

# Entscheidungshilfen zur klimaangepassten Baumartenwahl

Hermann Spellmann, Johannes Suttmöller, Christian Schulz und Ralf-Volker Nagel

## Ausgangssituation

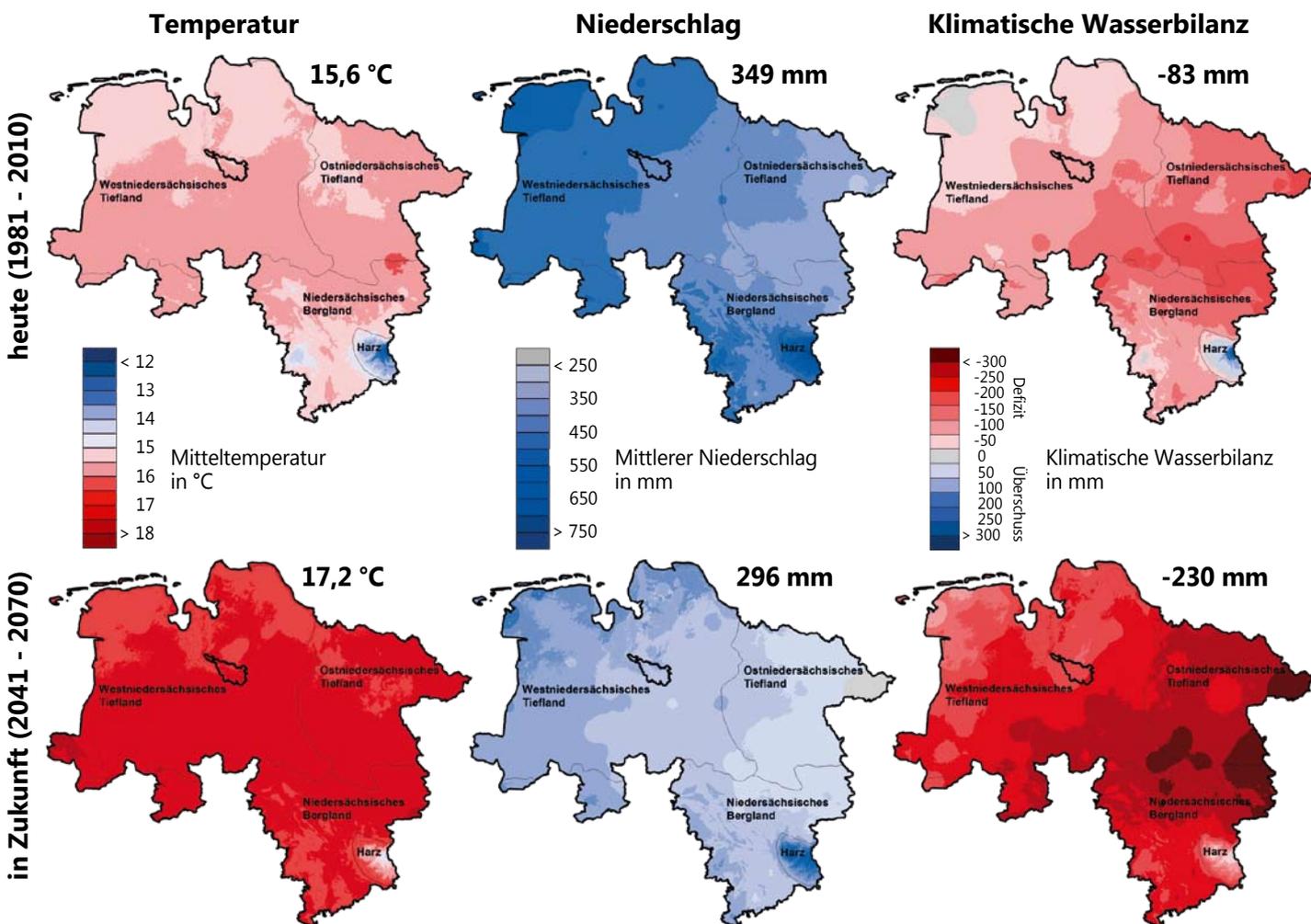
Die Klimaerwärmung ist in Niedersachsen seit Ende des letzten Jahrhunderts durch Messungen eindeutig belegt. Im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961 bis 1990 beträgt die mittlere Temperaturerhöhung rund 1,1 K, im Vergleich zur vorindustriellen Zeit (vor 1880) bereits knapp 1,5 K. Von den letzten 20 Jahren (2000 bis 2019) gehören 19 Jahre zu den wärmsten seit Messbeginn im Jahr 1881. Insbesondere die Jahre 2018 und 2019 zeichneten sich durch eine außergewöhnliche Andauer und Intensität von Trockenperioden aus. Bis zum Ende des Vegetationsjahres 2020 setzte sich die Trockenheit und Wärme fort (s. Seite 17: Witterung und Klima). Das Jahr 2018 war in Niedersachsen das wärmste seit Beginn der regelmäßigen Beobachtungen, dicht gefolgt von 2019 und 2014. Gleichzeitig wurden im Jahr 2018 sehr geringe Niederschlagsmengen gemessen, so dass trotz gut gefüllter Bodenwasserspeicher zu Beginn der Vegetationsperiode im Laufe des Sommers die Waldböden vielfach austrockneten. Die Serie sehr warmer und trockener Monate setzte sich auch im Jahr 2019 fort. Viele Böden in Niedersachsen waren zu Beginn der Vegetationsperiode 2019 nur unzureichend mit Wasser gefüllt, so dass die Bäume bereits frühzeitig unter Wassermangel litten. Die Folge waren sicht-

bare Schäden in den Wäldern, die zunehmend auch in der Öffentlichkeit wahrgenommen und diskutiert werden. Die Ursache für die Vielzahl an Waldschäden ist direkt (Trockenheit, Stürme) und indirekt (Begünstigung von Schadinsekten und Pilzen) durch die voranschreitende Klimaerwärmung begründet. Die Klimaanpassung der Wälder ist derzeit die größte Herausforderung der Forstbetriebe und hat einen unmittelbaren Einfluss auf den Beitrag des Forst- und Holzsektors zum Klimaschutz.

## Datengrundlagen

Mögliche Klimaentwicklungen werden derzeit durch die RCP-Klimaszenarien<sup>1</sup> (IPCC 2014) beschrieben. Während das optimistische Szenario RCP2.6 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 RCP8.5 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 (Abb. unten). Sehr wahrscheinlich ist zudem ein gehäuftes Auftreten von Witterungsextremen wie Trockenperioden, Starkregenereignissen oder Stürmen (IPCC 2014, UBA 2015, Hübener et al. 2017).

Klima-Kennwerte in der Vegetationszeit für Niedersachsen in den Klimaperioden 1981-2010 (Messwerte Deutscher Wetterdienst) und 2041-2070 (Klimaszenario RCP8.5, Modell ECHAM6 STARS II, Median-Lauf)



<sup>1</sup> RCP - Representative Concentration Pathways: Deren Ziffern geben an, welche zusätzliche Energie (in Watt/m<sup>2</sup>) maximal durch den fortschreitenden Treibhauseffekt in die bodennahe Atmosphäre eingebracht wird.

# Entscheidungshilfen zur klimaangepassten Baumartenwahl

Die erarbeiteten Entscheidungshilfen der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) zur Klimaanpassung basieren auf dem Emissionsszenario RCP8.5, 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 2041 bis 2070. Diese wurden an der NW-FVA mit einem kombinierten Verfahren aus Inverse Distance Weighting (IDW) und Höhenregressionen (Schulla u. Jasper 2007) auf ein 50 x 50 m-Raster herunterskaliert, um den örtlichen Bezug herzustellen.

Neben den Daten zum zukünftigen Klima sind Informationen über die physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften eine wichtige Voraussetzung für eine standortgemäße Baumartenwahl. Diese Merkmale werden im Rahmen der forstlichen Standortkartierungen erfasst. Diese liegt für den Privatwald in Niedersachsen nur unvollständig vor (ca. 250.000 Hektar sind noch nicht kartiert). Als Grundlage für eine beschleunigte Kartierung der noch nicht erfassten Waldflächen und als verbesserte Grundlage für eine klimaangepasste Waldbauplanung bearbeitet die NW-FVA derzeit mit Mitteln des Landes Niedersachsen ein Projekt zur Vorschätzung der forstlichen Standortstypen für nicht kartierte Flächen des niedersächsischen Privatwaldes. Hierbei werden multivariate Verfahren von Köhler et al. (2016) eingesetzt, deren Güte sich durch lokale Kalibrierungen und durch die Verfügbarkeit neuer flächenhafter Informationen (z. B. nutzungsdifferenzierte BK 50) noch verbessern lässt. Angestrebt werden landesweit harmonisierte Standortinformationen.



Ein typischer Waldboden in Niedersachsen: unverlehmter Sand mit Bodenbearbeitung  
Foto: NW-FVA

## Klimaanpassung

Der Klimawandel führt zu verlängerten Vegetationsperioden und erhöht bei den meisten mitteleuropäischen Baumarten deren Verdunstungsanspruch. Hierdurch wird der Trockenstress für die Wälder zunehmen, so dass die Produktivität gemindert und die Anfälligkeit gegenüber weiteren abiotischen und biotischen Stressfaktoren steigen wird.

Um die Wasserversorgung der Wälder in der Vegetationszeit unter heutigen und zukünftigen Klimabedingungen abschätzen zu können, wird für die Trägerländer der NW-FVA die so genannte Standortswasserbilanz (SWB) flächendeckend berechnet. Die SWB ist ein einfach zu berechnender Indikator zur baumartenspezifischen Einschätzung des Trockenstressrisikos eines Standortes (s. Erläuterungskasten „Definitionen“). Neben der zentralen Größe der Klimatischen Wasserbilanz in der Vegetationszeit wird bei der Berechnung der SWB der Bodenwasserspeicher in Form der nutzbaren Feldkapazität (nFK) berücksichtigt. Stark vereinfacht ausgedrückt, handelt es sich dabei um die Eigenschaft der Waldböden, in gewissem Maße Niederschlagswasser zu bevorraten und den Bäumen für ihren Bedarf zur Verfügung zu stellen.

### Definitionen

Die **Standortswasserbilanz (SWB<sub>vz</sub>)** für grund- und stauwasserfreie Waldstandorte ist die Summe aus der Klimatischen Wasserbilanz in der Vegetationszeit (KW<sub>Bvz</sub>) und dem pflanzenverfügbaren Bodenwasser (nutzbare Feldkapazität, nFK).

Die **Klimatische Wasserbilanz (KW<sub>B</sub>)** ist die Differenz zwischen Niederschlag und potenzieller Verdunstung, die nach FAO-Norm (FAO = Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen) für eine einheitliche Grasbedeckung und nach dem Ansatz von Penman/Monteith berechnet wird (Monteith 1965, Penman 1948).

Das **pflanzenverfügbare Bodenwasser** (nutzbare Feldkapazität, nFK) ist die Differenz zwischen dem Wassergehalt bei Feldkapazität und dem permanenten Welkepunkt. Die nFK hängt maßgeblich von der Textur, der Lagerungsdichte und dem Humusgehalt des Bodens sowie der Durchwurzelungstiefe ab. Diese Kenngröße lag für größere Gebiete Niedersachsens bislang nur in einer geringen räumlichen Auflösung vor und wurde auf der Datenbasis von ca. 4.000 verorteten Bodenprofilen nach der von Overbeck et al. (2011) entwickelten Methode für die Waldflächen regionalisiert, für die eine forstliche Standortkartierung vorliegt. Im Mittel der kartierten Waldflächen beträgt die nFK 173 mm bis 1 m Bodentiefe, wobei die Bandbreite von knapp 50 mm auf den trockenen und bis zu rund 300 mm auf den nachhaltig frischen Standorten reicht. Bei den tief durchwurzelbaren Böden des Tieflandes werden für die nFK-Berechnung die bodenphysikalischen Parameter bis 1,4 m Bodentiefe herangezogen und anschließend wiederum „gewichtet“ auf 1 m normiert, sodass z. B. tiefer liegende Lehmschichten von Zweischichtböden noch berücksichtigt werden.

Die derzeit im Rahmen der Klimaanpassung von der NW-FVA verwendeten Berechnungen der Standortswasserbilanz in der Vegetationszeit (SWB<sub>vz</sub>) gehen von der Annahme aus, dass der pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicher zu Beginn der Vegetationsperiode weitgehend aufgefüllt ist.

Hinsichtlich der Ansprüche an die Wasserversorgung und demzufolge auch in der Toleranz gegenüber Trockenstress gibt es deutliche Unterschiede zwischen den Baumarten, die grundlegend in ihren physiologischen Eigenschaften

# Entscheidungshilfen zur klimaangepassten Baumartenwahl

begründet liegen. Eine gewisse Spanne dieser Eigenschaften ist durch die genetische Differenzierung auf Artebene sowie eine individuelle phänotypische Anpassung in Interaktion mit dem jeweiligen Standort gegeben. Dennoch lassen sich die Baumarten auf der Grundlage vorliegender Erkenntnisse und Beobachtungen bestimmten Gruppen unterschiedlicher Trockenstress-Gefährdung und dementsprechenden Bereichen der Standortwasserbilanz zuordnen (Böckmann et al. 2019). Dabei bewerten die Schwellenwerte der Trockenstress-Risikostufen der SWB<sub>VZ</sub> die Vitalität, Widerstandsfähigkeit und Produktivität der Baumarten, ohne jedoch auch bei hoher Gefährdung eine absolute Existenz- oder Verbreitungsgrenze darzustellen (Tab. rechts).

Unter den Klimabedingungen der Periode 1981 bis 2010 (Messdaten des DWD) ist die Standortwasserbilanz in der Vegetationsperiode (SWB<sub>VZ</sub>) in weiten Regionen von Niedersachsen positiv. Im Mittel aller Waldflächen beträgt sie +85 mm. Nach dem Regionalmodell STARS II wird sich die SWB<sub>VZ</sub> für die Waldflächen in Niedersachsen für den Zeitraum von 2041 bis 2070 deutlich auf -66 mm verschlechtern (Abb. unten).

## Potenzialabschätzung der Baumarten

Die Grundlage der Klimaanpassungsmaßnahmen für die niedersächsischen Wälder ist die Überprüfung, ob auf gegebenem Standort die heute dort wachsenden bzw. dort zu verjüngenden Baumarten nach derzeitigem Stand des Wissens geeignet sind, sowohl mit dem herrschenden, als auch mit dem künftigen Klima zurechtzukommen.

Die bisherige **standortsbezogene Zuordnung der Waldentwicklungstypen** (WET, Seite 29) in Niedersachsen baute auf Zuordnungsregeln für bestimmte Kombinationen der

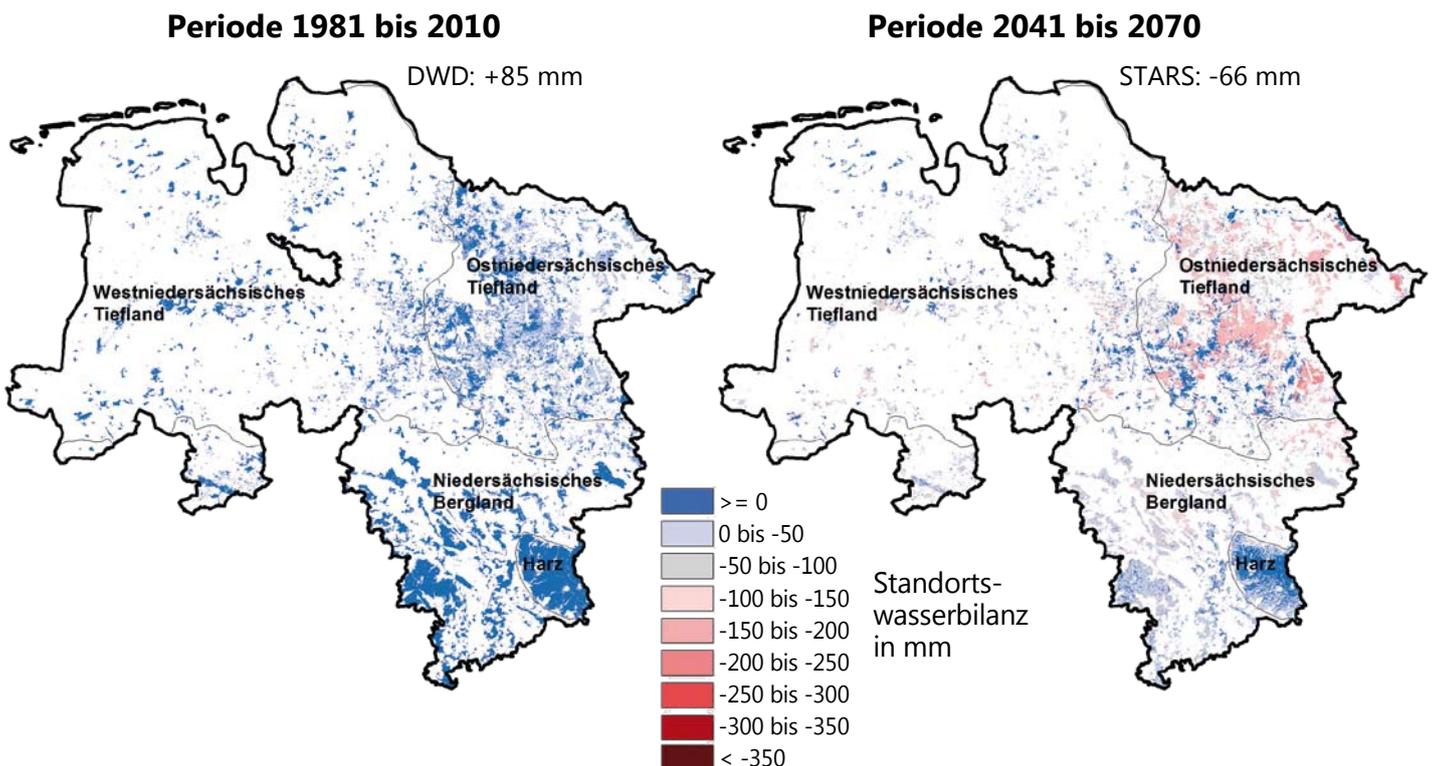
Nährstoff- und Wasserhaushaltsziffern auf. Im Rahmen der klimaangepassten Baumartenwahl wurde der Standortsbezug bei der Baumartenwahl um Standortwasserbilanzstufen erweitert. Diese stellen eine Unterteilung der Standortwasserbilanz in praktikable 50 mm-Stufen dar, die kompatibel zu den Risikoeinstufungen der Baumarten (Tab. unten) sind. Eine Ausnahme bilden die Klassen -51 bis -80 mm und -81 mm bis -100 mm, deren Stufengrenzen sich unmittelbar am Wert der hohen Risikoeinstufung der Fichte orientieren. Die Standortwasserbilanzstufen bilden die Grundlage, anhand derer sich das Trockenstressrisiko der Baumarten

*Klassifizierung des Trockenstressrisikos der Hauptbaumarten und zugeordneter Nebenbaumarten im Anhalt an die Standortwasserbilanz in der Vegetationszeit (SWB<sub>VZ</sub>) als Saldo aus Klimatischer Wasserbilanz in der Vegetationszeit (KW<sub>BVZ</sub>, Grasreferenz) und nutzbarer Feldkapazität (nFK)*

Trockenstressrisiko	Fichte	Buche	Eiche/Douglasie	Kiefer
	Roterle* Moorbirke*	Weißtanne Japanlärche Bergulme Schwarznuß	Roteiche Ahornarten Esche Hainbuche Linde Europ. Lärche Küstentanne	Sandbirke Schwarzkiefer
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

\*benötigen hoch anstehendes Grundwasser

30-jähriges Mittel der Standortwasserbilanz in der Vegetationsperiode; links Periode 1981-2010 (berechnet aus Messdaten des Deutschen Wetterdienstes), rechts Periode 2041-2070 (berechnet nach der Klimaprojektion RCP8.5, ECHAM6 STARS II, Median-Lauf)



## Entscheidungshilfen zur klimaangepassten Baumartenwahl



Klimaangepasster Mischwald nach Fichtenbestockung

Foto: M. Delpho

ableiten lässt. Das Risiko der jeweiligen Hauptbaumart eines Waldentwicklungstyps auf gegebenem Standort entscheidet darüber, ob dieser WET dort noch geplant werden kann. Bei Erwartung eines hohen Trockenstressrisikos der Hauptbaumart scheidet dieser WET künftig aus. Dies bedeutet z. B. für heutige Fichten- oder Buchenbestände mit künftig hohem Trockenstressrisiko einen Wechsel der Hauptbaumart. Bei einem hohen Trockenstressrisiko für die jeweilige Mischbaumart, z. B. bei den WET 25 (Buche-Fichte), 62 (Douglasie-Buche) oder 65 (Douglasie-Fichte), wurden die Anteile der jeweiligen Mischbaumart reduziert oder diese durch eine besser an die erwarteten Klimaänderungen angepasste Baumart ersetzt.

Eine mögliche Alternative zu diesem Vorgehen, die bei einer künftigen Überarbeitung der klimaangepassten Baumartenwahl in Niedersachsen zu prüfen wäre, ist die direkte Zuordnung der Baumarten entsprechend ihrer Wasser- und Nährstoffansprüche nach der  $SWB_{VZ}$  und der Nährstoffversorgung der Standorte. Dabei handelt es sich um ein Vorgehen, das in anderen Trägerländern der NW-FVA bereits angewendet wird und das hier skizziert werden soll.

Zur Potenzialabschätzung der Baumarten wurde an der NW-FVA eine Zuordnungstabelle entwickelt. Darin wird die Stellung der Baumarten in Mischwäldern entsprechend ihrer Wasser- und Nährstoffansprüche nach der  $SWB_{VZ}$  und der Nährstoffziffer eingeordnet. Je nach Erfüllung ihrer ökologischen Ansprüche an den Standort kann die Baumart führend, beigemischt, vorübergehend beigemischt, begleitend oder vom Anbau ausgeschlossen sein. Eine durch Inventur- und Literaturangaben abgesicherte Bewertung ordnet dabei sowohl die derzeit verbreitetsten und wirtschaftlich wichtigsten, als auch alle derzeit weniger stark verbreiteten Baumarten dezidiert standörtlich zu. Ihre Trockenstressgefährdung wird berücksichtigt, indem die Hauptbaumarten nur bis zur Mitte ihrer mittleren Trockenstressgefährdung als führend eingeordnet werden (Tab. Seite 26). Ab der Mitte des Bereichs mittlerer Trockenstressgefährdung bis an die Grenze zu einer hohen Gefährdung bleibt die Baumart Mischbaumart. Der Sonderfall „vorübergehend beigemischt“ bezieht sich auf waldbauliche Ausgangssitu-

ationen in Buchen- und Fichtenbeständen mit flächiger Naturverjüngung, die auf Standorten stocken, deren Wasserversorgung in der Vegetationszeit sich in den kommenden Jahrzehnten in die Standortswasserbilanz-Stufe mit hoher Trockenstressgefährdung verschlechtert, so dass hier die vorhandene Verjüngung nur „vorübergehend“ mit kürzeren Produktionszeiten und geringeren Zielstärken in die Waldentwicklung einbezogen werden kann. Begleitend sind natürlich ankommende Baumarten, die im Wald oder am Waldrand im Sinne der Risikoversorge und Artenvielfalt willkommen und in ökologisch nicht zu vernachlässigenden Anteilen an der Baumartenzusammensetzung in den Waldentwicklungstypen (WET) vorgesehen sind.

Abweichend von den standortsökologischen Kriterien  $SWB_{VZ}$  und Nährstoffversorgung enthält die Zuordnungstabelle noch folgende Setzungen:

- Die  $SWB_{VZ}$ -Stufe -50 bis -100 mm bildet den mittleren Trockenstressrisikobereich der Buche ab. Mit Blick auf die Bedeutung der Buche in Niedersachsen und für den Naturschutz wurde hier für die ganze Stufe noch führende Buche vorgesehen, die i. d. R. aus Naturverjüngung hervorgeht.
- Im Bereich der  $SWB_{VZ}$ -Stufe  $\geq 0$  mm sind die dort ebenfalls standortsgemäßen Baumarten, wie z. B. Kiefer und Sandbirke, nicht eingeordnet, weil dieser Standortsbereich flächenmäßig stark schrumpft und Baumarten mit höheren Wasseransprüchen vorbehalten bleiben sollte.
- Im Bereich  $SWB_{VZ}$  -100 bis -150 mm ist die Vogelkirsche nicht als führend eingestuft, weil die Leistung und Vitalität mit abnehmender Wasserversorgung deutlich sinkt und damit die notwendigen hohen Investitionen nicht mehr gerechtfertigt sind.
- Im frischeren Bereich ( $SWB_{VZ} > -100$  mm) ist keine führende Winterlinde vorgesehen, um ertragreicheren Baumarten Planungsfläche zu reservieren.
- Auf Kalkstandorten sind mehrere Baumarten ausgeschlossen, um Rotfäule oder Ernährungsungleichgewichten vorzubeugen.

# Entscheidungshilfen zur klimaangepassten Baumartenwahl



Elsbeere

Foto: NW-FVA



Winterlinde

Foto: M. Spielmann



Roteiche

Foto: M. Spielmann



Spitzahorn

Foto: J. Evers



Douglasie

Foto: T. Friedhoff



Kiefer

Foto: J. Evers

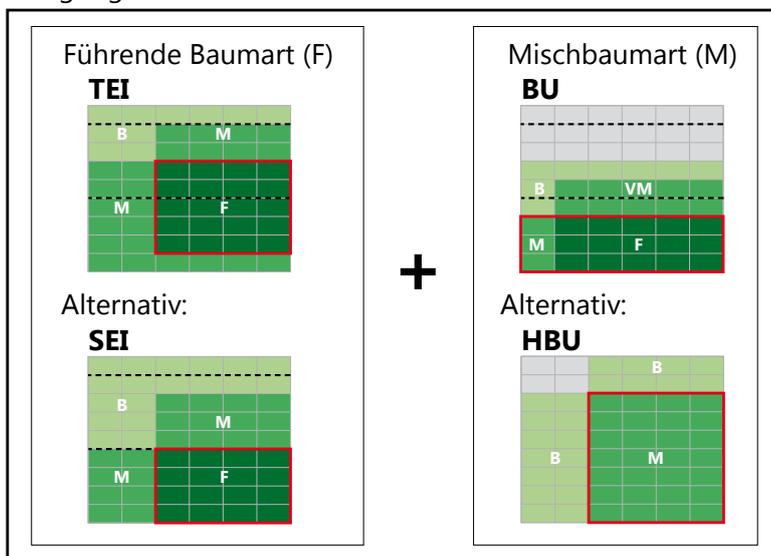
Beispiele für Baumarten mit geringem Trockenstressrisiko

# Entscheidungshilfen zur klimaangepassten Baumartenwahl

Aus der Zuordnungstabelle nach SWB<sub>VZ</sub> und Trophiestufe abgeleiteter Planungsbereich des WEZ 10 Eiche-Buche/Hainbuche (Beispiel aus Hessen)

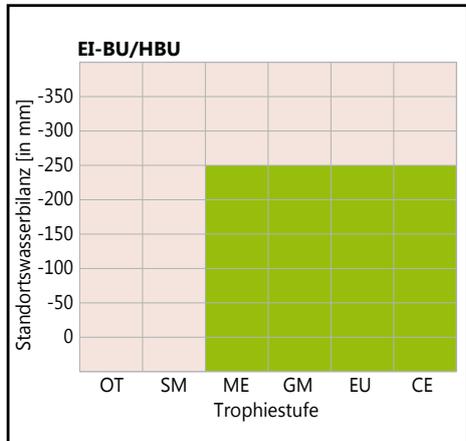
## WEZ 10: Eiche – Buche/Hainbuche

Rangfolge der Baumarten



<b>WEZ 10: EI-BU/HBU</b>	
Eiche:	60 - 80 %
Buche/Hainbuche	10 - 20 %
Begleitbaumarten:	bis 10 %

**WEZ**



Planungsbereiche der Baumarten

----- Grenzen der Risikoklassifizierung des Trockenstresses (Tab. Seite 26)

(B begleitende Baumart, VM vorübergehend beigemischte Baumart –

OT oligotroph, SM schwach mesotroph, ME mesotroph, GM gut mesotroph, EU eutroph, CE carbonat-eutroph)

Des Weiteren ist zu beachten, dass das breite Anbauspektrum der gut an den Klimawandel angepassten Esche nicht das biotische Risiko des Eschen-Triebsterbens berücksichtigt. 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. Die Potenzialabschätzung der Baumarten berücksichtigt außerdem keine Restriktionen, die sich aus Schutzgebiets- und Zertifizierungsaufgaben ergeben. Es wird auch grundsätzlich nicht zwischen natürlicher und künstlicher Bestandesbegründung unterschieden. Dies muss betrieblich entschieden werden.

Aus der standörtlichen Zuordnung der Baumarten zu bestimmten Stufen der Standortswasserbilanz in der Vegetationszeit (SWB<sub>VZ</sub>) und der Nährstoffversorgung sowie ihrer vom Trockenstress abhängigen Stellung (führend, beigemischt, vorübergehend beigemischt, begleitend oder ausgeschlossen) ergeben sich deren artspezifische Planungsbereiche und aus der Schnittmenge der an einem WET beteiligten Baumarten deren standörtliche Planungsbereiche. Zur Veranschaulichung dieses Vorgehens ist in der Abbildung oben ein Beispiel aus Hessen für das Waldentwicklungsziel Eiche – Buche/Hainbuche (WEZ 10) dargestellt. In Hessen steht der Begriff „Waldentwicklungsziel“ synonym für den Begriff Waldentwicklungstyp in Niedersachsen.

Für hydromorphe Standorte (Grund- und Stauwasser beeinflusste Böden) ist eine Zuordnung der Baumarten mit Hilfe der Standortswasserbilanz nicht geeignet. Für diese Standorte erfolgt die Zuordnung der Baumarten nach dem Geländewasserhaushalt aus der Standortkartierung (nass, feucht, wechselfeucht, sickerfeucht und wechselfeucht) und der Nährstoffversorgung.

## Waldentwicklungstypen (WET)

In ihrem standortsgebundenen Rahmen lassen sich Baumarten, die in ihren ökologischen Ansprüchen und in ihrem Wuchsverhalten zueinander passen und oftmals auch natürlich miteinander vergesellschaftet sind zu Mischbeständen 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 Standortansprüche 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.

Waldentwicklungstypen für die waldbauliche Planung beschreiben Leitbilder des angestrebten Waldaufbaus in der nächsten Waldgeneration, ordnen ihre sukzessionale Stellung ein und benennen Entwicklungsziele hinsichtlich der Schutz- und Erholungsfunktion. Die Ziele der Holzherzeugung sind in Form von angestrebten Zielstärken und Produktionszeiträumen dargelegt. Sowohl für die Entwicklungs- als auch für die Verjüngungsziele werden Baumartenanteile prozentual festgelegt.

Für den Wald der Niedersächsischen Landesforsten (NLF) sind 41 WET beschrieben und planbar. Deren WET-Katalog bildet auch weitgehend die Grundlage für die forstliche Förderung des Privat- und Kommunalwaldes in Niedersachsen. Er wurde im Zuge der klimaangepassten Fortschreibung der Richtlinie zur Baumartenwahl in den niedersächsischen Landesforsten (Böckmann et al. 2019) um einige Waldentwick-

# Entscheidungshilfen zur klimaangepassten Baumartenwahl



Aufforstungsfläche nach Sturmwurf und Borkenkäferbefall in Fichtenbeständen  
Foto: J. Weymar

lungstypen erweitert. Mit der Einbeziehung der tief wurzelnden, Schatten ertragenden Weißtanne (WET 55) und der gut an Trockenstress angepassten Küstentanne (WET 56) wird die Palette der waldbaulichen Möglichkeiten in wichtigen Standortbereichen vergrößert. Darüber hinaus ermöglicht die künftige Unterscheidung der nach kalamitätsbedingten Freilagen sehr wichtigen Waldentwicklungstypen mit führender Europäischer Lärche (WET 82) bzw. führender Japanlärche (WET 88) die genauere standörtliche Zuordnung der in ihren Standortansprüchen etwas unterschiedlichen Lärchenarten. Neben den Ergänzungen durch die neuen WET wurde außerdem das Anbauspektrum einzelner Baumarten bezüglich der Anforderungen an ihre Nährstoffversorgung erweitert, so dass Eichen-WET künftig auch ohne Grundwasseranschluss bereits ab Nährstoffziffer 3+ geplant werden können und die anspruchsvolleren Nadelbaumarten bis zu einer ziemlich guten Nährstoffversorgung, um auf künftig trockeneren Standorten mehr waldbauliche Optionen zu erhalten.

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

Darüber hinaus entscheidungsrelevant sind ggf. Restriktionen durch etwaige Schutzgebietsauflagen, sonstige Gefährdungen, die waldbauliche Ausgangssituationen oder betriebliche Belange. So beträgt in den NLF der Anteil der Waldflächen, bei denen die Schutzgebietsziele den Waldent-

wicklungstyp bestimmen, fast ein Drittel des Landeswaldes. Die auf den einzelnen Bestand bezogene Baumartenwahl im Forstbetrieb folgt somit einem Entscheidungsbaum, der zunächst anhand des Trockenstressrisikos die Potenziale abschätzt und Schutzgebietsauflagen berücksichtigt, dann anhand von Wuchsleistung und Gefährdung unter den standortsgemäßen Baumarten bzw. Waldentwicklungstypen weiter differenziert und schließlich die waldbaulichen Ausgangssituationen (Istbestockung, Vorverjüngung) und betriebliche Belange (Ertragserwartung, Risikobereitschaft, Vorgaben eines Zertifikats, Investitionsbereitschaft, andere Ökosystemleistungen etc.) berücksichtigt.

Die Entscheidungshilfen zur klimaangepassten Baumartenwahl sind für den Landeswald in das forstbetriebliche GIS der NLF integriert. Für den Privat- und Kommunalwald stehen die Informationen für Waldflächen mit Standortkartierung über das Geodatenportal des Landes Niedersachsen mittelbar im Rahmen der Beratung durch die Landwirtschaftskammer Niedersachsen zur Verfügung. Dort, wo keine Standortkartierung vorliegt, wird im Fall von Förderanträgen zur Durchführung von Bestandesbegründungsmaßnahmen anlassbezogen eine Standortkartierung vorgeschaltet und vom Land Niedersachsen finanziert.

## Ausblick: Anwendung des Kernensembles für das RCP8.5-Klimaszenario

In den letzten Jahren wurden im Rahmen des ReKliEs-De-Projektvorhabens (Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland) erstmals für Deutschland umfassende Ensembles regionaler Klimaprojektionen der aktuellen RCP-Klimaszenarien RCP2.6 und RCP8.5 in einer räumlichen Auflösung von 12 x 12 km zur Verfügung gestellt (Hübener et al. 2017). Aus dem Gesamtensemble mit 26 verschiedenen Modellkombinationen (Global- und Regionalmodell) für das RCP8.5-Klimaszenario („Weiter-wie-bisher-Szenario“) wurde nach vorgegebenen Qualitätskriterien für Anwender von Wirkmodellen im Rahmen des Bund-Länder-Fachgespräches ein so genanntes Kernensemble ausgewählt (Dalelane et al. 2018). Diese werden zurzeit an der NW-FVA im Rahmen eines Forschungsprojektes in ihren Auswirkungen bis 2100 überprüft. Für den Anwendungszweck der Klimaanpassung im Wald war es notwendig, die Projektionen auf eine sehr viel höhere räumliche Auflösung herunter zu skalieren. An der NW-FVA wurden dazu mit Hilfe des Quantile Mapping-Verfahrens die Modellergebnisse auf Gitterbasis an ausgewählte Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) angepasst (Feigenwinter et al. 2018, Suttmöller et al. 2020). Die so erzeugten Zeitreihen an den Klimastationen können in einem zweiten Schritt mittels Regionalisierungsverfahren an beliebige Punkte und in beliebige Rasterweiten interpoliert werden. Inzwischen liegt für alle Modellsimulationen des RCP8.5-Szenarios eine Auswertung mit einer räumlichen Auflösung von 50 x 50 m vor. Nach derzeitigem Auswertungsstand wird sich auch nach den Modellergebnissen des Kernensembles zum Klimaszenario RCP8.5 die SWB<sub>VZ</sub> für die Waldflächen in Niedersachsen im Zeitraum von 2071 bis 2100 deutlich verschlechtern. Diese Modellläufe bedürfen aber noch einer gemeinsamen Überprüfung und Bewertung, bevor sie 2021/2022 Eingang in Entscheidungshilfen für die forstliche Praxis finden werden.