat. (2019): Modelling the population fluctuation of winter moth and mottled umber moth in central and northern Germany. Forest Ecosystems, 6:3 (doi: 10.1186/s40663-019-0162-6)
- IPCC (2014): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Jungclaus, J.H., Lorenz, S.J.; Timmreck, C.; Reick, C.H.; Brovkin, V.; Six, K.; Segschneider, J.; Giorgetta, M. A.; Crowley, T.J.; Pongratz, J.; Krivova, N.A.; Vieira, L.E.; Solanki, S.K.; Klocke, D.; Botzet, M.; Esch, M.; Gayler, V.; Haak, H.; Raddatz, T.J.; Roeckner, E.; Schnur, R.; Widmann, H.; Claussen, M.; Stevens, B.; Marotzke, J. (2010): Climate and carbon-cycle variability over the last millennium. Clim. Past Discuss., 6
- Orlowsky, B.; Gerstengarbe, F.;-W.; Werner, P. C. (2008): A resampling scheme for regional climate simulations and its performance compared to a dynamical RCM. Theoretical and Applied Climatology, Vol. 92, Issue 3-4, 209-223
- Otto, H. J. (1994): Waldökologie. Ulmer Verlag, Stuttgart, 391 S.
- Overbeck, M.; Schmidt, M. (2011): Modelling infestation risk of Norway spruce by *Ips typographus* (L.) in the Lower Saxon Harz Mountains (Germany). Forest Ecol. Manage. 266, 115-125
- Overbeck, M.; Schmidt, M.; Nagel, R.-V.; Hansen, J. (2012): Modellbasierte Simulation waldbaulicher Anpassungsstrategien am Beispiel des niedersächsischen Harzes. AFJZ, 183, 208-224
- Schmidt, M. (2020): Standortsensitive und kalibrierbare Bonitätsfächer: Wachstumspotenziale wichtiger Baumarten unter Klimawandel. AFJZ, 190. Jg., 5/6, 136-160
- Schmidt, M.; Hanewinkel, M.; Kändler, G.; Kublin, E.; Kohnle, U. (2010): An inventory-based approach for modeling single-tree storm damage – experiences with the winter storm of 1999 in southwestern Germany. Can. J. For. Res. 40: 1636-1652
- Schulla, J.; Jasper, K. (2007): Model Description WaSiM-ETH. Technical report. http://www.wasim.ch/de/products/wasim_description.htm
- Spellmann, H.; Suttmöller, J.; Meeseburg, H. (2007): Risikovorsorge im Zeichen des Klimawandels. AFZ-Der Wald 23: 1246-1249
- Spellmann, H.; Albert, M.; Schmidt, M.; Suttmöller, J.; Overbeck, M. (2011): Waldbauliche Anpassungsstrategien für veränderte Klimaverhältnisse. AFZ/Der Wald, 66. Jg., 11, 19-23

Stevens, B.M.; Giorgetta, M.; Esch, T.; Mauritsen, T.; Crueger, S.; Rast, M.; Salzmann, H.; Schmidt, J.; Bader, K.; Block, R.; Brokopf, I.; Fast, S.; Kinne, L.; Kornblueh, U.; Lohmann, R.; Pincus, T.; Reichler; Roeckner, E. (2013): Atmospheric component of the MPI-M Earth System Model: ECHAM6, *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 5, 146-172 (doi:10.1002/jame.20015)

Sutmöller, J; Spellmann, H., Fiebiger, C.; Albert, M. (2008): Der Klimawandel und seine Auswirkungen auf die Buchenwälder in Deutschland. In: Nordwestdt. Forstl. Versuchsanstalt (Hrsg.): Ergebnisse angewandter Forschung zur Buche. Universitätsdrucke Göttingen, Band 3, 135-158

UBA (2015): Monitoringbericht 2015 zur deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Umwelt Bundesamt, Dessau, Eigenverlag, 256 S.