

5 Waldentwicklung unter Klimawandel

Hans Hamkens

5.1 Einleitung

Die wesentliche Handlungsgrundlage für die nachhaltige Bewirtschaftung des Waldes in Sachsen-Anhalt bildet seit 1997 die Leitlinie Wald, die im Jahr 2014 zwar fortgeschrieben wurde, aber lediglich eine Anpassung an die veränderten Rahmenbedingungen darstellte (MULE 2020). Die grundsätzliche Orientierung auf eine naturnahe, ökogerechte Waldbewirtschaftung wird somit weiterhin durch die Leitlinie angestrebt.

Konkretisiert wurde die Waldbauplanung im Sinne der Richtlinie Wald durch diverse fortgeschriebene Erlasse, die Empfehlungen in Form von zweckmäßigen Bestandeszieltypen (BZT) in Katalogform vorgaben. Ziel war die Holzerzeugung auf dem Wege standorts- und ökogerechter Waldbewirtschaftung, sofern nicht andere Waldfunktionen dieses Ziel dominieren (z. B. MLU 2012). Die forstliche Standortserkundung, welche in Kapitel 2 detailliert vorgestellt wird, bildete die Basis der standortsgerechten Baumartenwahl und somit der Empfehlung von Bestandeszieltypen (BZT) für gegebene Standorte.

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. Die waldbaulichen Handlungsoptionen zur Anpassung der Wälder an den Klimawandel reichen vom standortsgerechten 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 wesentliche Weiterentwicklung von Waldbauempfehlungen zur Klimaanpassung.

Nach den Schäden der letzten Jahre steht derzeit insbesondere 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).

Auf Basis der forstlichen Standortserkundung (Kap. 2), regionalisierten Klimamodellen (Kap. 4.2.1) und dem waldbaulichen Algorithmus *baklava* (Kap. 4.3)

wurden die Waldbauempfehlungen für Sachsen-Anhalt mit wissenschaftlichen Methoden fortgeschrieben und in Form eines überarbeiteten BZT-Kataloges mit einem darauf aufbauenden Geoportal veröffentlicht (HAMKENS et al. 2020; s. Kap. 6).

Das nachfolgende Kapitel soll neben einem kurzen Blick auf die vormalige Planung insbesondere die Ergebnisse der aktuellen Waldbauempfehlungen unter Klimawandel darstellen. Der Forschungsansatz der NW-FVA erlaubt es auch die Empfehlungen auf Basis der rezenten Klimaperiode zu berechnen und darzustellen. So ist es möglich die unterschiedlichen Planungen zu vergleichen und zu beschreiben.

Um eine Vergleichbarkeit zwischen dem neuen und alten BZT-Katalog herzustellen, werden nachfolgend hauptsächlich Potenzialflächen der wichtigsten Baumarten betrachtet. Die sogenannte Brutto-Potenzialfläche ergibt sich aus den Standorten, in denen die jeweilige Baumart entweder in einer führenden Rolle oder als Mischbaumart in einer BZT-Empfehlung eingeht. Die Nettopotenzialfläche ergibt sich aus dem günstigsten Bestandesziel der zur Auswahl stehenden BZT für die jeweilige Baumart. Die aufsummierte Nettopotenzialfläche stellt somit den maximalen Rahmen der jeweiligen Waldbauempfehlung einer Baumart dar. Es handelt sich bei beiden Potenzialflächen somit um modellhafte Vergleichsgrößen des standörtlich möglichen Potenzials der Baumart unter den genannten Voraussetzungen. In der Realität können selbstverständlich nicht die Anteile aller Baumarten gleichzeitig maximiert werden.

Für die nachfolgenden Auswertungen wurde die Standortkartierung mit einem Datenstand aus dem Jahr 2021 verwendet. Analysiert werden nur die terrestrischen Standorte. Nähere Informationen zur Standortkartierung sind Kapitel 2 zu entnehmen.

5.2 Ausgangssituation

Grundlage der nachfolgend zusammengestellten Ergebnisse ist der *Runderlass 42.-64210/2* des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt aus dem Jahr 2011. In der Anlage 1 des Erlasses wurden die BZT definiert und mit den Anlagen 2 bis 4 die Zuordnungen dieser BZT zu den Stamm-Standortsformengruppen in Abhängigkeit der jeweiligen Standortsregion festgelegt. Durch den Abgleich der forstlichen Standortkartierung mit den Angaben aus dem Runderlass ergeben sich die Brutto- und Nettopotenzialflächen ausgewählter Baumarten, die in Tabelle 9 dargestellt sind.

Tabelle 9: *Brutto- und Nettopotenzialflächen ausgewählter Baumarten auf Basis des Runderlasses 42.-64210/2 von 2011*

Baumart	Potenzialfläche			
	Brutto Fläche [in Tsd. ha]	Anteil	Netto Fläche [in Tsd. ha]	Anteil
Kiefer	316	93 %	243	71 %
Europ. Lärche	282	83 %	158	46 %
Jap. Lärche	197	58 %	79	23 %
Fichte	210	62 %	105	31 %
Douglasie	253	74 %	156	46 %
Weißtanne	197	58 %	79	23 %
Küstentanne	197	58 %	79	23 %
Stieleiche	298	87 %	223	65 %
Traubeneiche	300	88 %	225	66 %
Roteiche	0	0 %	0	0 %
Buche	305	89 %	227	66 %
Esche	25	7 %	15	4 %
Bergahorn	93	27 %	49	14 %

Erwartungsgemäß spielte die Kiefer in der Planung von 2011 eine gewichtige Rolle. Auf etwa 93 % der Fläche waren BZT unter Beteiligung dieser Baumart möglich. Nettopotenzialfläche betrug 71 %. Große Unterschiede von Brutto- und Nettopotenzialfläche ergeben sich für die Nadelbaumarten Lärche, Fichte und Douglasie. Bei diesen Baumarten wird deutlich, dass ihre Potenziale zum Großteil durch eine beigemischte Rolle realisiert werden können. Sinngemäß bedeutet eine geringe Abweichung der beiden Potenzialflächen zueinander, dass die jeweilige Baumart eine gewichtigere Rolle einnimmt.

Bei den Laubbaumarten gibt es große Überschneidungen zwischen den beiden heimischen Eichenarten und der Buche. Die relativ geringe Abweichung der Netto- zur Bruttopotenzialfläche macht den höheren Stellenwert der Baumarten in der Planung deutlich. Die Roteiche wurde bisher nicht explizit in den Waldbauempfehlungen berücksichtigt und hat daher eine Potenzialfläche von 0 %.

Für eine bessere Vorstellung der räumlichen Verteilung der Potenzialflächen wird in Abbildung 25 beispielhaft die Rolle der Buche dargestellt.

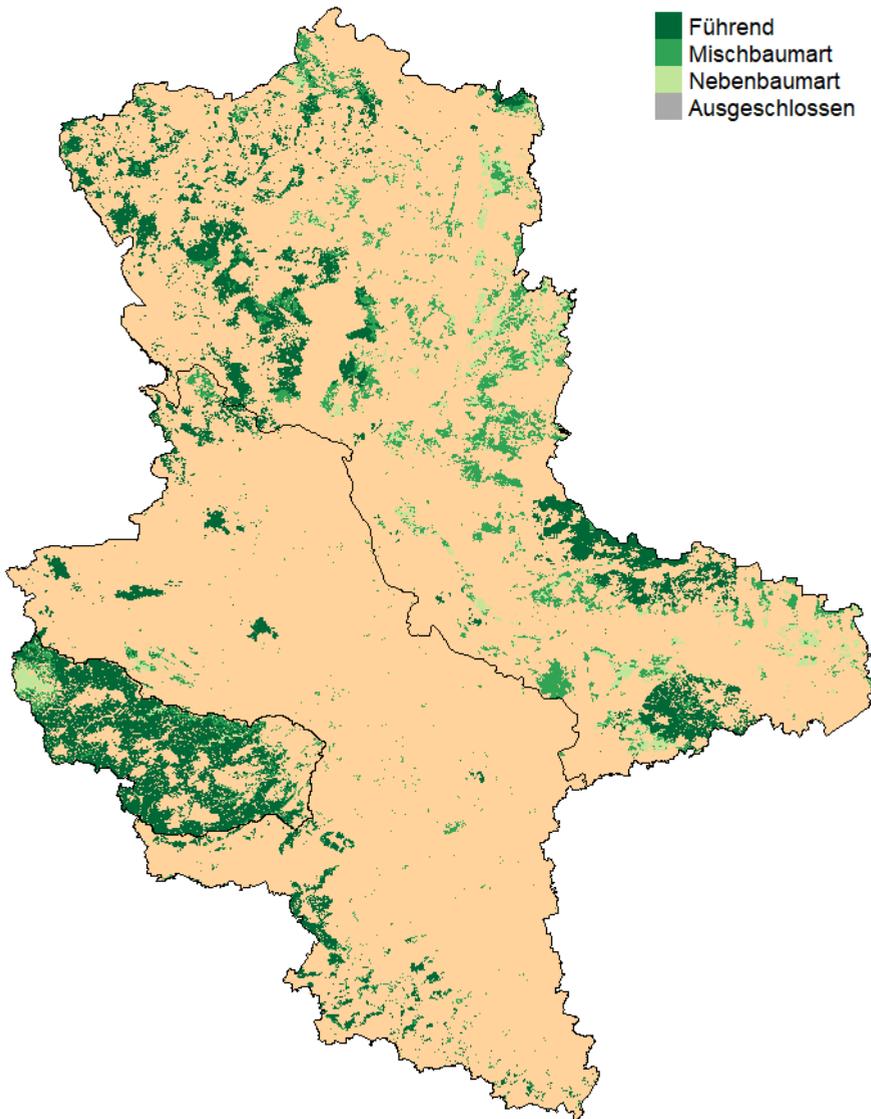


Abbildung 25: Räumliche Verteilung der Baumartenklassifizierung der Buche gemäß des Runderlasses 42.-64210/2 von 2011

Der eindeutige Schwerpunkt liegt dabei im Mittelgebirge und im Hügelland. Allerdings hat das Hügelland die geringsten Anteile an der Waldfläche zu verzeichnen. Bedeutende Flächenanteile auf denen die Buche im Tiefland empfohlen wird finden sich in den rezenten Klimastufen des feuchten und mäßig trockenen Tieflands (Tf, Tm). Im sonst eher trockenen östlichen Landesteil stehen im *Hohen*

Fläming und der *Dübener Heide* sogenannte feuchte Inseln heraus, welche durch leicht günstigere klimatische Bedingungen gekennzeichnet sind.

5.3 Baumartenempfehlung auf Basis des RCP8.5-Szenarios

Die Entscheidungshilfen basieren auf dem Szenario RCP8.5, gerechnet mit dem Globalmodell ECHAM6 (JUNGLAUS 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* und Höhenregressionen im Modellsystem *WaSiM-ETH* (SCHULLA 2015) auf ein 50 x 50 m Raster herunterskaliert, um den örtlichen Bezug herzustellen. Für eine bessere Anwendbarkeit in der Praxis wurden die herunterskalierten Berechnungen flächengewichtet auf die Geometrien der Standortkartierung gemittelt. In Summe betragen die terrestrischen Waldstandorte in Sachsen-Anhalt (Datenstand 2021) ungefähr 341.300 ha.

Abbildung 26 zeigt die klimatische Veränderung der Standorte von der rezenten Klimaperiode 1981 bis 2010 auf Basis der aufgezeichneten Daten des DWD (a) im Vergleich zur Klimaperiode 2041 bis 2070 gemäß des Emissionsszenarios RCP8.5 (b). Während in der rezenten Klimaperiode nur wenige Standorte eine SWB von -150 mm und schlechter aufweisen, kehrt sich dieses Bild in der Zukunft nahezu um. Über zwei Drittel der künftigen Standorte liegen hier im Bereich von < -150 mm SWB.

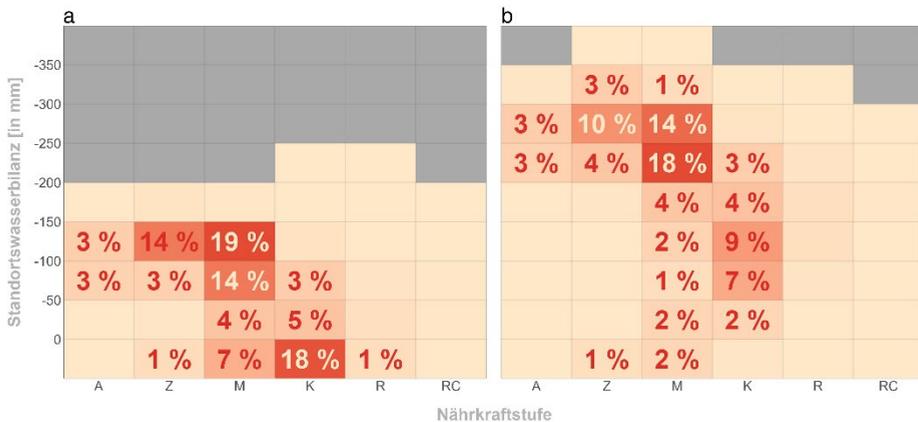


Abbildung 26: Vergleich der Flächenverteilung der terrestrischen Standortkombinationen auf Basis der Nährkraftstufe und der Standortwasserbilanzklasse. Die Verteilung wird für die aufgezeichneten Klimadaten des DWD der Periode 1981 bis 2010 (a) und dem ECHAM6/STARS II-Klimalauf der Periode 2041 bis 2070 (b) dargestellt. Graue Standortkombinationen kommen nicht vor. Kombinationen mit weniger als 1 % Flächenanteil sind nicht beschriftet.

Der Abgleich mit Abbildung 24 zeigt, dass sich unter dem gegebenen Emissionsszenario eine Verschiebung der potenziellen Baumartenwahl für die Planung ergeben wird. Deutlich wird dieser Trend in Tabelle 10 hervorgehoben, welche die Potenzialflächen für die Periode 2041 bis 2070 und deren Differenz zur rezenten Klimaperiode ausgewählter Baumarten darstellt.

Tabelle 10: Brutto- und Nettopotenzialflächen ausgewählter Baumarten auf Basis des RCP8.5-Emissionsszenarios (Klimalauf: ECHAM6/STARS II) und die Differenz der Flächen im Vergleich zu den gemessenen Daten des DWD für die Periode 1981 bis 2010. Die Anteile beziehen sich auf die Summe der terrestrischen Standorte (341 Tsd. ha).

Baumart	Potenzialflächen					
	Fläche [in Tsd. ha]	Brutto		Netto		
		Anteil	Differenz	Fläche [in Tsd. ha]	Anteil	Differenz
Kiefer	328	96 %	+25 %	274	80 %	+21 %
Europ. Lärche	118	35 %	-45 %	138	41 %	-25 %
Jap. Lärche	99	29 %	-50 %	129	38 %	-29 %
Fichte	57	17 %	-45 %	58	17 %	-38 %
Douglasie	328	96 %	-3 %	223	65 %	-2 %
Weißtanne	99	29 %	-50 %	65	19 %	-33 %
Küstentanne	328	96 %	-3 %	202	59 %	-1 %
Stieleiche	256	75 %	-24 %	167	49 %	-38 %
Traubeneiche	330	97 %	-3 %	225	66 %	+3 %
Roteiche	328	96 %	-3 %	202	59 %	-1 %
Buche	57	17 %	-46 %	102	30 %	-36 %
Hainbuche	251	74 %	-1 %	124	36 %	-1 %

Neben den Flächenzuwächsen der Kiefer gibt es auch noch geringere Zuwächse bei der Traubeneiche. Grund hierfür ist die strategische Restriktion beider Baumarten, dass diese bei einer SWB > 0 mm ausgeschlossen sind (s. Kap. 4.3.3). Während viele Standorte unter dem rezenten Klima dieser SWB-Klasse zugeordnet waren, verlagern sich diese im Emissionsszenario RCP8.5 in ungünstigere Klassen.

Bedeutende Rückgänge in der Empfehlung treten bei den weniger trockenstresstoleranten Baumarten auf. Insbesondere die Fichte und die Buche zeigen bei den Nettopotenzialflächen einen großen Rückgang im Vergleich zur rezenten Klimaperiode. Aber auch die Stieleichen-Potenziale gehen deutlich zurück. Dies ist in erster Linie durch den hohen Anteil an ziemlich armen Standorten (s. Abb. 26) begründet.

Die höheren Anteile der Buche bei den Netto- als bei den Bruttopotenzialflächen ergeben sich durch die Berücksichtigung der Empfehlung als Nebenbaumart in den Nettoflächen. Bruttoflächen sind nur die aufsummierten Flächen mit Beteiligung der jeweiligen Baumart als führende oder Mischbaumart. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass auch für die Zukunft bedeutende Buchenanteile durch die Nutzung als Nebenbaumart gesichert werden sollten.

Tabelle 11: *Anteile Nettopotenzialflächen verschiedener Baumarten der einzelnen Wuchsgebiete Sachsen-Anhalts*

Standort- region	Wuchsgebiet	Fläche [in Tsd. ha]	Anteile Nettopotenzialfläche [in %]									
			KI	ELÄ	JLÄ	FI	DGLWTA	SEI	TEI	REI	BU	
Tief- land	11 Mittelbrb. Talsand- und Moränenland	21	90	13	13	0	63	0	30	49	45	5
	13 Altmärkisches Altmoränenland	80	90	25	23	5	63	5	31	62	55	24
	14 Mittleres nordostdt. Altmoränenland	72	89	21	20	0	63	0	31	61	55	12
	15 Dübener Heide	15	90	16	16	0	65	0	30	57	52	1
	16 Hoher Fläming	25	90	21	21	0	63	0	30	64	58	3
Hügel- land	21 Harzvorland (NW)	14	70	66	53	27	68	35	62	79	68	42
	22 Harzvorland (NO)	6	69	54	49	24	66	34	60	72	62	44
	23 Löss-Ebene	1	58	72	58	23	67	36	66	80	67	34
25 Sächs.-Thür. Löss- Hügelland	2	73	70	65	34	70	49	76	80	70	56	
Harz	40	87	64	75	73	49	70	52	84	73	68	62

Für eine strategische Waldbauplanung sind regionalisierte Informationen von besonderer Bedeutung. Um die räumliche Verteilung der Baumarten-Potenziale besser erfassen zu können, zeigt Tabelle 11 die anteiligen Nettopotenzialflächen ausgewählter Baumarten für die einzelnen Wuchsgebiete, die auch in Kapitel 2.2 näher beschrieben sind. Ein Blick auf die weniger trockenstresstoleranten Baumarten Fichte und Buche zeigt einen klaren Trend in Richtung der höher gelegenen Wuchsgebiete des Hügellandes und Mittelgebirges. Während jedoch der Fichte im Tiefland nahezu keine Potenziale mehr prognostiziert werden, gibt es für die Buche durchaus Bereiche, in denen unter Berücksichtigung des hohen Trockenstressrisikos geringe Anteile geplant werden könnten.

Aus Tabelle 11 wird jedoch nicht ersichtlich welche Rolle die einzelnen Baumarten innerhalb der Potenzialflächen spielt. Am Beispiel der oben aufgeführten Buche stellt Abbildung 27 die Verteilung der Klassifizierung kartographisch dar. Im Vergleich zu Abbildung 25 wird noch einmal der prognostizierte Rückgang auf Basis des Trockenstressrisikos deutlich. Insbesondere die bisherigen Feuchteinseln der *Dübener Heide* und des *Hohen Flämings* erleben einen so starken Anstieg des Risikos der Buche, dass diese dort als ausgeschlossen klassifiziert wurde. Lediglich die Rolle einer Nebenbaumart wird die Buche künftig im nordwestlichen Bereich des Tieflandes einnehmen.

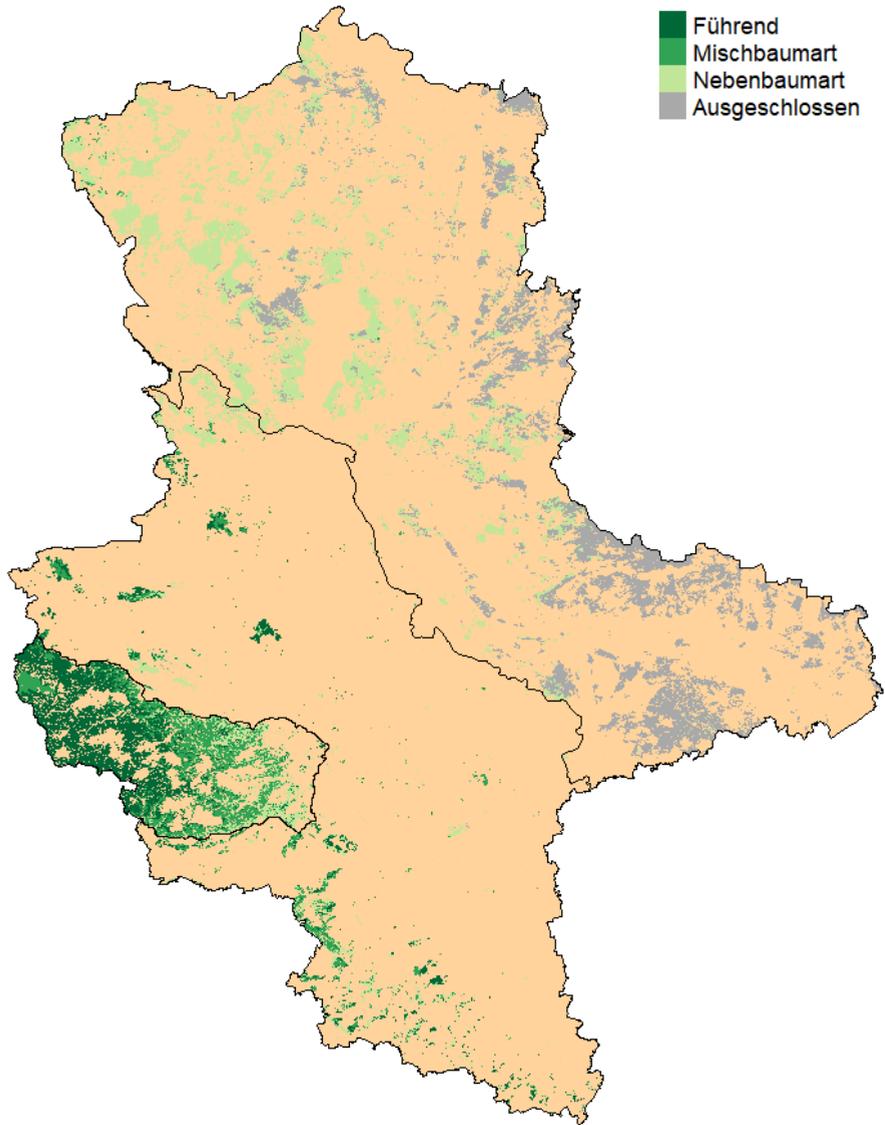


Abbildung 27: Klassifizierung der Buche (BU) für das Emissionszenario RCP8.5 (Klimalanf ECHAM6/STARS II; Klimaperiode: 2041 bis 2070)

5.4 Fazit und Weiterentwicklungsbedarf

Mit dem vorliegenden Forschungsansatz der NW-FVA ist es gelungen eine klimasensitive Grundlage für die Waldbauplanung zu erschaffen. Es ist dabei wenig überraschend, dass sich unter Annahme des RCP8.5-Szenarios die standörtlichen Potenziale von weniger trockenstresstoleranten Baumarten deutlich verschlechtern werden. Trotzdem bleibt bei der Interpretation der Ergebnisse Vorsicht geboten. Bezüglich der Teilbereiche Klima, Boden und der weiteren Datengrundlage gibt es diverse Aspekte, die bisher noch nicht in die klimaangepasste Baumartenempfehlung berücksichtigt wurden und bei denen Weiterentwicklungsbedarf besteht.

Klimaprojektionen bilden einen Zeitraum ab, der relativ weit in die Zukunft reicht und mit Unsicherheiten behaftet ist. Innerhalb der RCP-Szenarien gibt es eine Vielzahl an Simulationen mit unterschiedlichen Klimamodellen. Daraus ergibt sich eine hohe Varianz, die großen Einfluss auf eine klimaangepasste Baumartenempfehlung haben kann. Der aktuelle Stand berücksichtigt ein einzelnes Klimamodell, das für forstliche Planungszwecke regionalisiert wurde. Die weitere modellbedingte Streuung der Projektionen des RCP-Szenarios wird nicht berücksichtigt. Das bedeutet, dass Standorte, die im Grenzbereich der Trockenstresseinordnung der Baumarten liegen, eine abrupte Änderung der Empfehlung haben können. Ebenso können dem Entscheider so keine Informationen zur Robustheit bzw. der Sicherheit der einzelnen Empfehlungen mitgegeben werden. Um den Unsicherheitsaspekt zu berücksichtigen, wurde der Waldbau-Algorithmus *baklama* um einen weiteren Rechenprozess erweitert, der in der Lage ist Klimaensembles (=Auswahl an repräsentativen Klimaläufen innerhalb eines Szenarios) zu berücksichtigen. Näheres hierzu kann in Kapitel 9.1 nachgelesen werden.

Es gilt ebenso zu berücksichtigen, dass die hier verwendete Standortswasserbilanz als Mittelwert für eine Klimaperiode von 30 Jahren berechnet ist. Die Trockenjahre 2018 bis 2022 haben jedoch eindrucksvoll gezeigt, dass insbesondere mehrjährige Abfolgen von Extremjahren eine entscheidende Rolle für den Trockenstress und die darauf beruhenden starken Schäden und die Mortalität an Bäumen haben. Eine Besonderheit solcher Trockenjahre ist die Dauer über mehrere Vegetationsperioden hinweg, sodass der Bodenwasserspeicher zwischen den Jahren in der Regel nicht aufgefüllt wird. Infolge des Klimawandels werden solche Extremereignisse vermutlich vermehrt auftreten (IPCC 2013, SCHÖNTHALER et al. 2015). Um den Forschungsansatz diesbezüglich zu erweitern, sollen innerhalb diverser Projektvorhaben der NW-FVA die Intensität und Dauer von Trockenperioden und Dürren sowie deren mehrjährige Sequenzen anhand von Messdaten des DWD seit Beginn der Beobachtungen im Jahr 1881 bis heute untersucht werden. Für die Einordnung von Trockenperioden und Dürren werden verschiedene bereits in der Praxis angewendete Indikatoren evaluiert. Von besonderen Interesse sind Indikatoren, die die Wirkung von extremen Witterungsperioden auf Vitalitätsveränderungen von Bäumen erklären können. Ein zeitlicher Rahmen zur integrierten Berücksichtigung

dieser Erweiterung für die Empfehlung angepasster BZT im Sinne einer Baumartenempfehlung kann jedoch noch nicht gegeben werden.

Grundsätzlich leitet sich die Baumartenempfehlung neben den klimatischen Einflussfaktoren auch aus weiteren standörtlichen Faktoren ab, deren Grundlage die forstliche Standortkartierung oder die Bodenübersichtskarte des Landes ist. Die Standortkartierung wurde unter der Prämisse eines konstanten Klimas entwickelt und beschreibt dies in Form von Standortstypen. Um die Standortkartierung für eine klimadynamische Baumartenempfehlung nutzbar machen zu können, sind diverse Modellierungsansätze erforderlich. Die darauf beruhenden Schätzungen sind allerdings auch durch Unsicherheiten behaftet. Ebenso hat die Einschätzung der Nährkraft einen großen Einfluss auf die Baumartenempfehlung. Auch hier kann es über die Jahrzehnte hinweg zu Veränderungen der standörtlichen Ausstattung kommen, die beispielsweise durch industrielle Emissionen entstehen können (FÜRST et al. 2009, RIEK et al. 2021). Bei erheblichen Zweifeln einer vorliegenden Einschätzung eines Standortes wäre eine Anlasskartierung das Mittel der Wahl, um die Entscheidungsgrundlagen zu verbessern.

Zu beachten ist weiterhin, dass die Baumartenempfehlung aktuell nur auf Basis der Nährkraft und der Standortwasserbilanz gegeben wird. Für eine Potenzialabschätzung können allerdings – in Abhängigkeit der Zielstellung – noch weitere Indikatoren von wesentlicher Bedeutung sein. Bezüglich des Ausfallrisikos für Baumarten sind hier biotische und abiotische Faktoren zu nennen. Konkret arbeitet die NW-FVA aktuell an einer Einbindung des Sturmschadensrisikos (SCHMIDT et al. 2010). Mittelfristig sollen Käfer- (OVERBECK u. SCHMIDT 2012), Waldbrandrisiko und Überlebenszeitanalysen in den Fokus gesetzt werden.

Für die Einschätzung der Leistungsfähigkeit wird aktuell die Nährkraftstufe und darauf beruhendes Expertenwissen verwendet. Es ist davon auszugehen, dass sich unter den wandelnden klimatischen Bedingungen auch die Leistungsfähigkeit einzelner Baumarten verändern wird. Zur zukünftigen Berücksichtigung dieses Aspekts wurde ein klimasensitives Standort-Leistungsmodell entwickelt. Nähere Informationen hierzu finden sich in Kapitel 10.

Um verschiedene Indikatoren simultan nutzen zu können, ist ein multikriterielles Entscheidungsunterstützungssystem erforderlich. Neben der Weiterentwicklung des Waldbau-Algorithmus *baklava* für Klima-Ensembles (s. Kap. 9.1) wird dies der nächste größere Entwicklungsschritt sein.

Die Baumartenpalette, die aktuell in die Empfehlungen eingeht, beruht auf langjährigen Erfahrungen der Praxis und insbesondere des forstlichen Versuchswesens. Als fremdländische Baumarten gehen nach dem Erfahrungswissen und langjähriger wissenschaftlicher Beobachtung die Baumarten Japanlärche, Douglasie, Küstentanne und Roteiche in die Empfehlungen ein. Um hier weitere Potenziale nutzen zu können, beschäftigt sich die NW-FVA mit der Identifizierung vorhandener Bestände und mit der Neuanlage von Versuchsflächen von alternativen Baumarten

über einen breiten Standortsgradienten. Weitere Informationen hierzu finden sich in Kapitel 11.

Als abschließende Anmerkung sei hier noch erwähnt, dass die vorliegenden Empfehlungen auf Basis des Forschungsansatzes der NW-FVA mit einer Potenzialabschätzung nur einen ersten Schritt einer strategischen Waldbauplanung darstellen. Um auch hier als Entscheidungsunterstützungssystem dienen zu können, muss ein vorgelagertes Zielsystem definiert werden, an dem sich die weiteren strategischen Entscheidungen orientieren können. Darüber hinaus wäre eine Verschneidung mit den Forsteinrichtungsdaten notwendig, um die Verjüngungsplanung auf betrieblicher Ebene weiter konkretisieren zu können. Insbesondere die starke standörtliche Veränderung, die sich durch den Klimawandel ergeben wird, macht ein solches Vorgehen zwingend notwendig.