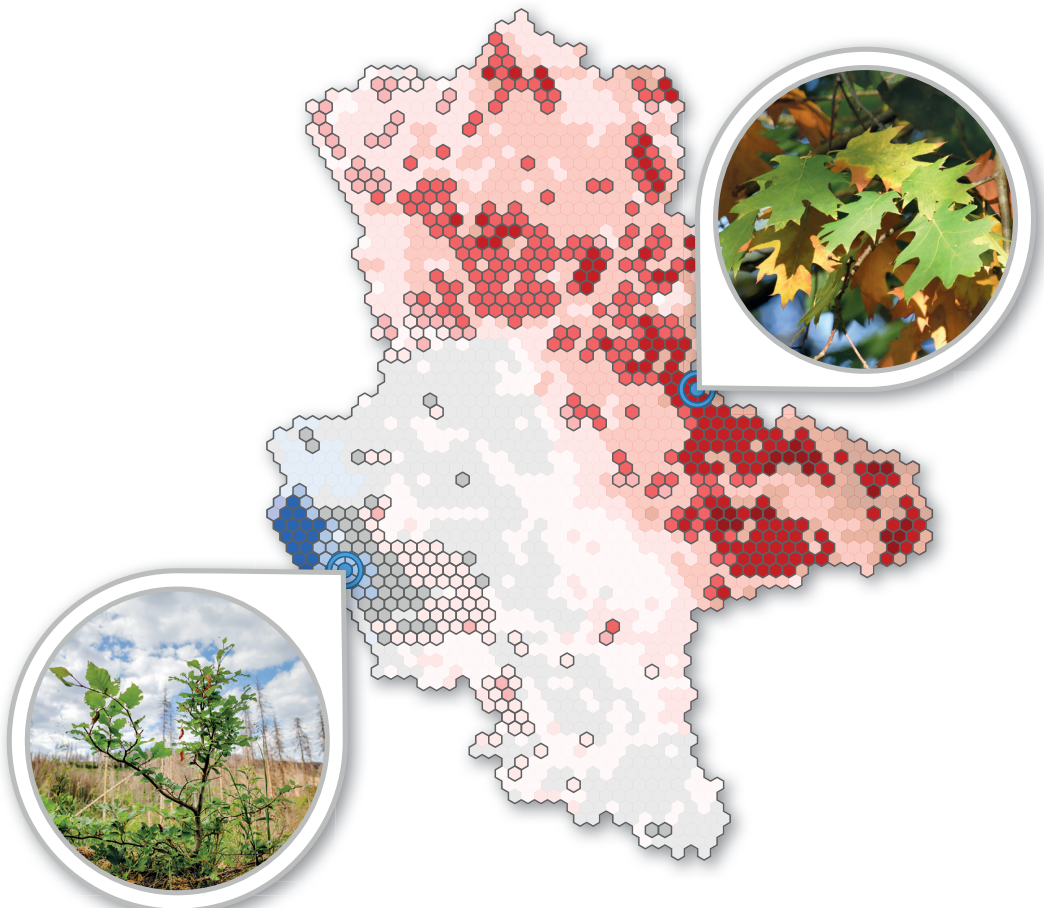


Regionale Waldbauplanung in Sachsen-Anhalt als Beitrag zur
Klimafolgenanpassung und nachhaltigen Sicherung der
Waldfunktion



Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.)
Regionale Waldbauplanung in Sachsen-Anhalt als Beitrag zur
Klimafolgenanpassung und nachhaltigen Sicherung der Waldfunktion

Dieses Werk ist lizenziert unter einer
[Creative Commons
Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen
4.0 International Lizenz](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).



erschieden als Band 21 der Reihe
„Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt“
in den Universitätsdrucken im Universitätsverlag Göttingen 2023

Nordwestdeutsche
Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.)

Regionale Waldbauplanung
in Sachsen-Anhalt als
Beitrag zur
Klimafolgenanpassung und
nachhaltigen Sicherung der
Waldfunktion

Beiträge aus der
Nordwestdeutschen
Forstlichen Versuchsanstalt
Band 21

Universitätsverlag Göttingen
2023

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <https://dnb.dnb.de> abrufbar.

Global Forest Decimal Classification: 624.4:111.83, 226, 228.0, 101, 232.3, 440, 443, 450, 453, 945.28; Sachsen-Anhalt

Herausgeber der Reihe:

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA)

Grätzelstr. 2, D-37079 Göttingen

Tel.: +49 (0)551-69401-0, Fax: +49 (0)551-69401-160

E-Mail: zentrale@nw-fva.de

www.nw-fva.de

Schriftleitung der Reihe: Dr. Thomas Böckmann, Prof. Dr. Carola Paul,
Prof. Dr. Holger Militz

Redaktion der Reihe: Inge Kehr, Ulrike Gaertner

Zitiervorschlag:

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.) 2023: Regionale Waldbauplanung in Sachsen-Anhalt als Beitrag zur Klimafolgenanpassung und nachhaltigen Sicherung der Waldfunktion. Beiträge aus der NW-FVA, Band 21, 211 S.

Dieses Werk ist auch als freie Onlineversion über die Website der NW-FVA, des Verlags sowie über den Göttinger Universitätskatalog (GUK) bei der Niedersächsischen Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen (<https://www.sub.uni-goettingen.de>) zugänglich. Es gelten die Lizenzbestimmungen der Onlineversion.

Lektorat und Satz: Dr. Hans Hamkens

Englische Zusammenfassung: Dr. Hans Hamkens, Dr. Robert Larkin

Titelgrafik: Etta Starick, Dr. Hans Hamkens: Prognostizierte Standortwasserbilanz der Jahre 2041 bis 2070 für Sachsen-Anhalt

Titelfotos: Trutschel/photothek: Buchenverjüngung im Harz (unten links),
Dr. Jan Evers: Roteiche im Herbstlaub (oben rechts)



© 2023 Universitätsverlag Göttingen, Göttingen

<https://univerlag.uni-goettingen.de>

ISBN: 978-3-86395-596-0

DOI: <https://doi.org/10.17875/gup2023-2394>

ISSN: 1865-6994

eISSN: 2512-594X

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
Abstract	3
1 Einleitung	7
(Thomas Böckmann)	
2 Die Forstliche Standortserkundung in Sachsen-Anhalt	11
(Martin Buresch, Jan Evers, Uwe Paar)	
2.1 Methodische Grundlagen der Standortserkundung	11
2.1.1 Allgemeine Einführung	11
2.1.2 Komponenten der Standortform	13
2.1.3 Komponenten der Standortformengruppe	16
2.2 Naturräume und Standortseinheiten	17
2.2.1 Naturräumliche Gliederung	17
2.2.2 Auswertung der Standortseinheiten im Tiefland	24
2.2.3 Auswertung der Standortseinheiten im Hügelland	28
2.2.4 Auswertung der Standortseinheiten im Mittelgebirge	33
3 Klimatische Entwicklung von Sachsen-Anhalt	37
(Johannes Suttmöller, Henning Meesenburg)	
3.1 Begriffserklärungen	37
3.2 Ausgangslage	37
3.3 Zukünftige Entwicklung	41
3.3.1 Methodik und Datengrundlage	41
3.3.2 RCP-Klimaszenarien	43
3.3.3 Entwicklung von Temperatur und Niederschlag	45
4 Grundlagen der klimaangepassten Baumartenempfehlung	47
(Martin Buresch, Jan Evers, Hans Hamkens, Henning Meesenburg, Ralf-Volker Nagel, Uwe Paar, Hermann Spellmann, Johannes Suttmöller)	
4.1 Forschungsansatz	47
4.2 Datengrundlagen	48
4.2.1 Klimatische Wasserbilanz	48
4.2.2 Berechnung der nutzbaren Feldkapazität	50
4.2.3 Standortswasserbilanz	55

4.3	Der Waldbau-Algorithmus <i>baklava</i>	56
4.3.1	Baumartenklassifizierung	56
4.3.2	Empfehlung von Mischbestandstypen	58
4.3.3	Restriktionen	62
5	Waldentwicklung unter Klimawandel	65
	(Hans Hamkens)	
5.1	Einleitung	65
5.2	Ausgangssituation	66
5.3	Baumartenempfehlung auf Basis des RCP8.5-Szenarios	69
5.4	Fazit und Weiterentwicklungsbedarf	74
6	Digitaler Wissenstransfer	77
	(Heidi Döbbeler, Jan Hansen)	
6.1	IT im Wald?	77
6.2	Methoden des digitalen Wissenstransfers	77
6.3	Das Webportal und die mobile App	80
6.3.1	Das Webportal	80
6.3.2	Mobile Apps für Android und iOS	81
6.3.3	Handhabung von Liste und Karte	84
6.4	Anwendung von Webportal und App	88
6.5	Ausblick und Fazit	89
7	Genressourcen und forstliches Vermehrungsgut	91
	(Matthias Paul, Samuel Schleich, Frank Schuffenhauer)	
7.1	Einleitung	91
7.2	Forstsaatgutbestände	93
7.2.1	Forstsaatgutbestände im Revier	97
7.2.2	DKV-Bestände	97
7.3	Samenplantagen	99
7.3.1	Samenplantagen in Sachsen-Anhalt	99
7.3.2	Aufbau von Samenplantagen	100
7.3.3	Bewirtschaftung von Samenplantagen	104
7.3.4	Weitere Entwicklung	106
7.3.5	Evaluierung und Betreuung	107
7.4	Mutterquartiere	108
7.4.1	Schwarz-Pappel-Mutterquartiere	109
7.4.2	Weiden-Mutterquartier	110
7.5	Saatgutlagerung	111
7.6	Resümee	112

8	Waldschutz im Klimawandel	115
	(Martin Rohde, Johanna Bußkamp, Ines Graw, Christof Hein, Rainer Hurling, Gitta Langer, Pavel Plašil, Andreas Rommerskirchen, Sabine Rumpf)	
8.1	Einleitung	115
8.2	Kulturschutz	119
8.2.1	Rüsselkäfer	119
8.2.2	Maikäfer	120
8.2.3	Mäuse	120
8.2.4	Begleitwuchsregulation	126
8.3	Käfer	132
8.3.1	Rindenbrütende Borkenkäfer im Nadelholz	132
8.3.2	Prachtkäfer in Eiche und Kiefer	134
8.3.3	Rüsselkäfer an älterer Kiefer und Tanne	137
8.3.4	Bockkäfer	137
8.3.5	Holzbrüter	138
8.4	Schmetterlinge	140
8.4.1	Nadelfressende Schaderreger an Kiefer	140
8.4.2	Laubfressende Schaderreger an Eiche	146
8.5	Pilze und Komplexkrankheiten	150
8.5.1	Buchen-Vitalitätsschwäche	154
8.5.2	Diplodia-Triebsterben	155
8.5.3	Eschentriebsterben	155
8.5.4	Befall mit Phytophthora-Arten	156
9	Fortschreibung der Klimafolgenforschung	157
	(Hans Hamkens, Johannes Suttmöller)	
9.1	ReKliEs-De-Kernensemble	157
9.2	Anpassung des waldbaulichen Entscheidungsalgorithmus	158
9.3	IPCC-Bericht 2021	161
10	Projektion des Wachstums ausgewählter Baumarten	165
	(Matthias Schmidt, Jan Schick, Thorsten Zeppenfeld)	
10.1	Methodik	165
10.2	Ergebnisse	166
11	Alternative Baumarten – ein Lösungsbeitrag für die Klimaanpassung?	175
	(Stefan Lieven, Franziska Fasse, Ralf-Volker Nagel)	
11.1	Einleitung	175
11.2	Frühere Anbauten fremdländischer Baumarten	176

11.3	Anbauwürdig, ökologisch zuträglich und nicht invasiv	177
11.3.1	Douglasie	177
11.3.2	Große Küstentanne	179
11.3.3	Roteiche	179
11.3.4	Japanlärche	180
11.4	Der Blick nach vorn: Neue Baumarten unter der Lupe	181
	Literatur	187
	Abkürzungen	197
	Danksagung	199
	Autor:innen	201
	Anhang	205

Regionale Waldbauplanung in Sachsen-Anhalt als Beitrag zur Klimafolgenanpassung und nachhaltigen Sicherung der Waldfunktion

Regional forest planning in Saxony-Anhalt as a contribution to climate change adaptation and securing of forest function

Zusammenfassung

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, Risikovorsorge zu betreiben. Die waldbaulichen Handlungsoptionen zur Anpassung der Wälder an den Klimawandel reichen vom standortgemäßen 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 Jahre 2018 bis 2022 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.

Der vorliegende Band 21 aus der Schriftenreihe der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) nimmt diese Ausgangslage zum Anlass, um die aktuellen Erkenntnisse bezüglich der Waldbauplanung im Klimawandel detailliert für das Land Sachsen-Anhalt darzustellen.

Der Forschungsansatz der NW-FVA geht davon aus, dass zunehmender Trockenstress 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 Standortswasserbilanz (SWB). Sie verrechnet den Mittelwert der klimatischen Wasserbilanz in der Vegetationsperiode (KWB) für eine 30-jährige Klimaperiode mit der nutzbaren Feldkapazität des Bodens (nFK) für eine Bezugstiefe von 1 m. Das Entscheidungsmodell zur Klimaanpassung basiert auf dem Emissionsszenario RCP8.5, gerechnet mit dem Globalmodell ECHAM6 und dem statistischen Regionalmodell STARS II für den Zeitraum 2041 bis 2070. Nähere Informationen zu den standörtlichen und klimatischen Grundlagen sowie der Beschreibung des Entscheidungsmodells für die Baumartenwahl sind in den Kapiteln 2 bis 4 beschrieben.

Die Anwendung des Entscheidungsmodells für das RCP8.5-Szenario prognostiziert eine deutliche Veränderung der standortgerechten Baumartenwahl. Das Kapitel 5 gibt diesbezüglich am Beispiel der Rotbuche (*Fagus sylvatica*) einen Einblick in die Waldentwicklung des Landes. Während dieser Baumart unter den klimatischen Bedingungen der rezenten Klimaperiode (1981 bis 2010) zumindest auf den sogenannten *feuchten Inseln* des Tieflands führende Potenziale zugesprochen wurden, werden sich die künftigen Potenzialbereiche weitestgehend auf das Mittelgebirge verlagern.

Ein wichtiger Bestandteil der Baumartenempfehlung ist der digitale Wissenstransfer zur Bereitstellung der Ergebnisse für die forstliche Praxis. Hierfür wurden ein sogenannter REST-Service und ein WMS-Dienst implementiert. Diese ermöglichen die Ergebnisbereitstellung für eine Vielzahl von Anwendungen. Konkret werden von Seiten der NW-FVA ein Web-Portal und zwei Apps für die Smartphone-Betriebssysteme *Android* und *iOS* den Waldbesitzenden zur Verfügung gestellt. Weitere technische Details sind in Kapitel 6 dargestellt.

Für die Waldbauplanung sind auch Aspekte der Genressourcen und des Waldschutzes von wesentlicher Bedeutung. Einen Überblick schaffen diese Bereiche betreffend die Kapitel 7 und 8.

Abschließend wird in den Kapiteln 9 bis 11 ein Ausblick auf künftige bzw. notwendige Weiterentwicklungen für die Entscheidungsunterstützung gegeben. Die wichtigste Weiterentwicklung wird die Berücksichtigung von sogenannten Klima-

ensembles werden. Dies ermöglicht eine adaptive Anpassung des Entscheidungsmodells an den aktuellen Kenntnisstand der Klimafolgenforschung. Gleichzeitig kann die Streuung der Klimasignale eines Emissionsszenarios berücksichtigt und somit ein Indikator für die Klimarobustheit der einzelnen Empfehlung gegeben werden.

Standörtliche Leistungsaspekte sind in Form der Nährkraftstufe aus der Standortserkundung in die aktuelle Entscheidungsunterstützung eingeflossen. Es ist zu erwarten, dass sich die Leistungsfähigkeit von Baumarten im Klimawandel verändern wird. Für die Prognose der Leistung der wichtigsten Baumarten wurde ein klimasensitives Standort-Leistungsmodell entwickelt. In Kapitel 10 werden mit Hilfe dieses Modells beispielhaft Projektionen der absoluten Mittelhöhenbonität und der Leistungsklasse für die Jahre 2000 und 2100 entlang eines Transektes für die Baumarten Eiche, Buche, Kiefer, Fichte und Douglasie dargestellt und verglichen.

Kapitel 11 bietet neben einer Übersicht über frühere Anbauten alternativer Baumarten auch eine Perspektive neuer Versuche, um den Wissensstand zu erweitern. Die aktuellen Ereignisse der Trockenjahre 2018 bis 2022 haben das Interesse an alternativen Baumarten stark steigen lassen. Darunter verstanden werden sollen Baumarten, die bisher keine größere Bedeutung als Haupt- und Mischbaumarten erlangt haben. Nach dem umfangreichen, aber berechtigten Katalog der Anforderungen, der einer wahllosen Vielfalt entgegen steht, haben sich in den nunmehr 140-jährigen Untersuchungen nur Douglasie, Küstentanne und Roteiche als uneingeschränkt anbauwürdig, ökologisch zuträglich und nicht invasiv erwiesen. Daher gehen diese Baumarten bereits in die aktuellen Empfehlungen ein. Für eine Erweiterung der Empfehlungen durch weitere Baumarten wird ein kombiniertes Verfahren skizziert, das in diversen Forschungsprojekten an der NW-FVA umgesetzt wird. Darin werden einerseits vorhandene Bestände durch Abfragen diverser Datenquellen identifiziert und auf Tauglichkeit geprüft und andererseits werden neue Versuchsflächen systematisch angelegt.

Stichworte: Waldbauplanung, Klimawandel, Klimafolgenanpassung, Standortserkundung, Entscheidungsmodelle, Waldschutz, Waldgenressourcen, Alternative Baumarten

Abstract

Climate change poses a particular challenge to sustainable multifunctional forestry with its dependence on site conditions and its long production periods. The extent, spatial and temporal distribution, and speed of climate change are expected to exceed the adaptive capacity of our tree species in many places. Forest enterprises and society in general are therefore well advised to take precautions against this risk. The silvicultural options for adapting forests to climate change range from site-appropriate forest conversion, stabilization of existing forests, to reduction or distribution of risks. Despite uncertainties, the knowledge gained so far allows the

provision of decision support tools for climate adaptation, which are to be integrated into adaptive forest management. These tools will help avoid major planning errors and facilitate knowledge gains.

After the damage of the years 2018 to 2022, the reforestation of the affected areas is currently the focus of interest. The resulting open areas and gaps must be reforested with tree species and provenances that are suitable for both the prevailing and future climate, according to the current state of knowledge. In doing this, economic, ecological and social aspects must be taken into account.

The present volume, number 21 in a series published by the Northwest German Forest Research Institute (NW-FVA), takes this initial situation as an opportunity to present, in detail, the current findings regarding silvicultural planning in climate change for the state of Saxony-Anhalt.

The research approach of the NW-FVA assumes that increasing drought stress leads to reduced productivity and increased susceptibility to further abiotic and biotic stress factors for most central European tree species. The assessment of drought stress risk for forest sites free from groundwater- and soil saturation is based on threshold values of the site water balance (SWB). This offsets the mean value of the climatic water balance in the growing season (CWB), for a 30-year climatic period, with available water capacity (AWC) for a reference depth of 1 m. The decision model for climate adaptation is based on the emission scenario RCP8.5, calculated with the global model ECHAM6 and the statistical regional model STARS II for the period 2041 to 2070. More detailed information on the site and climatic fundamentals, as well as the description of the decision model for tree species selection, are described in chapters 2 to 4.

The application of the decision model for the RCP8.5 scenario predicts a significant change in site-specific tree species selection. In this regard, chapter 5 provides an insight into forest development in the state using the example of beech (*Fagus sylvatica*). Although, under the climatic conditions of the recent climatic period (1981 to 2010) this tree species was considered to have leading potential, at least on the so-called humid islands of the lowlands, the future potential areas will largely shift to the low mountain ranges.

An important component of the tree species recommendation is the digital knowledge transfer, in order to make the results available for forestry practice. For this purpose, a so-called *REST* service and a *WMS* service were implemented. These enable the provision of results for a variety of applications. Specifically, a web portal and two apps for the smartphone operating systems *Android* and *iOS* were made available to forest owners by the NW-FVA. Further technical details are presented in chapter 6.

Aspects of genetic resources and forest protection are also essential for silvicultural planning. Chapters 7 and 8 provide an overview of these areas.

Finally, chapters 9 to 11 give an outlook on future or necessary further developments for decision support. The most important further development will be the consideration of so-called climate ensembles. This allows an adaptive adjustment of the decision model to the current state of knowledge of climate impact research. At the same time, the scattering of the climate signals of an emission scenario can be taken into account and thus an indicator for the climate robustness of the individual recommendation can be given.

Site performance aspects, in the form of nutrient strength levels from the site survey, have been incorporated into the current decision support tool. Tree species performance is expected to change with climate change. With this in mind, a climate-sensitive site performance model was developed to predict the performance of key tree species. Chapter 10 uses this model to present and compare example projections of absolute mean height quality and performance class along a transect for the years 2000 and 2100 for the tree species oak, beech, pine, spruce, and Douglas fir.

Chapter 11 provides a review of previous cultivations of alternative tree species, as well as a perspective of new experiments to expand the body of knowledge. The current events of the dry years 2018 to 2022 have greatly increased the interest in alternative tree species. These are tree species that have not yet gained importance as the main species or an admixed species in mixed stands. According to the extensive, but justified, catalogue of requirements, which stand in the way of indiscriminate diversification, in the 140 years of research only Douglas fir, grand fir and red oak have proven to be unreservedly worthy of cultivation, ecologically beneficial and non-invasive. Therefore, these tree species are already included in the current recommendations. In order to extend the recommendations to include further tree species, a combined procedure is outlined, which is implemented in various research projects at the NW-FVA. Existing stands are identified and tested for suitability by querying various data sources, while new experimental plots are also being systematically established.

Keywords: Silvicultural planning, climate change, climate change adaptation, site survey, decision models, forest protection, forest genetic resources, alternative tree species.

1 Einleitung

Thomas Böckmann

Der Klimawandel verändert unsere Wälder auf vielfältige Weise. Dabei werden negative Auswirkungen auf die Wälder, ihre Ökosystemleistungen und die Forstwirtschaft höchstwahrscheinlich überwiegen. Neben dem Anstieg der Temperatur und Änderung der Niederschlagsverteilung ist es vor allem die Zunahme von Extremereignissen mit ihren Interaktionen, die zu massiven Störungen der Wälder führen werden. Auch in Sachsen-Anhalt sind großflächige Waldschäden infolge der trockenen und heißen Jahre 2018 bis 2022 entstanden. Die enge zeitliche Abfolge dieser Kalamitäten gibt Hinweise, mit welcher Geschwindigkeit diese Veränderungen auch in Deutschland weiter voranschreiten könnten. Es wird erwartet, dass die überraschend hohe Geschwindigkeit des Klimawandels vielerorts die Anpassungsfähigkeit unserer heimischen Baumarten überfordern wird. Daneben treten eine Vielzahl von weiteren Einflussfaktoren auf, die die Wälder zusätzlich belasten und deren Waldentwicklung nachhaltig verändern. In diesem Zusammenhang sind Waldbrände sowie Schäden durch eine Vielzahl von Pilzen und Insekten zu nennen. Auch diese haben in den letzten Jahren aufgrund der Witterungsextreme sowie der Globalisierung der Warenströme massiv zugenommen.

Sämtliche Klimaprojektionen lassen für Deutschland eine deutliche Änderung hinsichtlich Temperatur, Niederschlagsverteilung und Witterungsextremen erwarten. Dabei ist das projizierte Ausmaß des Klimawandels regional sehr unterschiedlich und steigt allgemein mit zunehmender Kontinentalität. Für das Land Sachsen-Anhalt liegen bereits Studien vor, die für ausgewählte Sektoren erste Erkenntnisse zu den Folgen des Klimawandels aufbereitet haben und Handlungsoptionen zur Anpassung aufzeigen (KROPP et al. 2009, SUTMÖLLER et al. 2013). Diese Studien verfolgen methodisch aber eher einen großräumigen Ansatz, um regionale Gefährdungsschwerpunkte und Anpassungsnotwendigkeiten herauszuarbeiten und politische Weichenstellungen vorzubereiten. Nach den Ergebnissen der Studien ist die langfristig operierende Forstwirtschaft in Sachsen-Anhalt, vor allem im südöstlichen Landesteil, in einem besonderen Maße vom Klimawandel betroffen, weil sich die Produktionsgrundlagen, Risiken und Ertragsaussichten schon jetzt wesentlich verändern.

Forstbetriebe und Gesellschaft sind in Anbetracht der prognostizierten Klimaentwicklungen daher gut beraten, Risikovorvorsorge zu betreiben. Eine Anpassung der Wälder an den Klimawandel zur Reduktion der Vulnerabilität und der Risiken scheint alternativlos. Die primären Ziele der Anpassung liegen vornehmlich in der Aufrechterhaltung oder Erhöhung der Resistenz, Resilienz und Anpassungsfähigkeit der Waldökosysteme. Als eine grundsätzlich waldbauliche Handlungsoption für die zukünftige Bewirtschaftung von Wäldern in Deutschland wird mit erster Priorität

eine Stabilisierung der vorhandenen Wälder empfohlen (WBW 2021). Diese beinhaltet die Sicherung einer breiten genetischen Vielfalt der einheimischen Baumarten, die Erhöhung der Einzelbaumstabilität, die Sicherung der Vitalität und eine Verbesserung der Bestandesstrukturen einschließlich der Verringerung der Wasser Konkurrenz auf jetzt schon trockenen Standorten. Langfristig trägt ein standortsgemäßer Waldumbau zu einer Anpassung an die Risiken des zu erwartenden Klimawandels bei. Die Erhöhung des Anteils von Mischbaumarten und die Einbringung von anbauwürdigen, eingeführten und sogenannten Alternativbaumarten sind dabei eingeschlossen. Diesen zukünftigen Herausforderungen muss sich die Waldbewirtschaftung stellen.

Derzeit steht in vielen Landesteilen Sachsen-Anhalts die Wiederbewaldung der immensen Schadflächen an oberster Priorität. Trotz des erheblichen ökonomischen und ökologischen Schadens bieten diese Kalamitäten für die Waldbesitzenden auch die Chance, den Waldumbau in Richtung Klimaanpassung erheblich voranzutreiben. Die entstandenen Freiflächen müssen mit Baumarten und Herkünften wiederbewaldet werden, die nach heutigem Wissensstand geeignet sind, sowohl im aktuellen, als auch im künftigen Klima risikoarm zu erwachsen. Sie sind Teil eines standortgemäßen Waldumbaus, der sich angesichts der Altersklassenverteilung der Wälder in Sachsen-Anhalt noch über Dekaden hinziehen wird. Für die Wiederbewaldung der Freiflächen ist es erforderlich, eine kontinuierliche Verfügbarkeit von geeignetem und herkunftsgesichertem Saat- und Pflanzgut sicherzustellen.

Der Klimawandel führt zu einer Verschiebung von Waldökosystemgrenzen. Teilweise werden Klimate entstehen, die es in Deutschland bisher nicht gab. Allein diese Tatsache erfordert ein grundsätzliches Bekenntnis dafür, neue Baumartenzusammensetzungen unter Beteiligung eingeführter und sogenannter alternativer Baumarten zur Anwendung zu bringen. Ansätze, neben den heimischen Baumarten andere europäische Baumarten verstärkt in den Anbau einzubeziehen, werden in jüngerer Zeit intensiv diskutiert. Damit verbunden wird die Erwartung, dass im mediterranen oder südöstlichen Raum Europas vorkommende und an die dortigen wintermilden sowie sommerheißen Klimate angepasste Baumarten sich im Zuge des Klimawandels auch in Sachsen-Anhalt als stabil und unempfindlich gegen Trockenstress erweisen. Belege dafür, dass nach Deutschland eingeführte, ursprünglich hier nicht heimische europäische Baumarten, den Kriterien der Anbauwürdigkeit und ökologische Zuträglichkeit per se besser gerecht werden, sind jedoch bisher nicht erbracht.

Der Erhalt der Wälder und ihrer vielfältigen Ökosystemleistungen hängt ganz erheblich von ihrem Schutz gegenüber biotischen und abiotischen Risiken ab. Die konkreten Auswirkungen am einzelnen Waldbestand lassen sich i. d. R. aber nur schwierig vorhersagen. Grundsätzlich begünstigen höhere Temperaturen die Entwicklung von Insekten und vielen pilzlichen Schaderregern. Anhaltender Trockenstress schwächt die Vitalität und das Abwehrvermögen der heimischen Baumarten. Die Forstbetriebe müssen sich in der Zukunft aufgrund der Klimafolgen auf eine

Zunahme der abiotischen und biotischen Gefahren einstellen. Den größten positiven Einfluss auf den Waldschutz dürften vorbeugende, waldbauliche Anpassungsmaßnahmen haben, die eine optimale Standortsangepasstheit und Anpassungsfähigkeit der jeweiligen Baumart an die sich ändernden klimatischen Bedingungen berücksichtigen. Es sind allerdings waldbauliche Weichenstellungen erst mittel- bis langfristig wirksame und auch keine absoluten Erfolg versprechenden Maßnahmen. Sofortmaßnahmen werden daher auch zukünftig in einer existenzbedrohenden Situation des Waldes erforderlich sein.

Mit der zu erwartenden Verringerung der Produktivität der Wälder und Verschiebung der Baumartenzusammensetzungen hin zu mehr Laubholz wird langfristig die Versorgung mit dem Rohstoff Holz, insbesondere aus heimischen Wäldern, eine große Herausforderung. Die zu erwartenden Klimaänderungen werden auch die Wuchsleistungen der Baumarten nachhaltig verändern. Höhere Temperaturen bei einem gleichzeitig geringen Wasserangebot lässt das Wachstum geringer ausfallen, auf der anderen Seite kann eine höhere Temperatur bei guter Wasserversorgung (z. B. höheren Lagen des Harzes) das Wachstum der Baumarten fördern. Für eine optimale Baumartenwahl unter Berücksichtigung der Klimaanpassung und der Aufrechterhaltung der Multifunktionalität des Waldes ist somit eine standortssensitive Projektion des Waldwachstums notwendig. Insbesondere für die Erfüllung der Nutzfunktion und damit einer wichtigen Komponente im Klimaschutz sind derartige Abschätzungen eine wichtige Entscheidungshilfe.

Forstbetriebliches Handeln vollzieht sich nicht auf Landschaftsebene, sondern auf der Ebene des einzelnen Waldbestandes. Dort stellt sich im Zeichen des Klimawandels konkret die Frage, wie ein vorhandener Bestand stabilisiert werden kann, wie sich etwaige Risiken verteilen bzw. begrenzen lassen sowie ob und mit welchen Baumarten ein Waldumbau notwendig ist. Für dieses operationale Handeln fehlt den Forstbetrieben bisher eine wissenschaftlich abgesicherte Arbeitsgrundlage, die hoch aufgelöst Klima-, Standorts-, Bestandes- und Risikoinformationen miteinander verknüpft und zu Entscheidungshilfen verdichtet.

An dieser Stelle setzt das Projekt „Überarbeitung der regionalen Waldbauplanung in Sachsen-Anhalt als Beitrag zur Klimafolgenanpassung und nachhaltigen Sicherung der Waldfunktion (FKZ A01/2019)“ an. In einem durch ein hohes Maß an Unsicherheiten geprägten Umfeld war es das Ziel des Projektes, auf der Grundlage der forstlichen Standortskartierung und regionalisierten Klimamodellen hoch aufgelöst Zustände und Wirkungsgefüge zu analysieren, klimatische Entwicklungen für die kommenden Dekaden abzuschätzen und Anpassungsstrategien abzuleiten, die lokale Entscheidungen ermöglichen, um damit dem Waldbewirtschaftenden am Einzelbestand die Optionen für eine klimaangepasste Baumartenwahl anzubieten. Trotz aller weiter bestehenden 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.

Der vorliegende Forschungsansatz ist nur als erster Schritt zur Entscheidungsunterstützung und strategischen Waldbauplanung zu verstehen. Damit ist die Forschung nicht abgeschlossen. Es sind auch weiterhin viele Fragen in den Teilbereichen Boden und Klima sowie Datengrundlagen zu klären und Forschungsansätzen nachzugehen, um die Entscheidungsunterstützung noch weiter auf gesicherte Grundlagen zu stellen. Die Klimaprojektionen werden sich mit hoher Wahrscheinlichkeit im Turnus der periodischen Berichte des Weltklimarates (IPCC) verändern, sodass auch hier eine kontinuierliche Anpassung des vorliegenden Forschungsansatzes der NW-FVA angezeigt ist. Klimafolgenforschung ist in Anbetracht der dynamischen Entwicklungen des Klimas zwangsläufig Daueraufgabe.

2 Die Forstliche Standortserkundung in Sachsen-Anhalt

Martin Buresch, Jan Evers, Uwe Paar

2.1 Methodische Grundlagen der Standortserkundung

2.1.1 Allgemeine Einführung

Die Standortserkundung auf dem Gebiet der ostdeutschen Bundesländer ist seit den frühen 1950er-Jahren entwickelt worden. Die Bewertung der Standorte erfolgte über ein kombiniertes zweistufiges Verfahren, welches die Standortskomplexe Klima, Lage und Boden mit vegetationskundlichen Befunden verknüpfte (AG FORSTEINRICHTUNG 2016). Hieraus resultierten komplexe Flächenabgrenzungen aus abiotischen und biotischen Standortmerkmalen (PETZOLD et al. 2016). In den 1960er-Jahren wurde die Standortkartierung zu einem kombinierten überregionalen einstufigen Verfahren weiterentwickelt. Die einzelne Erfassung der abiotischen Standortseigenschaften wurde priorisiert (PETZOLD et al. 2016) und die benötigten Grundlageninformationen zur Abgrenzung wurden hinsichtlich ihrer Definitions- und Genauigkeitsbereichen objektiviert sowie über bodenkundliche Laboranalysen verifiziert (AG FORSTEINRICHTUNG 2016). Diese Weiterentwicklung ist bis heute die Grundlage des ostdeutschen Standortkartierungsverfahrens.

Neben der großmaßstäbigen forstlichen Standortkartierung im mittleren Maßstab 1:10.000 (topische Ebene) hat sich zudem eine Kartierung im Maßstab 1:100.000 (chorische Ebene) etabliert. Auf der chorischen Ebene werden vielförmige Areale (Standortsmosaik) zusammengefasst, die für großräumige forstliche Entscheidungen in Verbindung mit landnutzungsübergreifenden Anwendungen die Zusammenhänge darstellen. Für die konkreten waldbaulichen Entscheidungen werden hingegen auf der topischen Ebene gleichförmige Areale (Standortsform) erfasst (vgl. KOPP u. SCHWANECKE 1994).

Alle grundlegenden Arbeitsschritte zur Erfassung der Standorts- und Vegetationsformen sowie deren Bewertungen sind in den Standortserkundungsanweisungen (SEA74, VEB FORSTPROJEKTIERUNG POTSDAM 1974) genau beschrieben und festgelegt. Die methodischen und standörtlichen Unterschiede, die sich aus der naturräumlichen Gliederung nach Mittelgebirge/Hügelland und Tiefland ergaben, wurden dabei in speziellen Unterabschnitten geregelt (SCHULZE u. KOOP 2009). Jedoch erfordern insbesondere die klimatischen und geologischen Gegebenheiten des Tieflands, die einen maßgeblichen Einfluss auf die Vegetations- und Standortsform haben, eine Anpassung der SEA74. Die nach der Wiedervereinigung erneuerte

SEA95 stellt eine spezielle Kartieranleitung für die Standortsregion nordostdeutsches Tiefland dar und gilt, genau wie die SEA74, für alle ostdeutschen Bundesländer (SCHULZE u. KOOP 2009).

Eine Besonderheit der ostdeutschen forstlichen Standortserkundung ist die Unterscheidung bei der Standorts- und Vegetationsform nach Stamm- und Zustandseigenschaften. Hierunter werden die schwer und über einen langen Zeitraum (Stamm) respektive die leicht und über einen kurzen Zeitraum (Zustand) veränderbaren Eigenschaften eines Standorts gezählt (s. Tab. 1). Zu den Stammeigenschaften gehören primär bodenmorphologische und -physikalische sowie geomorphologische Eigenschaften (Boden- und Reliefform).

Tabelle 1: Übersicht der Stamm- und Zustandseigenschaften (nach KOPP u. SCHWANECKE (2005), verändert, Pfeile stellen einen Entwicklungstrend dar)

Komponente	Stammeigenschaft	intermediär	Zustandseigenschaft
Vegetation	Stamm- Vegetationsform	→	Zustands- Vegetationsform
<i>Standort</i>	<i>Stamm- Standortsform</i>		<i>Zustands- Standortsform</i>
Klima	Stamm- Klimaform	→	- Zustands- klimaform
	- Makroklima		- Immissionsform
	- Mesoklima		
Boden	Stamm- Bodenform		Humusform
Grund- und Stauwasser	Grund- und Stauwasserform	→	
Relief	Reliefform		

Die mit Pfeilen gekennzeichneten Stammeigenschaften unterliegen aufgrund klimatischer Veränderungen und den Wechselwirkungen der einzelnen Standortskomplexe einer Verschiebung in Richtung intermediäre Standortseigenschaft. Das bedeutet, dass eine Kontinuität über der Zeit nicht mehr gegeben ist und Veränderungen temporär und/oder lokal bereits vorliegen. Allen voran wird dies an den prognostizierten klimatischen Entwicklungen deutlich (s. Kap. 3). Damit einhergehend kann es zukünftig z. B. schwierig werden, den Hydromorphiegrad für Grund- und/oder Stauwasserböden abzuschätzen. Zwar ist die Tendenz, ob ein Standort

potenziell grund- und/oder stauwassergeprägt ist, nur schwer beeinflussbar (geographische Lage, Textur), jedoch können anthropogenbedingt zum einen durch Regulierungsmaßnahmen die Grundwassertiefe, zum anderen aufgrund sich verändernder klimatischer Einflüsse die Intensität und Länge des Stauwassereinflusses verändert werden (KOPP u. SCHWANECKE 1994). Da die Stamm-Vegetationsform aus den Wechselwirkungen aller Stammeigenschaften resultiert (KOPP u. SCHWANECKE 1994) besteht zukünftig aus forstökologischer und naturschutzfachlicher Sicht viel Forschungsbedarf. Beispielsweise wurden von FISCHER et al (2019) geologische, geomorphologische und bodenkundliche Daten mit aktuellen Klimadaten kombiniert und dann modellhaft verschiedene Temperaturszenarien gerechnet. Sie konnten damit nicht nur eine zonale Drift einiger Waldgesellschaften aufzeigen, sondern auch einen hohen Anteil an Standorten feststellen, die außerhalb der bisherigen Rahmenbedingungen liegen und wo die künftige Entwicklung der Waldgesellschaften völlig unklar ist.

Bei den Zustandseigenschaften ist die Humusform eine der bedeutendsten Komponenten. Sie ist ein Indikator für historische (Streunutzung, Waldweide) und rezente (Bestockung, Bestandesbehandlung, Stoffeinträge) Einflüsse (KOPP u. SCHWANECKE 1994). Zustandsbedingte Abweichungen der Feuchte- und Nährkraftstufen im Oberboden werden hierüber erfasst und über den Grad der Disharmonie zum Ausdruck gebracht. Eine schwer ansprechbare, aber auf Leistung, Vitalität und Resilienz wesentlich wirkende Einflussgröße sind die Fremdstoffeinträge. Insbesondere im Bereich der Dübener Heide ist eine deutliche Aufbasung der Böden durch Flugascheeinträge konstatiert wurden, welche überdurchschnittliche Calciumvorräte für unverlehmte Sande hervorbringt. Eine ausführliche Darstellung mit weiterführender Literatur zu Fremdstoffeinträgen in Sachsen-Anhalt kann im Bericht zur zweiten Bodenzustandserhebung im Wald nachgelesen werden (EVERS et al. 2022).

2.1.2 *Komponenten der Standortform*

Die grundlegende Charakterisierung eines Standorts erfolgt im ostdeutschen Kartierverfahren über die Standortform und der daraus abgeleiteten Standortformengruppe (im Folgenden sind hiermit die Stamm-Standortform und die Stamm-Standortformengruppe gemeint). Die Komponenten der Stamm-Standortform und der Stamm-Standortformengruppe (s. Kap. 2.1.3) werden im Folgenden und im speziellen für die forstliche Standortserkundung in Sachsen-Anhalt genauer erläutert. Indes wird aber auf die klassischen Klimakomponenten in beiden Ebenen nicht weiter eingegangen, da sie im Forschungsansatz der NW-FVA durch die Standortswasserbilanz ersetzt werden (s. Kap. 4).

Über die Standortform werden zunächst die standörtlichen Gegebenheiten erfasst (Befundebene). Diese werden über folgende Komponenten beschrieben (s. a.

AG FORSTEINRICHTUNG 2016, KOPP u. SCHWANECKE 1994, SCHULZE u. KOOP 2009, VEB FORSTPROJEKTIERUNG POTSDAM 1974):

- (Makroklimaform)
- Bodenform
- Wasserhaushaltsformen
- Reliefform

Das zentrale Element der Standortsform ist die Bodenform. Die Bildung erfolgt über zwei hierarchische Ebenen, der Haupt- und der Lokalbodenform (Synonym: Feinbodenform). Die Hauptbodenform enthält im Sinne der chorischen Kartierungsebene alle wichtigen Informationen zur landnutzungsübergreifenden Anwendung. Die bodengenetische Differenzierung erfolgt über die Substrat- und Horizontabfolge sowie nach Perstruktions- und Umlagerungsreihen. Unter der Substratabfolge ist die waagerechte Schichtung des Ausgangsmaterials der Bodenbildung zu verstehen. In den Naturräumen Hügelland und Mittelgebirge sind diese oft durch periglaziäre Ver- und Umlagerungsprozesse (Perstruktions- und Umlagerungsreihen) geprägt. Innerhalb dieser geologischen Schichtungen finden bodenbildende Prozesse statt, die zu einer senkrechten Differenzierung physikalischer und/oder chemischer Bodeneigenschaften führen (Horizontabfolge). Zuerst wird der unterschiedliche Einfluss des Grund- und/oder Stauwassers auf die Horizontprofile nach anhydromorphen sowie voll- und halbhydromorphen Mineralböden gegliedert, danach werden weitere Horizontmerkmale herangezogen (s. a. KOPP u. SCHWANECKE 1994). In den Sachdaten der forstlichen Standortskartierung Sachsen-Anhalts ist eine weitere übergeordnete Gliederungsebene der Hauptbodenform enthalten, die sog. Hauptbodenformengruppe. Diese unterscheidet neben den oben genannten Hydromorphieunterschieden weitere Ausprägungen nach organischen (Moore) und anthropogenen (Kippen-/Sonderstandorte) Prägungen sowie nach Komplex- und Lokalstandorten (Auen und Bachtälchen).

Auf der topischen Ebene werden forstlich relevante Unterschiede innerhalb der Hauptbodenform hinsichtlich ihrer bodengenetischen Eigenschaften und/oder anderen vegetationsrelevanten Ausprägungen durch die Ausscheidung von Lokalbodenformen berücksichtigt. Die Lokalbodenform ist damit im weiteren Sinne ein Subtyp der Hauptbodenform, die eine typische örtliche Ausprägung beschreibt. Zur Unterscheidung wurden die Örtlichkeiten, an denen eine Lokalbodenform zuerst beschrieben wurde, vor die Hauptbodenform gestellt und mit einem Bindestrich getrennt (z. B. Nedlitzer-Sandbraunerde). Die Lokalbodenform ist innerhalb der Standortsform die eigentliche Bodenform, auf der forstlichen Standortskarte ist sie in Kürzeln angegeben (z. B. Ne.S, s. a. KOPP u. SCHWANECKE 1994, VEB FORSTPROJEKTIERUNG POTSDAM 1974, SCHWANECKE 1970). Der Vorteil dieses Verfahrens liegt u. a. darin, dass durch die verschiedenen Gliederungsebenen der Bodenform die Informationen zum Ausgangsmaterial der Bodenbildung sehr detailliert erfasst werden. Die mittleren bodenphysikalischen und -chemischen

Ausprägungen sind für alle ausgewiesenen Lokalbodenformen in Merkmalsspiegeln (Idealprofil einer Lokalbodenform) hinterlegt (s. a. Kap. 4.2.2). In vorherigen Projekten an der NW-FVA wurden für Sachsen-Anhalt insgesamt 837 Merkmalspiegel aufbereitet und qualitätsgesichert (SCHMIDT u. HAFNER 2014, AHRENDTS et al. 2016). Es liegen in diesem Datenkontingent sowohl für verschiedene Lokalbodenformen die bodenbetreffenden Informationen vor, als auch teilweise innerhalb einer Lokalbodenform für verschiedene Ausprägungen (differenziert nach Grund-/Stauwasserstufen und Substratunterlagerungen). Die Datengrundlage kann für die Ableitung weiterer bodenhydrologischer Kennwerte verwendet werden (s. Kap. 4.2.2).

Die bodenbetreffenden Informationen werden in Sachsen-Anhalt weiterhin durch die *Oberbodenbeeinflussung*, *Substratunterlagerung* und durch *Doppelstockböden* gekennzeichnet und differenziert (s. a. SCHULZE u. KOOP 2009). Als Oberbodenbeeinflussung wird die nachhaltige Veränderung bodenphysikalischer und -chemischer Eigenschaften bezeichnet. Hierzu zählen u. a. kolluviale Decklagen, Bodenbearbeitung wie Rabattierung aber auch natürliche Überlagerungen (bspw. durch Flugsand). Bei Sandböden sowie Decklehmen und -tonen werden kompakte Schichten (> 40 cm) mit unterschiedlichen Substrateigenschaften zusätzlich als Unterlagerung gekennzeichnet. Hierzu zählen u. a. Unterlagerungen mit Lehm, Ton und Sand, die zusätzlich nach der Tiefe untergliedert werden (zwischen 80 und 160 cm bzw. zwischen 160 und 300 cm, dann als *tief...unterlagert*). Im Tiefland Sachsen-Anhalts können noch untergeordnet sog. Doppelstockböden (begrabene Böden) auftreten. Dies ist dann der Fall, wenn über ein oder mehreren vollständigen Böden (mit erkennbaren Oberbodenhorizont) ein Deckboden von mindestens 20 cm Mächtigkeit liegt und eine pedogenetische Differenzierung aufweist.

Als letzte Komponente der Standortsform werden relief- und bodenbedingte Abweichungen vom Mesoklima angegeben, um Unterschiede hinsichtlich Strahlungsintensität, Frostgefährdung, Windeinfluss und reliefbedingten Wasserhaushalt zu berücksichtigen (s. a. SCHULZE u. KOOP 2009). Im Tiefland treten nur *reliefbedingte Mesoklimaeigenschaften* auf, wobei diese flächig und ökologisch weniger relevant sind. Im Hügelland und Mittelgebirge sind die relief- und bodenbedingten Mesoklimaabweichungen hingegen ein wichtiger Bestandteil der Standortsform. Beschrieben werden diese über reliefbedingte Wasserhaushaltsstufen, die über arabische Ziffern kodiert werden:

- 2 = sehr frisch und mäßig feucht
- 3 = frisch bis sehr frisch
- 4 = frisch
- 5 = mäßig frisch
- 6 = mäßig trocken
- 7 = trocken
- 8 = sehr trocken

- 9 = extrem trocken
- 15 = geschützte frischere Kammlagen-Standorte
- 16 = ungeschützte trockenere Kammlagen-Standorte

Für eine genauere Beschreibung der Reliefform können diese dann noch mit weiteren Expositions- und Reliefangaben kombiniert werden (bspw. Sonn- und Schatt-hänge, Hangneigung, ungeschützte und verhagerte Lagen).

2.1.3 *Komponenten der Standortformengruppe*

Zur differenzierten Steuerung des Waldbaus werden die Komponenten der Standortform zur Standortformengruppe (Bewertungsebene) aggregiert, die sich aus den Komponenten

- (Klimastufe)
- Nährkraftstufe und
- Feuchtestufe

zusammensetzt. Die Nährstoffversorgung der Standorte wird über die Nährkraftstufe beschrieben. Hierbei werden 5 Hauptstufen unterschieden:

- R = reich
- K = kräftig
- M = mittel
- Z = ziemlich arm
- A = arm

Zur besseren Differenzierung der Nährstoffverhältnisse können die Hauptstufen über zusätzliche Kennzeichnungen weiter untergliedert werden:

- C = kalkhaltig
- ° = besonders humusarm
- + = mit reichem Untergrund
- - = mit ärmeren Untergrund

Die Wasserversorgung wird als *Feuchtestufe* bezeichnet und ist abhängig von den Grund- und Stauwasserstufen sowie den reliefbedingten Abweichungen des Mesoklimas und der Wasserhaushaltsstufe (s. a. SCHMIDT et al. 2015, KOPP u. SCHWANECKE 1994). Unterschieden wird hierbei auch nach Höhenstufen sowie organisch und mineralisch geprägten Standorten. Die Feuchtestufe ist (bis auf wenige Ausnahmen) immer eine Kombination aus der Boden-Feuchte-Gruppierung und der Feuchteziffer). Die Boden-Feuchte-Gruppierung beschreibt die bodengene-tisch-bedingten Eigenschaften des Wasserhaushalts. Gekennzeichnet wird diese durch Großbuchstaben, die vor die Feuchteziffer gestellt werden.

Standorte mit den Boden-Feuchte-Gruppierungen *B*, *N*, *O*, *Ü* und *W* (auch *P/N* und *P/O*) werden als hydromorphe Standorte bewertet, da sie stärker von Grund- und/oder Stauwasser geprägt sind. Alle anderen Ausprägungen werden als terrestrische, und damit als Trockenstressrisikorelevante Standorte eingestuft (s. Kap. 4.3.1).

2.2 Naturräume und Standortseinheiten

2.2.1 *Naturräumliche Gliederung*

Die folgenden Auswertungen und Abbildungen wurden mit dem Statistikprogramm R (R CORE TEAM 2021, Version 4.1.0) erstellt. Für die räumlichen Auswertungen und Darstellungen wurden zusätzlich die R-Pakete *sf* (PEBESMA 2018), *tmap* (TENNEKES 2018) und *ggplot2* (WICKHAM 2016) verwendet.

Gemäß der dritten Bundeswaldinventur (BWI3) hat Sachsen-Anhalt eine Waldfläche von 532.481 ha. Der aktuelle Standortskartierungsdatensatz, der für dieses Projekt zur Verfügung gestellt und aufbereitet wurde, deckt eine Waldfläche von 424.728 ha ab, wobei für rund 27.160 ha noch keine Sachdaten vorliegen (nur Geometrien der Standortspolygone vorhanden). Demnach können für die waldbauliche Planung fast 135.000 ha noch nicht berücksichtigt werden.

Sachsen-Anhalt wird durch die drei mitteleuropäischen Naturraumregionen *Tiefland*, *Hügelland* und *Mittelgebirge* streifenartig von Nordwest nach Südost gegliedert (s. Abb. 1a). Die zonale Gliederung reicht von der planaren Stufe (Tiefland) bis zur hochmontanen im Mittelgebirge. Das Tiefland hat den größten Flächenanteil und nimmt mehr als die Hälfte der Landesfläche ein. Auf rund 40 % der Landesfläche verteilt sich das Hügelland. Das Mittelgebirge (Harz) hat mit weniger als 10 % Flächenanteil die geringste Ausdehnung. Der Anteil der Waldfläche ist im Tiefland am größten, gefolgt vom Mittelgebirge, wobei dieses mit Abstand das höchste Bewaldungsprozent aufweist (s. Abb. 1b). Das Hügelland ist hingegen eine sehr walddarme Region, was mit der natürlichen Standortsausstattung und der damit verbunden historischen Entwicklung der landwirtschaftlichen Nutzung zusammenhängt (SCHWANECKE u. KOPP 1994).

Im Folgenden werden die Wuchsgebiete innerhalb der Naturräume Tiefland, Hügelland und Mittelgebirge hinsichtlich Klima, Geologie und Bodenentwicklung beschrieben. Eine ausführlichere Darstellung (auch auf Ebene der Wuchsbezirke) kann bei (SCHWANECKE u. KOPP 1994) nachgelesen werden.

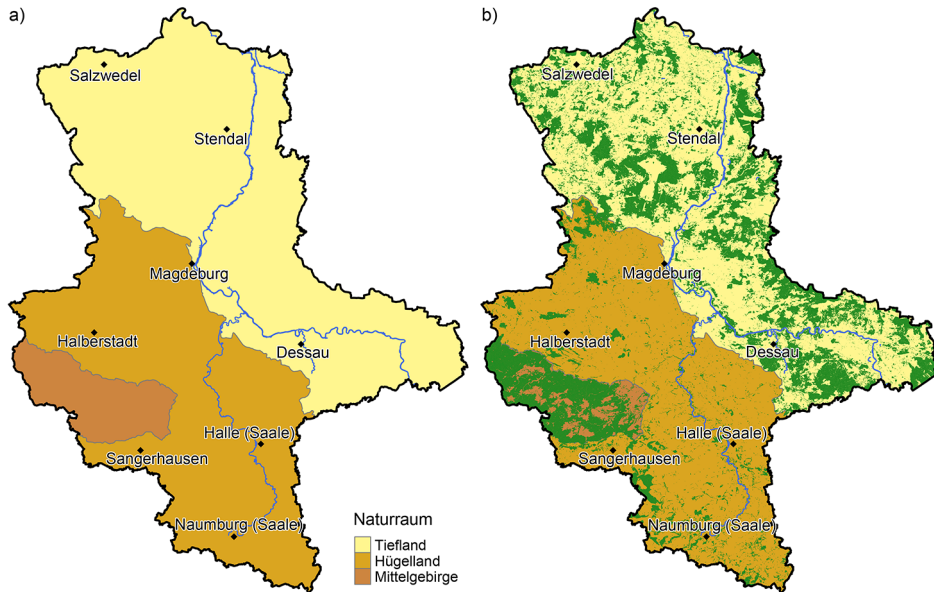


Abbildung 1: Naturraumgliederung Sachsen-Anhalts (a) mit Waldanteil (b, Basis: ATKIS 2018)

Das Tiefland ist geologisch durch die glazialen und fluvioglazialen Ablagerungen der letzten Eiszeiten geprägt. Die pleistozänen Grund- und Endmoränenablagerungen sowie die Sander- und Talsand-Ablagerungen entstammen überwiegend dem Warthe-Stadium der Saale-Eiszeit. Nur im Nordosten des sachsen-anhaltischen Tieflands ist Jungmoränengebiet. Holozäne Ablagerungen sind vorwiegend entlang der Elbe und ihrer Nebenflüsse in breiten Talniederungen zu finden. Die klimatischen Verhältnisse sind durch einen von Nordwest nach Südost abnehmenden ozeanischen Einfluss gekennzeichnet. Insbesondere im Südosten liegt aufgrund der Regenschattenwirkung des Harzes ein verstärkt kontinentales Klima vor. Boden-genetisch treten hauptsächlich Sand-Braunerden bis nährstoffarme Sand-Braunpodsole bis Sand-Podsole auf. Innerhalb der Grundmoränenplatten können auch Lehm- und Tieflehm-Staugleye vorkommen, Sand-Gleye sind oft mit Talsandgebieten vergesellschaftet. Das sachsen-anhaltische Tiefland gliedert sich in die Wuchsgebiete (s. Abb. 2):

- Ostniedersächsisch-Altmärkisches Altmoränenland
- Mittelbrandenburger Talsand- und Moränenland
- Mittleres Nordostdeutsches Altmoränenland
- Hoher Fläming
- Dübener Heide

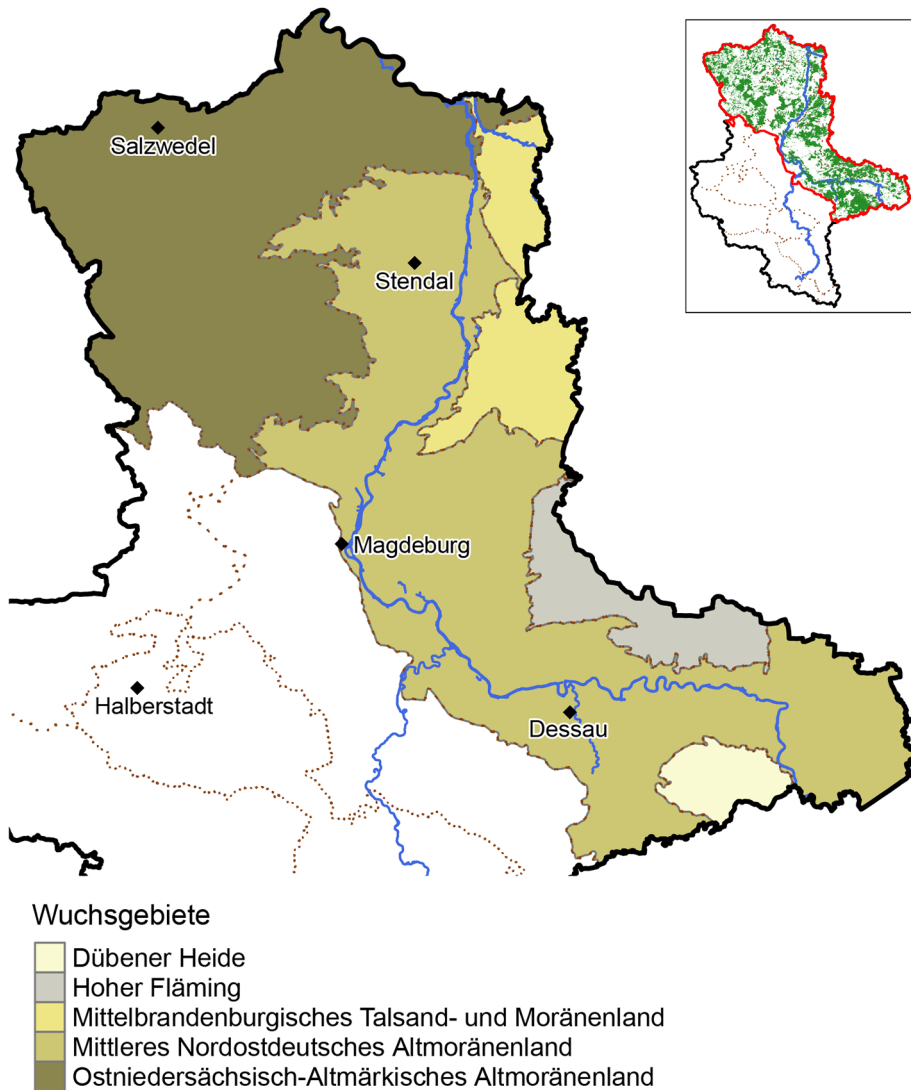


Abbildung 2: Forstliche Wuchsgebiete im sachsen-anhaltischen Tiefland

Das *Ostniedersächsisch-Altmärkische Altmoränenland* nimmt den westlichen bis nord-westlichen Teil der Altmark ein und grenzt im Südwesten an die Hügellandsregion an. Auf den Grund- und Endmoränenplatten sind Sand-Braunerden, z. T. auch verlehmt und mit Stauwassereinfluss, häufig. Sehr arme reine Sandböden treten vor allem im Bereich der Talsande auf. In den Niederungen kommen grundwasserbeeinflusste Sand-Braunerden und Sand-Podsole vor. Holozäne Auenlehmböden treten entlang des Elbtals auf.

Im äußersten Nordosten liegt das Wuchsgebiet *Mittelbrandenburgische Talsand- und Moränenland*. Im Osten grenzt es an das Bundesland Brandenburg, im Norden und Süden wird es durch die Moränenplatten der angrenzenden Wuchsgebiete beschränkt. Geologisch kommen überwiegend Ablagerungen der Weichsel-Eiszeit vor. Damit ist es das einzige Wuchsgebiet in Sachsen-Anhalt, welches stärker durch das Jungpleistozän geprägt ist. In den Talsandgebieten kommen primär grundwasserbeeinflusste, ärmere Sande vor. Untergeordnet bildeten sich auf den Sandern und Moränenplatten auch Sand-Braunpodsole bzw. schwach verlehmt Sand-Braunerden aus.

Das mosaikreichste Wuchsgebiet ist das *Mittlere Nordostdeutsche Altmoränenland*, welches sich streifen- und bogenartig fast durch das gesamte Tiefland in Sachsen-Anhalt erstreckt. Es treten neben den altpleistozänen Grund-, Endmoränen- und Sanderablagerungen auch holozäne Ablagerungen entlang der Flussläufe auf. Beidseitig der Elbauenlehme haben sich auch Niederterrassenablagerungen der Weichselkaltzeit erhalten. Im Bereich Bitterfeld liegen unter den pleistozänen Decksedimenten braunkohleführende Schichten aus dem Tertiär. Die Folgen der Förderung prägen noch heute das Landschaftsbild in diesem Gebiet. Entsprechend der geologischen Vielseitigkeit können auch viele Bodenbildungen vorgefunden werden. Neben den ärmeren, z. T. schwach verlehmt Sand-Braunerden und Sand-Podsolen kommen auch besser verlehmt Braunerden bis Lehm-Braunerden auf den Moränenplatten vor. Grundwasserbeeinflusste Sand-Braunerden sind häufig mit Talsanden vergesellschaftet, diese werden in den Niederungen oft noch durch Moorbildungen überprägt. Im Bereich der Flussauen treten kräftige bis reiche lehmig-tonige Auenböden auf.

Eines der höchsten Wuchsgebiete ist der *Hohe Fläming*, welcher die benachbarten Wuchsgebiete mit einer Durchschnittshöhe von rund 150 m deutlich überragt. Der Hohe Fläming wird hauptsächlich durch die warthezeitliche Endmoräne der Saale-Kaltzeit geprägt, wobei weiter südlich auch Endmoränen älterer Stadien der Saale-Kaltzeit auftreten können. Die Bodenbildung beschränkt sich auf ärmere Sand-Braunerden, Sand-Braunpodsole bis -Podsolen, untergeordnet können auch lehmige Böden auf den Moränen vorkommen.

Die *Dübener Heide* ist geologisch stark von der Schmiedeberge Stauchendmoräne geprägt, die nach Nordosten fast die Hälfte des Wuchsgebietes einnimmt. Lokal können tertiäre Ablagerungen wie durchgestauchte Tone oder Braunkohleflöze oberflächennah anstehen. Weiter nach Südwesten dominieren Grundmoränenreste und fluvioglaziale Sande. Bei der Bodenbildung kommen z. T. kleinstflächige Wechsel zwischen hydromorphen und terrestrischen Böden aus Sand, Lehm und Ton vor.

Der Naturraum *Hügelland* grenzt sich geologisch deutlich vom Tiefland ab. Im Untergrund treten mesozoische Bildungen der Trias, untergeordnet auch jüngere Ablagerungen der Jura- und Kreidezeit auf. Oberflächlich ist fast das gesamte Hügelland von periglaziären Lössüberlagerungen überprägt. Klimatisch ist das Hügelland

von Nord nach Süd sowie West nach Ost zwischen ozeanischen und kontinentalen Einflüssen geprägt. Im Südosten wird der kontinentale Klimacharakter durch die Regenschattenwirkung des Harzes verstärkt. Aufgrund der Lössüberdeckungen und des stärker kontinentalgeprägten Klimas treten häufig Decklöss- und Löss-Fahlerden, -Braunfahlerden und -Schwarzerden auf. Je nach Mächtigkeit der periglaziären Prägung und des Anstehenden können auch Gestein-Braunerden, Sandsteinpodsole oder auch Rendzinen vorkommen. Untergliedert wird das Hügelland in folgende Wuchsgebiete (s. Abb. 3):

- Nordwestliches Harzvorland
- Nordöstliche Harzvorländer
- Sachsen-Anhaltische Löss-Ebene
- Sächsisch-Thüringisches Löss-Hügelland
- Leipziger Sandlöss-Ebene
- Nördliche und südliche Randplatten des Thüringer Beckens
- Inneres Thüringer Becken

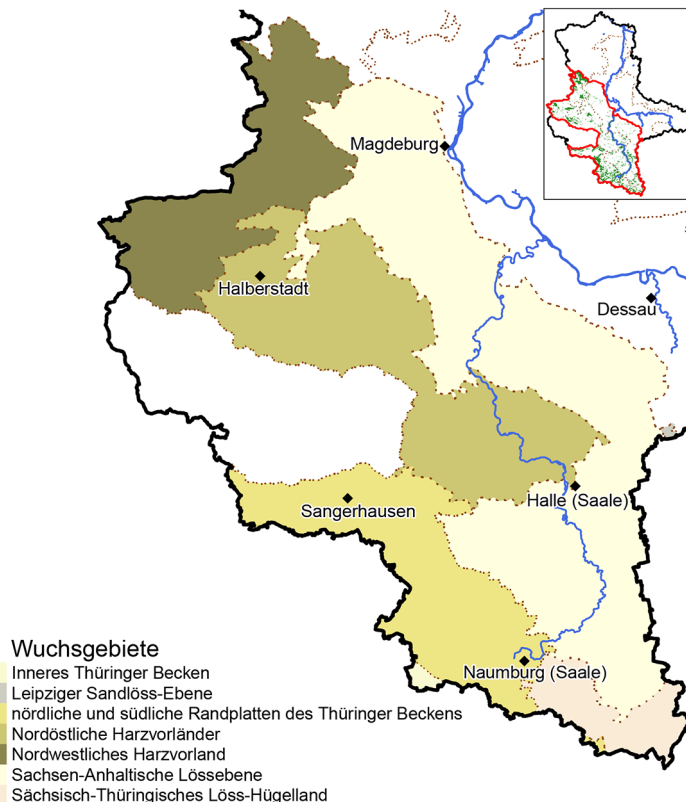


Abbildung 3: Forstliche Wuchsgebiete im sachsen-anhaltischen Hügelland

Das *Nordwestliche Harzvorland* ist durch seine westliche Lage stärker ozeanisch geprägt als die nach Osten angrenzenden Wuchsgebiete. Geomorphologisch bilden der Harz im Süden und der Flechtinger Höhenzug im Norden eine deutliche Grenze. Geologisch sind die mesozoischen Ablagerungen der herzynischen Schollen für beide Harzvorländer (auch die nordöstlichen Harzvorländer) prägend. Neben den Bildungen der Trias, Jura und Kreide treten auch ältere Ablagerungen des Paläozoikums auf. Die Bodenbildung ist in Abhängigkeit von dem geologischen Untergrund sowie den periglaziären Über- und Umlagerungsprozessen sehr vielseitig. Es treten meist kräftige bis reichere Braun- bis Fahlerden auf, wobei nach Norden durch Relikte der pleistozänen Sandeinlagerung auch etwas schwächere Böden vorkommen können.

Die *Nordöstlichen Harzvorländer* grenzen sich zu dem Nordwestlichen Harzvorland durch stärkere Lössprägung sowie den stärkeren kontinental geprägten Klimaeinfluss ab. Die Abgrenzung zur sachsen-anhaltischen Löss-Ebene erfolgt aufgrund der geschlossenen Schwarzerdeverbreitung. Da hier ebenfalls die mesozoischen Ablagerungen der herzynischen Schollen geologisch dominant sind, gibt es entsprechend ähnliche Bodenbildungen wie im Nordwestlichen Harzvorland – mit dem Unterschied, dass nach Osten der Anteil an Schwarzerden zunimmt.

Als ein bedeutender Teil des mitteleuropäischen Lössgürtels erstreckt sich in einen von Nordwest nach Südost verlaufenden Streifen die *Sachsen-Anhaltische Löss-Ebene* durch das gesamte Bundesland. Typisch ist das stark kontinental trockenwarm geprägte Klima, welches ein geschlossenes Vorkommen von Löss-Schwarzerden ermöglicht. Diese ertragsreichen Böden sind daher von landwirtschaftlicher Nutzung dominiert, Waldstandorte kommen nur sehr kleinflächig vor. Diese beschränken sich dann meist auf die weniger ertragreichen Sandlöss-Schwarzerden, Braun- und Fahlerden sowie die stärker hydromorph geprägten Böden der Auen und Niederungen.

Das Wuchsgebiet *Sächsisch-Thüringisches Löss-Hügelland* liegt im äußersten Südosten Sachsen-Anhalts und erstreckt sich vom Altenburger Land (Thüringen) über einen schmalen Streifen über die Weiße Elster bis an die Saale. Es unterscheidet sich vom nördlich angrenzenden Wuchsgebiet Sachsen-Anhaltische Löss-Ebene insbesondere durch deutlich höhere Niederschläge und damit bodengenetisch durch das Auftreten brauner Löss-Böden im Gegensatz zu den Löss-Schwarzerden. Geologisch liegen meist über 1 Meter mächtige entkalkte Löss-Decken über verschiedenen Ausgangsgesteinen.

Als eines der kleinsten Wuchsgebiete in Sachsen-Anhalt gilt die *Leipziger Sandlöss-Ebene*, die ihr Verbreitungsschwerpunkt in Sachsen hat und nur westlich von Bitterfeld mit einem kleinen Anteil über die Landesgrenze ragt. Geologisch herrschen im Untergrund tertiäre Ablagerungen inklusive mächtigen Braunkohlevorkommen vor. Überzogen werden diese von einer dünnen Sandlöss-Decke. Die Gegend ist nahezu waldfrei.

Die *nördlichen und südlichen Randplatten des Thüringer Beckens* greifen von Süden nach Norden von Thüringen nach Sachsen-Anhalt über. Klimatisch handelt es sich um ein sehr heterogenes Wuchsgebiet, was sehr trockene Bereiche durch die Lee-Wirkung des Harzes und des Kyffhäusers aufweist – andererseits auch durch Stauer-scheinungen an einzelnen Schollen reliefklimatisch alle Klimastufen des Hügellands beinhaltet. Die geologischen Ablagerungen sind sehr vielfältig. Es treten mesozoische (Muschelkalk, Buntsandstein), aber auch paläozoische (Oberkarbon, Rotliegendes, Zechstein) Gesteine sowie holozäne Ablagerungen auf. Das Spektrum der Bodenbildung ist dementsprechend mannigfaltig und hängt stark vom Untergrund ab. Es kommen Kalkstein-Rendzinen, Sandstein-Braunerden bis Ton-Braunerden im Wechsel mit -Staugleyen sowie Auenlehm-Böden vor.

Das *Innere Thüringer Becken* wird im geologischen Sinne als Trias-Mulde zwischen dem Harz und dem Thüringer Wald bezeichnet. Im Zentrum steht der anstehende Keuper, die Muschelkalk- und Buntsandstein-Schichten streichen ringförmig nach außen aus. Klimatisch sind schwach bis mäßig kontinentale trocken warme Bedingungen vorherrschend. Je nach Löss-Überprägung können Löss-Fahlerden sowie Lehm- bis Ton-Braunerden, z. T. auch Schwarzerden vorkommen.

Das sachsen-anhaltische *Mittelgebirge* ist hinsichtlich seiner klimatischen, geomorphologischen und geologischen Bedingungen deutlich vom umliegenden Hügelland abgrenzbar. Es besteht aus den Wuchsgebieten:

- Harz
- Kyffhäusergebirge

Der *Harz* ist das nördlichste Mittelgebirge Deutschlands und gilt als das übertageliegende Zeugnis der *Varistischen Gebirgsbildung* Mitteleuropas. Das Gebirge wurde in seiner Entstehung vom Silur bis in die Kreidezeit mehrfach aufgefaltet und abgetragen, wobei in mehreren Zyklen vulkanische Gesteine intrudierten. Die heutzutage auf der permischen Rumpffläche varistisch streichenden silurischen, devonischen und karbonischen Tonschiefer mit eingelagerten Granit, Diabas, Grauwacken und Kieselschiefern bilden die prägenden Gesteine. Besonderheiten aus dem Devon wie Massenkalk, Keratophyr und Schalstein mit den damit verbundenen Eisenerz- und Schwefelkiesvorkommen machten den Harz historisch zu einem wichtigen Bergbauegebiet. Die klimatischen Verhältnisse sind aufgrund der breiten Ostabdachung sowie der vertikalen und geomorphologischen Gliederung sehr differenziert. Für die Bodenbildung sind neben den verschiedenen Ausgangsgesteinen vor allem die periglaziären Umlagerungszonen von Bedeutung. Je nach Reliefform treten mittlere bis kräftige Gesteins-Braunerden sowie Humus- bis Staugleye auf. In exponierten Lagen auch Braunpodsole und Podsole bis hin zu rankerähnlichen Steinschutt- und Felsbildungen. Insbesondere in den kühlfeuchten Kammlagen können auch Hoch- und Quellmoore auftreten. Decklöss-Fahlerden treten vermehrt im östlichen Unterharz auf.

Der sachsen-anhaltische Anteil am Wuchsgebiet *Kyffhäuser* ist verschwindend gering und betrifft nur den schmalen nördlichen Hangfuß, fast das gesamte Wuchsgebiet liegt in Thüringen. Im Norden stehen kristalline Gesteine, Gneise und Granite an, die nach Süden hin in großflächige Sandsteine des Oberkarbons und des Rotliegenden sowie Konglomerate und Schiefertone austreichen. Es herrscht ein vorwiegend mäßig trockenes Klima, welches im Nordbereich feuchter wird. Bodengenetisch vorherrschend sind mittlere bis kräftige lössbeeinflusste Gesteins-Braunerden.

2.2.2 Auswertung der Standortseinheiten im Tiefland

Die kartierte und digitalisierte Fläche im sachsen-anhaltischen Tiefland beträgt gut 248.000 ha, die hinsichtlich der Bodenform mit insgesamt 477 eindeutigen Lokalbodenformen beschrieben wurden. Die absoluten Flächenanteile der aufsummierten Lokalbodenform-Polygone schwanken allerdings sehr stark zwischen fast 74.500 ha und gerade mal 0,1 ha. Mit den zehn häufigsten Lokalbodenformen können bereits 60 % der kartierten Fläche im Tiefland abgedeckt werden (s. Tab. 2).

Tabelle 2: Flächenanteile der 10 häufigsten Lokalbodenformen im Tiefland (LBF = Kürzel der Lokalbodenform, Lokalbodenform = Name der Lokalbodenform, FA = absoluter Flächenanteil [ha], FR = relativer Flächenanteil [%], FK = kumulativer Flächenanteil [%])

LBF	Lokalbodenform	FA [ha]	FR [%]	FK [%]
NeS	Nedlitzer Sand-Braunerde	74.464	29,75	29,75
BäS	Bärenthorener Sand-Braunerde	32.715	13,07	42,82
ZaS	Zahnaer Sand-Braunerde	9.486	3,79	46,61
DoS	Dobritzer Bändersand-Braunerde	8.059	3,22	49,83
KdS	Kersdorfer Sand-Ranker	5.518	2,20	52,03
MüS	Mützlitzer Sand-Saumpodsol	5.243	2,10	54,13
HdSB	Hennigsdorfer Sand-Gleybraunerde	4.587	1,83	55,96
OmS	Ottmannsdorfer Bändersand-Braunerde	3.603	1,44	57,40
LhSU	Lindhorster Sand-Graugley	3.383	1,35	58,75
MuSB	Mullberger Sand-Gleybraunerde	3.204	1,28	60,03

Die Nedlitzer Sand-Braunerde (NeS) ist die mit Abstand häufigste Lokalbodenform, sie wurde auf ca. 30 % der kartierten Fläche ausgewiesen. Auch die Bärenthorener Sand-Braunerde (BäS) weist noch einen verhältnismäßig hohen Flächenanteil mit gut 32.700 ha auf. Ab der Zahnaer Sand-Braunerde schwinden die absoluten Flächenanteile bereits deutlich unter 10.000 ha. Die Dominanz der Sand-Braunerden, Sand-Ranker und Sand-Gleybraunerden innerhalb der kartierten Standortformen verdeutlicht auch die geologische Charakteristik des sachsen-anhaltischen Tieflands.

Von der kartierten Fläche wurden etwa 80.000 ha als mehr oder weniger stark grundwasserbeeinflusst beschrieben, wobei *schwach grundwasserbeeinflusste* (66) Standorte mit gut 23.000 ha am häufigsten ausgewiesen wurden, gefolgt von *langzeitig grundwasserbeherrschten* Standorten (56) auf etwa 20.000 ha. Auf rund 12.700 ha wurden noch *langzeitig grundwassernabe* Standorte (34) angesprochen. Insgesamt wurden 60 verschiedene Grundwasserstufen kartiert, die aber wie bei den Lokalbodenformen z. T. nur marginale Flächenanteile aufweisen. Bei den Stauwasserstufen sind nur 29 verschiedene Stufen kartiert worden, auch der Flächenanteil beträgt hier nur gut 16.400 ha, was damit zu erklären ist, dass diese nur auf den lehmigen Geschiebeplatten vorkommen können. Auf etwa der Hälfte der stauwasserbeeinflussten Fläche (ca. 8.200 ha) liegen *kurzzeitig* (44) bzw. *halbzeitig* (43) *stauwassernabe* Standorte vor. Die restliche Fläche entfällt weitgehend auf die Stauwasserstufen *kurzzeitig mäßig* (38), *kurzzeitig stark* (37), *halbzeitig* (36) und *langzeitig* (35) *stauwasserbeherrscht*, alle übrigen Stufen besitzen nur untergeordnete Flächenanteile.

Einen vergleichsweise hohen Anteil weisen die kartierten Oberbodenverhältnisse mit mehr als 23.000 ha auf. Zwei Drittel der Fläche ist durch *Ackerhochbeete nachhaltig verändert*. Darüber hinaus wurde die Bodenform auf rund 6.500 ha durch *Substratunterlagerungen* differenziert, wobei hiervon fast 6.100 ha auf lehm- bzw. tieflehmunterlagert fallen. Weitere Substratunterlagerungen kommen zwar vor, haben aber flächig kaum Bedeutung. Die reliefbedingten Mesoklimaeigenschaften kommen auch nur auf etwa 3.600 ha vor, nennenswerte Anteile besitzen aber nur die Ausprägungen *relieftrockener* (tr) mit rund 1.700 ha sowie *relieffrischer* (fr) mit knapp 1.300 ha.

Nur im Tiefland kommen zusätzlich noch *Wechselkartierungen* vor. Diese werden dann ausgewiesen, wenn sich Standortformen und/oder Standortformengruppen innerhalb eines Polygons auf kleinster Fläche ändern, aber maßstabsbedingt nicht dargestellt werden können. Von den rund 248.000 ha kartiertem Tiefland weisen fast 35.500 ha zwei bzw. gut 3.000 ha sogar drei wechselnde Standortformen auf. Allerdings unterscheiden diese sich auf der Bewertungsebene nicht bzw. flächig nur untergeordnet. Von den etwa 38.000 ha mit wechselnden Standortformen sind lediglich rund 1.500 ha mit relevanten Unterschieden für die waldbauliche Planung zu verzeichnen.

Hinsichtlich der *Feuchtestufe* wurden 25 verschiedene Ausprägungen kartiert, wobei auf 85 % der kartierten Fläche *unvernässte frische* (T1) und *mittelfrische* (T2) Standorte dominieren (s. Abb. 4). Den weitaus größten Anteil nehmen hierbei die

T2-Standorte mit fast 188.000 ha ein, was in etwa drei Viertel der kartierten Fläche entspricht. Gut 23.000 ha entfallen auf T1-Standorte, die dann oft noch schwach grundwasserbeeinflusst sind und/oder eine frischere Mesoklimaeigenschaft aufweisen.

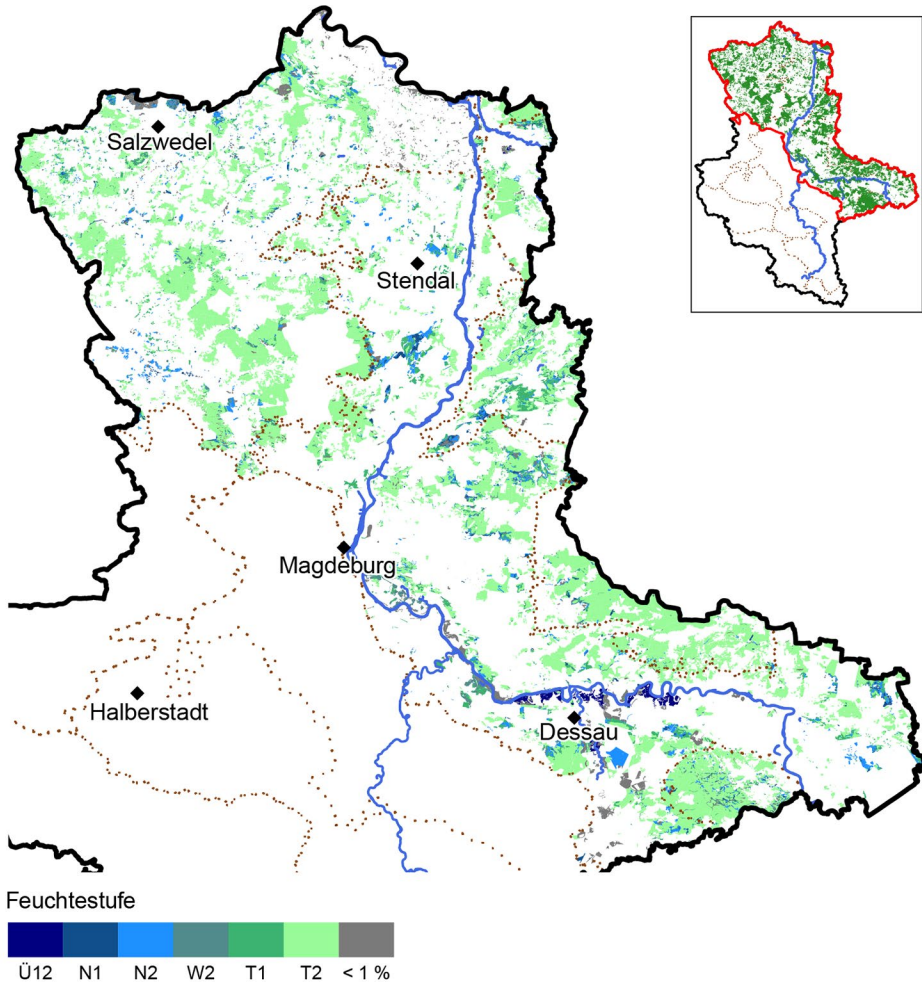


Abbildung 4: Karte der kartierten Feuchtestufen im sachsen-anhaltischen Tiefland (Ü12 = frische, stark überflutungsanfällige Auenstandorte, N1 = nasse mineralische Standorte, N2 = feuchte mineralische Standorte, W2 = wechselfrische Standorte, T1 = unvernässte frischere Standorte, T2 = unvernässte mittelfrische Standorte, < 1 % = alle anderen Feuchtestufen mit einem jeweiligen Flächenanteil von < 1 %)

Auf gut 13.700 ha (5,5 %) kommen *feuchte mineralische Nassstandorte* (N2) vor, die schwerpunktmäßig im Wuchsgebiet *Mittleres Nordostdeutsches Altmoränenland* kartiert wurden und hier oft in der Nähe größerer Flüsse wie der Elbe, Elster oder Tanger

liegen. Mit den in Abbildung 4 dargestellten Feuchtestufen können bereits fast 95 % der Fläche beschrieben werden, wobei *nasse mineralische Nassstandorte* (N1) sowie *wechselfrische Standorte* (W2) und *frische, stark überflutungsanfällige Standorte* (Ü12) bereits untergeordnete Flächenanteile von unter 5.000 ha (knapp über 1 %) aufweisen. Ü12-Standorte kommen nur westlich und östlich von Dessau entlang der Elbe vor.

Bei den vergebenen Nährkraftstufen sind die *mittleren* Nährstoffverhältnisse (M) mit fast 122.300 ha (knapp 50 %) flächig vorherrschend (s. Abb. 5). Etwa ein Viertel der kartierten Standorte wurden als *ziemlich arm* (Z) bewertet. *Kräftige* Nährstoffverhältnisse sind immerhin noch auf gut 25.500 ha (rund 10 %) der Fläche ausgewiesen worden. Der Schwerpunkt der *reichen* Standorte (R) liegt im Bereich der Flussauen von Mulde und Elbe. Standorte mit armen Nährstoffverhältnissen (A) wurden zum Großteil im *Ostniedersächsisch-Altmarkischen Altmoränenland* und dem *Mittelbrandenburgischen Talsand- und Moränenland* kartiert. Die differenzierten Nährkraftstufen besitzen alle außer M+ (mittlere Nährstoffversorgung mit reicheren Untergrund) keine nennenswerten Flächenanteile (< 1 %) im Tiefland.

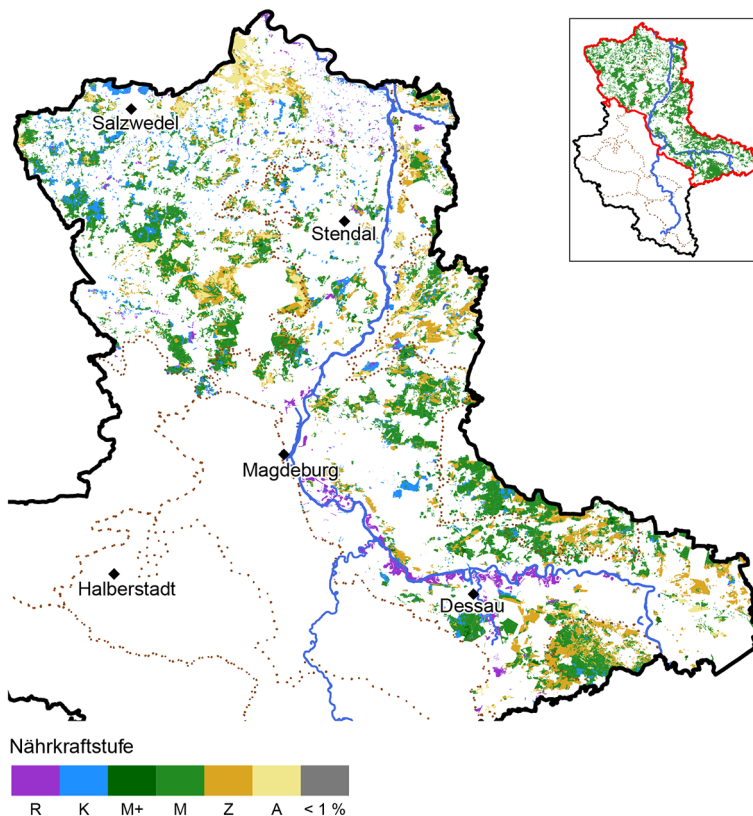


Abbildung 5: Karte der kartierten Nährkraftstufen im sachsen-anhaltischen Tiefland (R = reich, K = kräftig, M+ = mittel mit reicheren Untergrund, M = mittel, Z = ziemlich arm, A = arm, < 1 % alle anderen Nährkraftstufen mit einem jeweiligen Flächenanteil von < 1 %)

2.2.3 Auswertung der Standortseinheiten im Hügelland

Der Naturraum Hügelland weist aufgrund der landwirtschaftlichen Nutzung mit knapp 52.000 ha die geringste forstlich kartierte Fläche auf. Allerdings ist er mit mehr als 500 ausgewiesenen Lokalbodenformen auch gleichzeitig der heterogenste in Hinblick auf die Bodenform. Im Vergleich zum Tiefland werden zur Beschreibung der Bodenform auf 60 % der Fläche bereits 59 Lokalbodenformen benötigt. Die standörtliche Heterogenität wird auch dadurch bestätigt, dass zur Beschreibung der Bodenform auf 85 % der Fläche bereits das 3-fache an Lokalbodenformen notwendig ist. Tabelle 3 zeigt einen Auszug der kartierten Lokalbodenformen mit einem relativen Anteil von jeweils mehr als 1 %.

Tabelle 3: Flächenanteile der 16 häufigsten Lokalbodenformen im Hügelland (LBF = Kürzel der Lokalbodenform, Lokalbodenform = Name der Lokalbodenform, FA = absoluter Flächenanteil [ha], FR = relativer Flächenanteil [%], FK = kumulativer Flächenanteil [%])

LBF	Lokalbodenform	FA [ha]	FR [%]	FK [%]
Br.IS	Brückener Lehmsandstein-Braunerde	3.166	5,99	5,99
We.LL	Webicht-Löss-Fahlerde	2.254	4,26	10,25
Tu.LL	Tauhardter Löss-Braunfahlerde	2.070	3,91	14,16
Lo.LL	Lohmaer Decklöss-Fahlerde	1.004	1,90	16,06
Ds.LL	Dingelstedter Decklöss-Fahlerde	990	1,87	17,93
Pl.LA	Plötzkauer Kalklehm-Auenboden	857	1,62	19,55
Bg.LK	Breitunger Lehm-Bodenkomplex	814	1,54	21,09
Re.K	Reinsberge-Kalkgrus-Braunrendzina	786	1,49	22,58
Bi.LA	Bitterfelder Lehm-Auenboden	719	1,36	23,93
Zi.LU	Ziegelrodaer Decksandlöss-Staugley	696	1,32	25,25
Sl.LB	Slater Tieflehm-Staugleyfahlerde	692	1,31	26,56
Re.Sn	Rennplatz-Sandstein-Braunerde	685	1,29	27,85
Ws.LL	Waldschlößchen-Decklöss-Fahlerde	682	1,29	29,14
He.L	Hessener Flachdecklehm-Braunfahlerde	628	1,19	30,33
OmS	Ottmansdorfer Bändersand-Braunerde	624	1,18	31,51
Sp.LL	Sprötauer Löss-Griserde	620	1,17	32,68

Die *Brückener Lebmsandstein-Braunerde* (Br.Ls) ist mit knapp 3.200 ha die am häufigsten ausgewiesene Lokalbodenform. Mit jeweils gut 2.000 ha folgen die *Weibicht-Löss-Fahlerde* (We.LL) und die *Taubardter Löss-Braunfahlerde* (Tu.LL). Die nächst folgende Lokalbodenform (Lo.LL) hat bereits nur noch einen Flächenanteil von etwa 1.000 ha, mit jeder weiteren schwinden die Flächenanteile merklich.

Nennenswerte Anteile an kartierten Grundwasserstufen sind nicht vorhanden. Von den lediglich etwa 2.800 ha entfallen mehr als 80 % auf die Stufen *grundfrisch* (5) und *grundfeucht* (4), die im Kontext mit Überflutungsstandorten (Flussauen) kartiert wurden. Die grundfeuchten Standorte sind grundwassernah und liegen i. d. R. vor dem Deich, die grundfrischen dahinter und sind nur noch durch Grundwasser beeinflusst. Auf etwa ein Fünftel der kartierten Fläche wurden Stauwasserstufen ausgewiesen. Mehr als die Hälfte davon sind *wechselfrische* (gut 3.400 ha), gefolgt von *staufeuchten* Stufen, wobei diese nur noch eine Fläche von etwa 730 ha einnehmen. Die Staustufen *schwach grundfrisch* (63), *feucht* (57) und *staufeucht* (49) besitzen noch verhältnismäßig nennenswerte Anteile mit jeweils etwa 260 ha. Die Erstgenannten stellen zudem noch eine Besonderheit dar, da sie komplexe Staustufen der Bachtälichen- und Tal-Standorte sind, wo ökologisch nicht weiter zwischen Grund- und Stauwassereinfluss unterschieden wird.

Eine weitere Differenzierung der Bodenform durch Oberbodenbeeinflussungen oder Substratunterlagerungen kommt im Hügelland nicht zur Anwendung. Beides ist durch die natürliche Ausstattung sowie der Nutzungsgeschichte zu erklären. Indes sind erwartungsgemäß die reliefbedingten Mesoklimaeigenschaften und Wasserhaushaltsstufen auf mehr als 80 % der kartierten Fläche in über 49 verschiedene Ausprägungen ausgewiesen worden. Die reliefbedingte Wasserhaushaltsstufe *mäßig frisch* (-5) ist auf mehr als 25.000 ha (etwa 58 %) mit Abstand am häufigsten kartiert worden. Mit jeweils rund 5.000 ha (11 %) wurden die Stufen *mäßig frisch in Hanglage* (-5h) und *mäßig trocken* (-6) vergeben. *Mäßig trocken in Hanglage* (-6h) hat immerhin noch einen Anteil von etwas mehr als 3.000 ha. Der Flächenanteil der *frischeren* (-4) reliefbedingten Wasserhaushaltszahl liegt bei rund 2.000 ha, die Differenzierung nach der Hanglage (-4h) bereits nur noch bei etwa 500 ha (knapp über 1 %). Die folgenden 43 Ausprägungen haben dementsprechend nur noch geringe (wenige 100 ha) bis sehr geringe (weniger als 1 ha) Flächenanteile.

Die Feuchtestufen im Hügelland umfassen 38 verschiedene Ausprägungen, wobei mit jenen, die einen jeweiligen Flächenanteil von mehr als 1 % aufweisen, bereits 94 % aller Standorte beschrieben werden können. *Unvernässte mittelfrische Standorte* (T2) sind mit etwa 26.000 ha (ca. 50 %) die am häufigsten kartierte Feuchtestufe, die vor allem in den Wuchsgebieten *Nordwestliche Harzvorländer* und *nördliche und südliche Randplatten des Thüringer Beckens* ihren Schwerpunkt haben (s. Abb. 6).

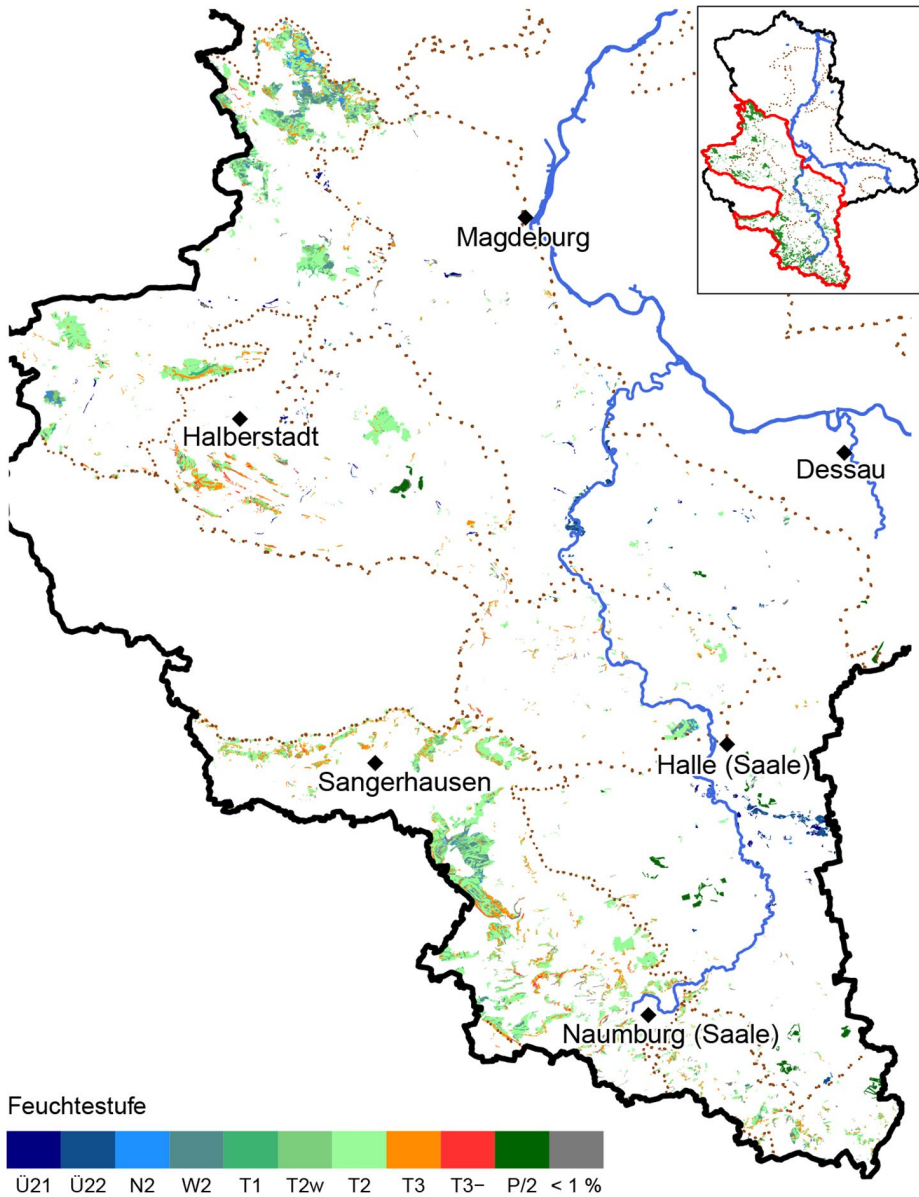


Abbildung 6: Karte der kartierten Feuchtestufen im sachsen-anhaltischen Hügelland (Ü22 = frische, mäßig überflutungsanfällige Auenstandorte, N2 = feuchte mineralische Nassstandorte, W2 = wechselfrische Standorte, T1 = unvernässte frischere Standorte, T2w = unvernässte mittelfrische Standorte mit Wechselfeuchte im Unterboden, T2 = unvernässte mittelfrische Standorte, T3 = unvernässte trockenere Standorte, T3- = unvernässte trockenere trockenere Standorte, P/2 = unvernässte mittelfrische Kippenstandorte, < 1 % = alle anderen Feuchtestufen mit einem jeweiligen Flächenanteil von < 1 %)

Mit etwa 8.100 ha hat die Feuchtestufe T3 (*unvernässte trockenere Standorte*) den zweithöchsten Anteil innerhalb des Hügellandes. *Unvernässte mittelfrische Standorte mit Wechselfeuchte im Unterboden* (T2w) und *wechselfrische Standorte* (W2) kommen jeweils auf etwa 3.500 ha (rund 6,5 %) der kartierten Fläche vor. Beide haben ihren Verbreitungsschwerpunkt im nördlichen Teil des Wuchsgebietes *Nordwestliches Harzvorland* (südlich des Flechtinger Höhenzuges) und im zentralen Bereich des Wuchsgebietes *nördliche und südliche Randplatten des Thüringer Beckens* (zwischen Querfurt und Nebra), wo sie in kleinflächigen Wechsellagen nebeneinander vorkommen. Eine Besonderheit sind die *unvernässten mittelfrischen Kippenstandorte* (P/2) im Bereich nordwestlich von Aschersleben (zwischen Concordia- und Königsauersee) sowie verstärkt um die Braunkohletagebaue nördlich von Zeitz, die zusammen einen Flächenanteil von fast 1.800 ha einnehmen. Auf etwa 1.500 ha kommen noch *frische, mäßig überflutungsanfällige Auenstandorte* entlang der Weißen Elster (südöstlich von Halle) sowie der Saale (südlich und nördlich von Bernburg) vor.

Bei der Nährstoffversorgung dominieren auf insgesamt rund 73 % der kartierten Fläche *reiche* (R) und *kräftige* (K) Standortverhältnisse. Die Nährkraftstufe K nimmt dabei eine Fläche von etwa 28.000 ha (ca. 53 %) ein, gefolgt von der Nährkraftstufe R mit ungefähr 10.500 ha (gut 20 %; s. Abb. 7). *Mittlere* (M) und *ziemliche arme* (Z) Nährstoffverhältnisse sind vor allem im Bereich des Flechtinger Höhenzuges (Einlagerung pleistozäner Sande), im westlichen Teil des Wuchsgebietes *Nordöstliche Harzvorländer* (zwischen Blankenburg und Halberstadt) sowie im Wuchsgebiet *Sächsisch-Thüringisches Löss-Hügelland* vorherrschend. Auf gut 2.100 ha (etwa 4 %) kommen noch *reiche-kalkhaltige* Standorte (RC) vor, welche sich schwerpunktmäßig entlang der Flüsse Saale und Unstrut (zwischen Bad Bibra und Naumburg) befinden.

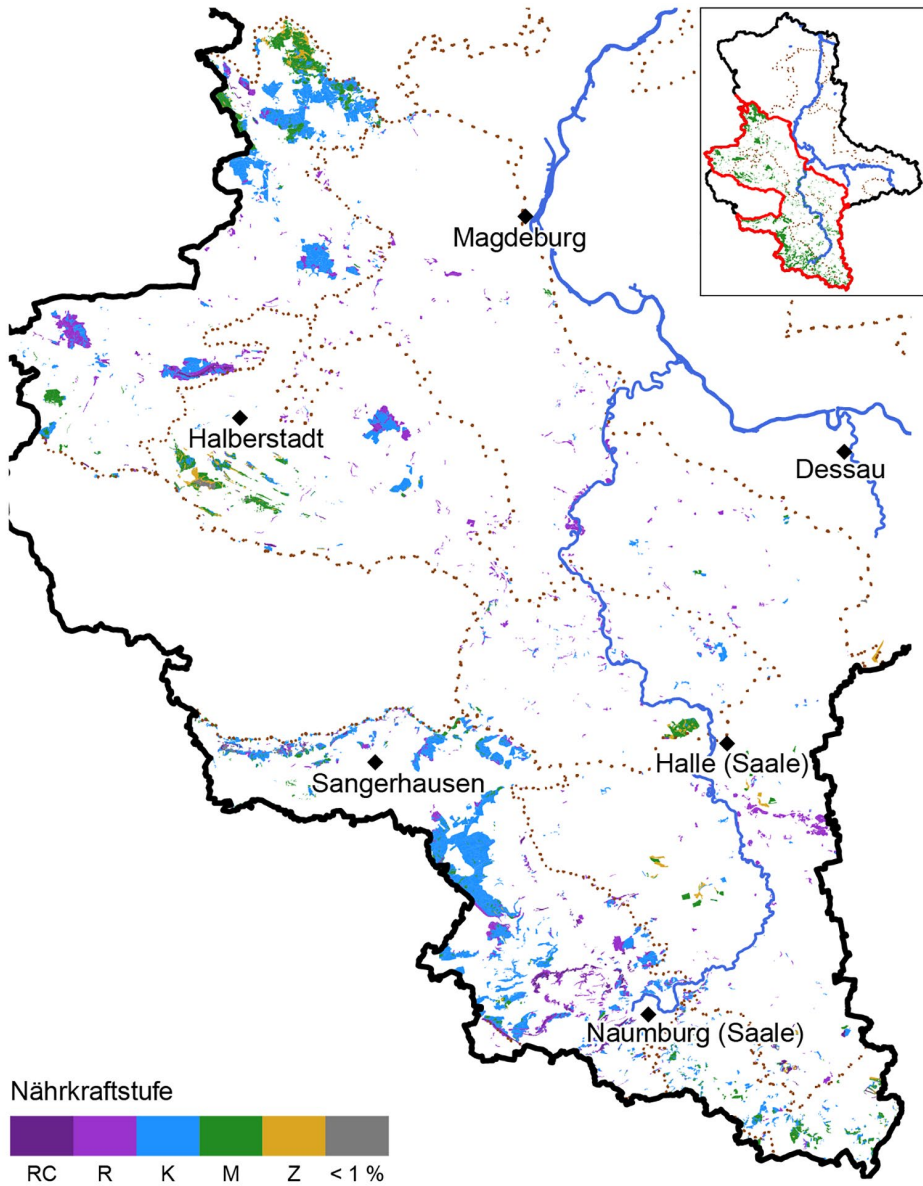


Abbildung 7: Karte der kartierten Nährkraftstufen im sachsen-anhaltischen Hügelland (RC = reich-kalkhaltig, R = reich, K = kräftig, M = mittel, Z = ziemlich arm, < 1 % alle anderen Nährkraftstufen mit einem jeweiligen Flächenanteil von < 1 %)

2.2.4 Auswertung der Standortseinheiten im Mittelgebirge

Das Mittelgebirge ist zwar die kleinste naturräumliche Einheit in Sachsen-Anhalt, weist jedoch immerhin eine kartierte Waldfläche von rund 93.500 ha auf. Über die zehn häufigsten Lokalbodenformen kann bereits für 63 % der kartierten Fläche die Bodenform beschrieben werden (s. Tab. 4), wobei insgesamt 220 verschiedene Lokalbodenformen kartiert wurden.

Tabelle 4: Flächenanteile der 10 häufigsten Lokalbodenformen im Mittelgebirge (LBF = Kürzel der Lokalbodenform, Lokalbodenform = Name der Lokalbodenform, FA = absoluter Flächenanteil [ha], FR = relativer Flächenanteil [%], FK = kumulativer Flächenanteil [%])

LBF	Lokalbodenform	FA [ha]	FR [%]	FK [%]
Ul.Sf	Uhlenstein-Schiefer-Braunerde	22.865	24,23	24,23
Mi.Sf	Mittelberg-Schiefer-Braunerde	8.397	8,90	33,12
Ba.Sf	Ballenstedter Schiefer-Braunerde	7.935	8,41	41,53
El.Sf	Elender Schiefer-Braunerde	4.430	4,69	46,22
Ba.D	Ballenstedter Diabas-Braunerde	3.894	4,13	50,35
Mi.GB	Mittelberg-Schiefer-Braunstaugley	3.413	3,62	53,96
Ms.Gw	Meiseberg-Grauwacke-Braunerde	2.300	2,44	56,40
Kö.GB	Königshof-Schiefer-Braunstaugley	2.240	2,37	58,77
Sa.Sf	Salzberg-Schiefer-Braunerde	2.200	2,33	61,10
Sc.Gt	Schierker Granit-Braunerde	2.196	2,33	63,43

Mit fast 23.000 ha (rund 24 %) ist die *Uhlenstein-Schiefer-Braunerde* (Ul.Sf) die vorherrschende Lokalbodenform im Mittelgebirge. Die *Mittelberg-Schiefer-Braunerde* (Mi.Sf) und die *Ballenstedter Schiefer-Braunerde* (Ba.Sf) besitzen noch absolute Flächenanteile über 5.000 ha und nehmen zusammen eine Fläche von gut 16.000 ha ein. Zusammen mit der *Elender Schiefer-Braunerde* (El.Sf) und der *Ballenstedter Diabas-Braunerde* (Ba.D) beschreiben diese fünf Lokalbodenformen bereits 50 % der kartierten Bodenformen. Von den 220 kartierten Lokalbodenformen weisen lediglich 17 eine Flächengröße von weniger als einen Hektar auf, wobei die fast ausschließlich Sonderstandorte sind.

Erwartungsgemäß kommen in den Mittelgebirgslagen keine Grundwasserstufen vor. Auch der Flächenanteil kartierter Stauwasserstufen ist mit knapp 7.000 ha verhältnismäßig gering, aber immerhin mit 12 Stufen beschrieben. Hiervon ist etwa ein Viertel als *staunass* (47) und nochmal etwa 20 % als *feucht* (57) kartiert. Beide Stufen

werden als stärker hydromorph-beeinflusste Standorte bewertet, erstere für organische und mineralische Nassstandorte, letztere für die Bachtälchen-Standorte. Auf jeweils rund 1.100 ha kommen die Stufen *hangstaunass* (53) und *staufeucht* (48) vor. Die *hangfeuchte* (54) Stauwasserstufe ist noch auf knapp 700 ha ausgewiesen worden, die restlichen 7 Stauwasserstufen verteilen sich auf etwa 1.000 ha. Eine weitere Differenzierung der Bodenform durch Oberbodenbeeinflussungen und Substratunterlagerungen kommt, wie im Hügelland, nicht vor.

Entsprechend der geomorphologischen Beschaffenheit sind von den 93.500 ha kartierten Waldflächen im Mittelgebirge etwa 86.500 ha mit einer reliefbedingten Wasserhaushaltsstufe versehen. Insgesamt wurden 37 verschiedene Ausprägungen kartiert, wovon allerdings 25 einen relativen Anteil von < 1 %, 16 sogar von < 0,1 % aufweisen. Der überwiegende Teil (etwa 40.300 ha) wurde als *mäßig frisch* (-5) eingestuft, auf ungefähr 12.500 ha liegt *mäßig frisch in Hanglage* (-5h) vor. Beide Ausprägungen kommen zudem nochmal auf etwa 2.800 ha bzw. gut 2.000 ha in *ungeschützten Lagen* (Windexposition) vor (-5uh bzw. -5u). Eine reliefbedingte *frische* Wasserhaushaltsstufe wurde auf knapp 2.000 ha (-4) sowie auf ca. 1.800 ha in Hanglage (-4h) kartiert. Auf jeweils etwa 1.500 ha wurden noch mäßig frische und mäßig trockene Wasserhaushaltsstufen in *Steilhanglage* (-5H bzw. -6H), also mit einer Hangneigung von > 25°, ausgewiesen. Nennenswerte Anteile liegen noch bei den *mäßig trockenen* (-6) bzw. *mäßig trockenen in Hanglage* (-6h) vor, welche auf etwa 10 % bzw. 9 % der kartierten Fläche angesprochen wurden.

Die Reliefierung des Mittelgebirges hat dementsprechend einen prägenden Einfluss auf die Bewertung der Feuchtestufen. Insgesamt wurden 29 verschiedene Feuchtestufen ausgewiesen, wovon gut die Hälfte einen relativen Anteil von mehr als ein Prozent aufweist (s. Abb. 8). Wie in den zuvor vorgestellten Naturräumen kommen *unvernässte mittelfrische Standorte* (T2) wieder am häufigsten vor. Der Flächenanteil liegt bei rund 47.100 ha (etwa 50 %). Diese Feuchtestufe wurde auf jeweils etwa 4.500 ha in eine *gering mittelfrische* (T2-) und eine *mittelfrische mit Nässe im Unterboden* (T2n) Ausprägung weiter differenziert. Auf gut 19.000 ha sind *unvernässte trockene Standorte* (T3) sowie deren Differenzierungen auf stärker exponierten Lagen (T3v, T3-) ausgewiesen worden. In den Tallagen dominieren *feuchte Bachtälchenstandorte* (B1), die dann auch mit *nassen mineralischen Nassstandorten* (N1) vergesellschaftet sein können. *Mittelfrische* und *trockene schutzwaldartige Standorte* (S2 und S3) sind auf etwa 3.000 ha überwiegend in Steilhanglagen ausgewiesen worden. Die gesonderte Kennzeichnung der Feuchtestufe für Kammlagen und Gebirgsmoore stellte in den Mittelgebirgslagen eine Besonderheit dar. Kammlagen werden nach *geschütztere frischere* und *ungeschütztere trockenere Kammlagen* (II bzw. III) untergliedert, die auf etwa 2.100 ha ihren Verbreitungsschwerpunkt im westlichen Harz um den Brocken herum haben. Daran anschließend kommen verstärkt in den mittleren Lagen und Hochlagen Gebirgsmoore vor, die nach der Wuchsleistung der Fichte (*Picea abies* L.) differenziert und als *kombinierte Feuchte-Nährkraftstufe* bezeichnet werden. *Gebirgsmoore mit einem guten Leistungsvermögen* (OI) kommen auf etwa 1.300 ha vor und

besitzen einen geringeren Vernässungsgrad im Boden und ermöglichen damit retrospektiv betrachtet ein gutes Wachstum. Bei OII- und OIII-Standorten nehmen stagnierende Wasserhaushaltsbedingungen zu, sodass das Wachstum der Fichte zunehmend beeinträchtigt wird. OIII-Standorte stellen im Prinzip waldfreie Hochmoore dar. Allerdings weisen beide Ausprägungen nur marginale Flächenanteile auf.

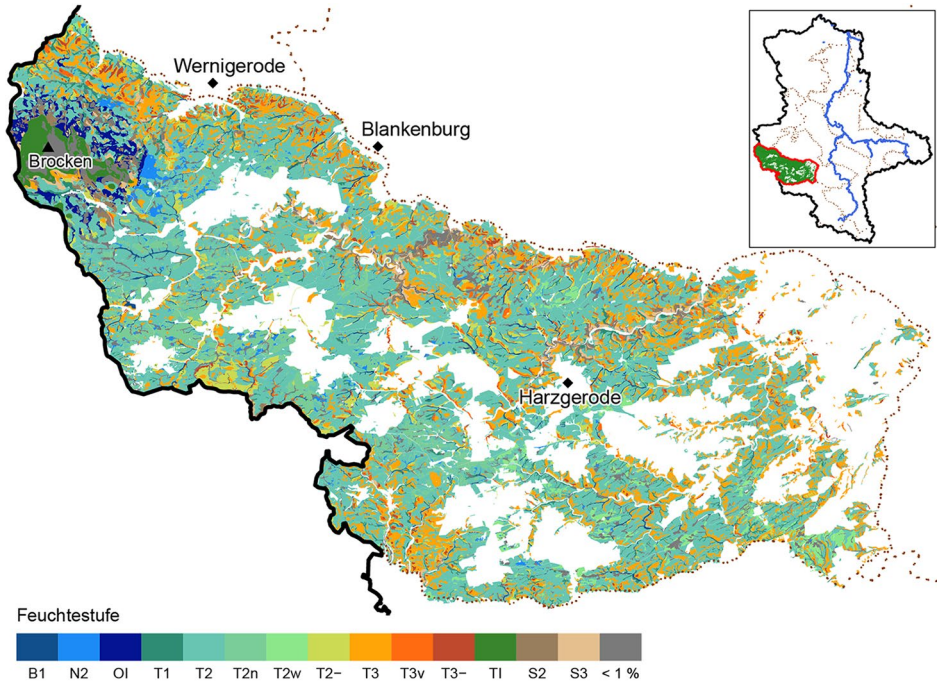


Abbildung 8: Karte der kartierten Feuchtestufen im sachsen-anhaltischen Mittelgebirge (B1 = feuchte Bachtälchenstandorte, N2 = feuchte mineralische Nassstandorte, OI = Gebirgsmoore mit gutem Leistungsvermögen, T1 = unvernässte frischere Standorte, T2 = unvernässte mittelfrische Standorte, T2n = unvernässte mittelfrische Standorte mit Nässe im Unterboden, T2w = unvernässte mittelfrische Standorte mit Wechselfeuchte im Unterboden, T2- = unvernässte gering mittelfrische Standorte, T3 = trockenere unvernässte Standorte, T3- = unvernässte trockenere Standorte, TI = geschützte frischere Kammlagen, S2 = mittelfrische schutzwaldartige Standorte, S3 = trockenere schutzwaldartige Standorte, < 1 % = alle anderen Feuchtestufen mit einem jeweiligen Flächenanteil von < 1 %)

Aufgrund der überwiegend silikatischen Ausgangsgesteine mit mehr oder weniger mächtigen periglaziär geprägten Lössauflagen sind auf gut 85.200 ha (mehr als 90 %) *kräftige* (K) und *mittlere* (M) Nährstoffverhältnisse vorherrschend (s. Abb. 9). Auf gut 4.700 ha (ca. 5 %) kommen noch *ziemlich arme* Standorte (Z) vor, die hauptsächlich im Bereich der schutzwaldartigen Steilhänge des Brockens liegen. *Reichere* Standorte (R) wurden noch sehr disjunkt verteilt auf etwa 1.300 ha ausgewiesen. *Arme* Standorte (A) weisen nur einen marginalen Flächenanteil auf und konzentrieren sich im Nordwesten, zwischen Bruchberg und Halberstädter Berg.

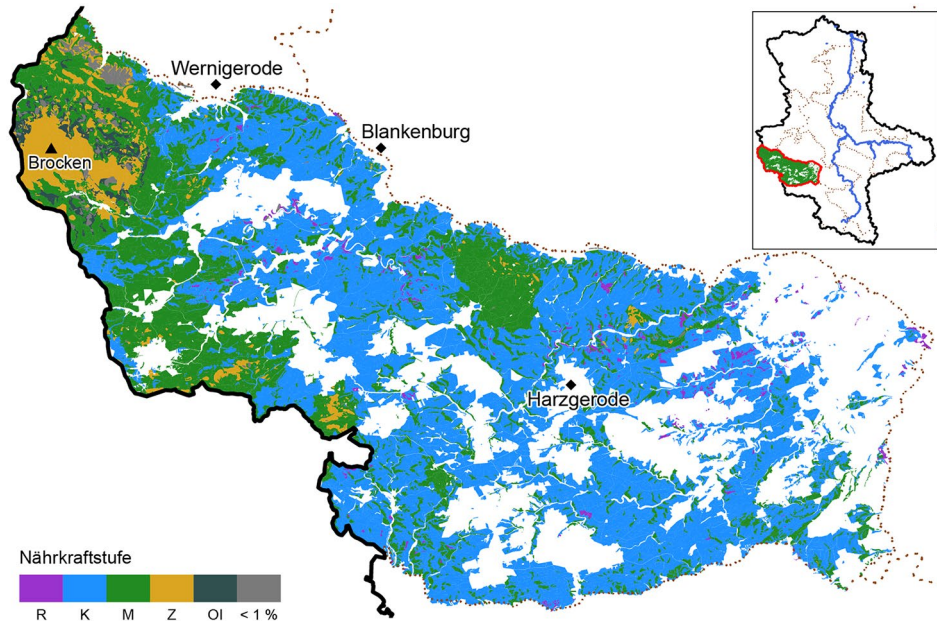


Abbildung 9: Karte der kartierten Nährkraftstufen im sachsen-anhaltischen Mittelgebirge (R = reich, K = kräftig, M = mittel, Z = ziemlich arm, OI = Gebirgsmoore mit gutem Leistungsvermögen, < 1 % alle anderen Nährkraftstufen mit einem jeweiligen Flächenanteil von < 1 %)

3 Klimatische Entwicklung von Sachsen-Anhalt

Johannes Suttmöller, Henning Meesenburg

3.1 Begriffserklärungen

Klima ist definiert als die Zusammenfassung der Wettererscheinungen, die den mittleren Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort oder in einem mehr oder weniger großen Gebiet charakterisieren. Es wird repräsentiert durch die statistischen Gesamteigenschaften (Mittelwerte, Extremwerte, Häufigkeiten u. a.) über einen genügend langen Zeitraum. Von der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) wird ein Zeitraum von 30 Jahren der Klimabeobachtung als Zeitraum festgelegt, die sogenannte Normalperiode. Die aktuell gültige Normalperiode umfasst den Zeitraum 1991 bis 2020. Allerdings wird im Kontext des Klimawandels weiterhin die Referenzperiode 1961 bis 1990 herangezogen.

3.2 Ausgangslage

Sachsen-Anhalt befindet sich im Übergangsbereich zwischen dem ozeanisch geprägten Klima Westeuropas und dem kontinentalen Klima Osteuropas. Dabei nimmt der maritime Einfluss von West nach Ost ab. Der Harz und sein Umland nehmen in den klimatischen Bedingungen in Sachsen-Anhalt eine Sonderstellung ein, da die Hochlagen ganzjährig Niederschläge erhalten, während sich im Windschatten des Harzes die niederschlagsärmsten Regionen Deutschlands befinden.

Die langjährige Jahresmitteltemperatur beträgt in Sachsen-Anhalt 9,6 °C (s. Tab. 5). Gegenüber der Klimareferenzperiode von 1961 bis 1990 bedeutet dies einen Anstieg um 1 K (Temperaturdifferenzen werden in Kelvin (K) angegeben und entsprechen °C). Im Vergleich zur vorindustriellen Zeit liegt die Temperaturerhöhung bereits bei knapp 1,5 K. Überdurchschnittlich stark fällt die Erwärmung in den Monaten Januar bis April und in den Monaten Juli und August aus. Teilweise beträgt die Erwärmung im Vergleich zur Klimareferenzperiode mehr als 1,5 K (April). Deutlich geringer ist dagegen die Temperaturzunahme in den Herbstmonaten. Die langjährige Monatsmitteltemperatur hat sich in den Monaten September bis November um circa 0,5 K erhöht. Dabei gibt es in der Temperaturzunahme zwischen der Nicht-Vegetationszeit von Oktober bis April und der Vegetationszeit von Mai bis September nur geringe Unterschiede (s. Tab. 5).

Auch die mittlere jährliche Niederschlagssumme hat in der aktuellen Klimaperiode im Vergleich zur Klimareferenzperiode leicht zugenommen. Für das Flächenmittel von Sachsen-Anhalt werden 586 mm Jahresniederschlagssumme berechnet. Dies entspricht einer Zunahme von knapp 30 mm im Jahr (s. Tab. 5). Besonders im Juli fallen im Vergleich zur Klimareferenzperiode deutlich mehr

Niederschläge. Dies kann auf die Zunahme von Starkniederschlagsereignissen zurückgeführt werden. Dadurch ist die Niederschlagshöhe in der Vegetationszeit überproportional angestiegen. Im Gegensatz dazu haben die langjährigen Niederschlagssummen im April signifikant abgenommen (ca. 25 %). Besonders in den letzten Jahren konnte in Sachsen-Anhalt eine Zunahme der Frühjahrstrockenheit beobachtet werden. Die Veränderung in der Niederschlagsverteilung hat dazu geführt, dass das sommerliche Niederschlagsmaximum stärker ausgeprägt ist als in der Vergangenheit.

Tabelle 5: Temperaturmittelwerte und Niederschlagssummen für die langjährigen Mittelwerte der Referenzperioden 1961–1990 und 1991–2020 (Datenquelle: DWD)

Zeitraum	Temperatur (°C)		Niederschlag (mm)	
	1961–1990	1991–2020	1961–1990	1991–2020
Januar	-0,4	1,0	40	46
Februar	0,3	1,7	34	34
März	3,6	4,7	41	42
April	7,7	9,3	44	32
Mai	12,7	13,6	53	56
Juni	16,0	16,8	64	57
Juli	17,4	18,9	53	73
August	17,0	18,5	59	59
September	13,6	14,3	42	50
Oktober	9,3	9,6	36	45
November	4,4	5,0	44	45
Dezember	1,0	2,0	48	47
<i>Nicht-Vegetationszeit</i>	<i>3,7</i>	<i>4,8</i>	<i>287</i>	<i>295</i>
<i>Vegetationszeit</i>	<i>15,4</i>	<i>16,4</i>	<i>271</i>	<i>291</i>
<i>Jahr</i>	<i>8,6</i>	<i>9,6</i>	<i>558</i>	<i>586</i>

Die natürliche Variabilität des Klimas verdeutlicht Abbildung 10. Insbesondere die Jahresniederschläge unterliegen einer hohen Bandbreite. Die bisher höchsten Niederschläge seit 1961 wurden im Jahr 2007 mit knapp 820 mm Jahressumme im Flächenmittel von Sachsen-Anhalt gemessen. Das trockenste Jahr war 2018 mit einer Jahresniederschlagssumme von rund 370 mm. Der häufige Wechsel von zu trockenen und eher feuchten Jahren lässt keinen eindeutigen Trend in der langfristigen Niederschlagsentwicklung erkennen (s. Abb. 10, gleitendes Mittel der letzten 30 Jahre). Bei der Jahresmitteltemperatur ist der langfristige Erwärmungstrend jedoch eindeutig. Seit Mitte der 1980er-Jahre wurden in Sachsen-Anhalt mit Ausnahme der

Jahre 1997 und 2010 im Vergleich zur Klimareferenzperiode nur noch zu warme Jahre beobachtet. In den vergangenen 10 Jahren hat sich das gleitende Mittel der letzten 30 Jahre um knapp 0,4 K erhöht. Dies würde bedeuten, dass bei gleich bleibendem Trend alle 25 Jahre die Jahresmitteltemperatur um 1 K ansteigt. Das bisher wärmste Jahr seit Messbeginn im Jahr 1881 war 2020 mit einer Jahresmitteltemperatur von 10,9 °C. Auch die Jahre 2019 und 2018 waren nur unwesentlich kühler.

Die tiefen Lagen im Osten und Süden von Sachsen-Anhalt weisen bereits heute eine Jahresmitteltemperatur von mehr als 10 °C auf (s. Abb. 11). Damit gehören die Gebiete zu den wärmsten Regionen in Deutschland. Auch die übrigen Tieflandbereiche, wie die Altmark und Börde, sind im langjährigen Mittel nur wenig kühler (> 9.5 °C). Die Temperatur nimmt im Harz mit zunehmender Höhenlage kontinuierlich ab. Im Unterharz liegt die Jahresmitteltemperatur zwischen 7 und 9 °C, während im Oberharz im langjährigen Mittel teilweise weniger als 5 °C gemessen werden (Brockengebiet).

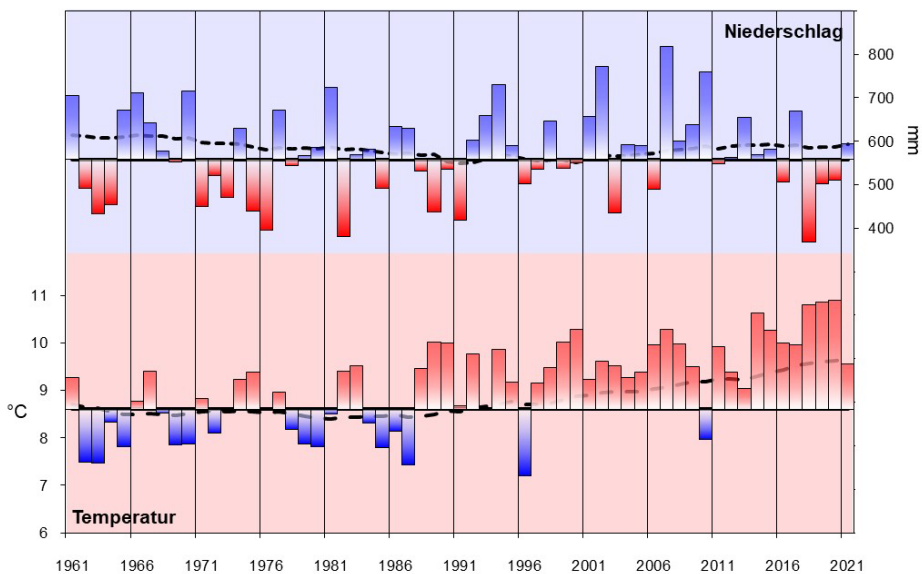


Abbildung 10: Abweichungen von Niederschlag und Temperatur vom Mittel der Klimaperiode 1961–1990 (durchgezogene schwarze Linie) und gleitendes Mittel der letzten 30 Jahre (gestrichelte schwarze Linie) in Sachsen-Anhalt, Jahreswerte (Datenquelle: DWD)

Neben den hohen Temperaturen sind die Tieflagen in Sachsen-Anhalt durch sehr geringe Jahresniederschlagssummen gekennzeichnet. Im Windschatten des Harzes werden im langjährigen Mittel nur 500 bis 550 mm Niederschlag beobachtet. Auch in der Altmark und in den östlichen und südlichen Landesteilen wird im Mittel der

aktuellen Klimanormalperiode kaum mehr als 600 mm Jahresniederschlag gemessen. Im Harz nehmen die Niederschläge mit der Höhe zu. Allerdings sind die Niederschlagssummen im Vergleich zum Westharz auf gleicher Höhenlage deutlich niedriger. Mittlere Niederschlagssummen von mehr als 800 mm werden im Ostharz (Sachsen-Anhalt) nur in den höchsten Lagen beobachtet, wobei im Brockengebiet sogar um 1.500 mm Niederschlag im Jahr fällt.

Das südliche und östliche Sachsen-Anhalt zählt zu den trockensten Regionen in Deutschland. Infolge der bereits beobachteten Klimaerwärmung haben sich die klimatischen Gegebenheiten in diesen Gebieten weiter verschlechtert, indem die Wasserversorgung nicht nur für die Wälder stark beeinträchtigt ist. Die steigenden Temperaturen bedingen einen zunehmenden Verdunstungsanspruch der Vegetation, der infolge der geringen Niederschläge und unzureichend aufgefüllter Bodenspeicher nicht erfüllt werden kann.

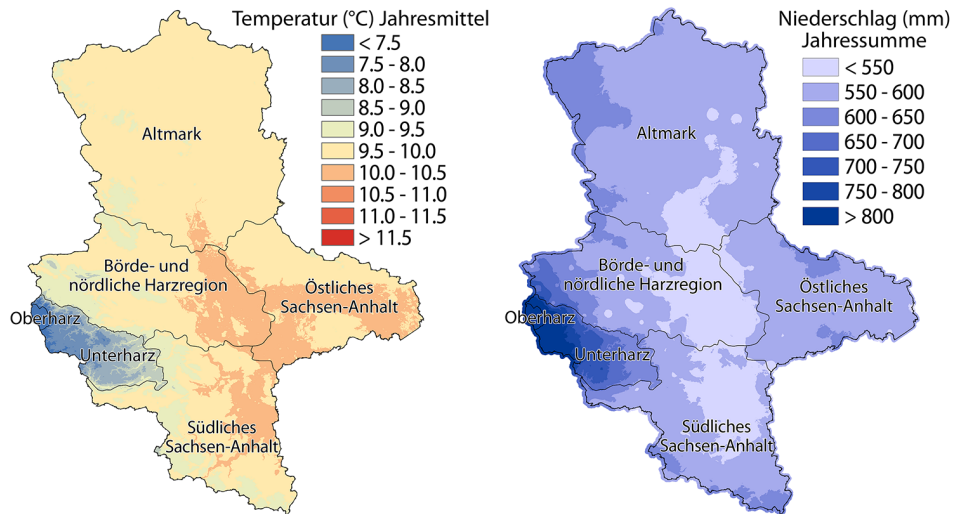


Abbildung 11: Jahresmitteltemperatur und mittlere Jahresniederschlagssumme in der aktuellen Klimanormalperiode (1991–2020; Datenquelle: DWD)

Seit 2018 herrscht in Sachsen-Anhalt eine ausgeprägte Trockenperiode. Diese nun mehrjährige extreme Trockenheit begann mit der Vegetationsperiode 2018, in der nicht einmal 50 % der üblichen Niederschlagssumme fiel. In Kombination mit den sehr hohen Temperaturen trockneten die Böden tiefgründig aus. In den Trockengebieten Sachsens-Anhalts fielen von Mai bis September nicht einmal 100 mm Niederschlag. An der Station Jeßnitz, südlich von Dessau gelegen, waren es bspw. nur knapp 80 mm Niederschlag. Auch in den Jahren 2019 und 2020 führte die Kombination von überdurchschnittlich hohen Temperaturen mit Abweichungen von mehr als 2 K im Vergleich zur Klimareferenzperiode und geringen Niederschlägen dazu, dass die Trockenheit sich fortsetzte (s. Abb. 10). Obwohl im Jahr 2021 das Niederschlagssoll leicht übertroffen wurde und die Temperaturabweichung mit 1 K nicht

so hoch ausfiel wie in den Vorjahren, konnte die Trockenheit kaum abgemildert werden, da die Niederschläge häufig als Starkniederschlag fielen und damit den Bodenwasserspeicher nicht nachhaltig auffüllten. Auch im Jahr 2022 setzte sich die Trockenperiode unvermindert fort.

Die extreme Trockenheit der letzten Jahre stellt in ihrer Intensität und Andauer ein außergewöhnliches Ereignis dar, das seit Messbeginn im Jahr 1881 noch nicht beobachtet wurde. Aktuelle Klimaprojektionen für Deutschland berechnen bis zum Ende des Jahrhunderts eine deutliche Zunahme von Trockenperioden. Somit könnte die aktuelle Dürre in Sachsen-Anhalt nur ein Vorgeschmack auf zukünftig noch extremere Trockenereignisse sein.

3.3 Zukünftige Entwicklung

3.3.1 Methodik und Datengrundlage

Seit Mitte des letzten Jahrhunderts wird auf der Erde ein signifikanter Anstieg der Lufttemperatur bodennaher Schichten beobachtet. Im Vergleich zur vorindustriellen Zeit hat sich die globale Erdoberflächentemperatur bereits um mehr als 1,2 K erhöht (s. Abb. 12). Dies zeigen die Ergebnisse des aktuellen sechsten Sachstandsberichtes des *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC 2021). Die Erwärmung der Landflächen im Vergleich zu den Meeren ist deutlich stärker ausgeprägt. So hat sich bspw. die Jahresmitteltemperatur in Deutschland seit Beginn der Industrialisierung um fast 2 K erhöht. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts wird je nach Klimaszenario die globale Oberflächentemperatur um bis zu weiteren 4 K ansteigen.

Zur Abschätzung zukünftiger klimatischer Veränderungen werden Klimaszenarien verwendet. Diese beruhen auf unterschiedlichen sozioökonomischen Annahmen, die das Ergebnis der Arbeiten des IPCC sind. Der aktuelle Forschungsstand zu den wissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels wird in regelmäßigen Abständen im sogenannten Sachstandsbericht des IPCC veröffentlicht. Die Unsicherheit bezüglich der zukünftigen Entwicklung wird durch verschiedene Emissionsszenarien abgebildet. Diese stellen mögliche Entwicklungspfade des anthropogenen (durch den Menschen verursacht) Ausstoßes von Treibhausgasen wie Kohlendioxid, Lachgas oder Methan dar. Die Emissionsszenarien dienen als Antrieb für globale Klimamodelle.

Globale Klimamodelle (*General Circulation Models*, GCM) berechnen die künftige Entwicklung des Klimas anhand komplexer physikalisch basierter Funktionen. Dabei wird das Klimasystem der Erde vereinfacht auf einem dreidimensionalen Gitter abgebildet (s. Abb. 13 links). Die räumliche Auflösung der GCMs beträgt in der Regel mehr als 100 km, d. h. ein Gitterpunkt repräsentiert eine Fläche des hinterlegten Rasters. Infolge des hohen Rechenaufwandes für die Modellierung ist die räumliche Auflösung der Klimamodelle limitiert. Damit die Ergebnisse der globalen

Modelle auch für kleinere Gebiete genutzt werden können, werden die Modellergebnisse der GCMs mittels regionaler Klimamodelle auf eine höhere räumliche Auflösung herunter gerechnet (s. Abb. 13 rechts). Hierbei werden zwei verschiedene Verfahren des *Downscalings* unterschieden.

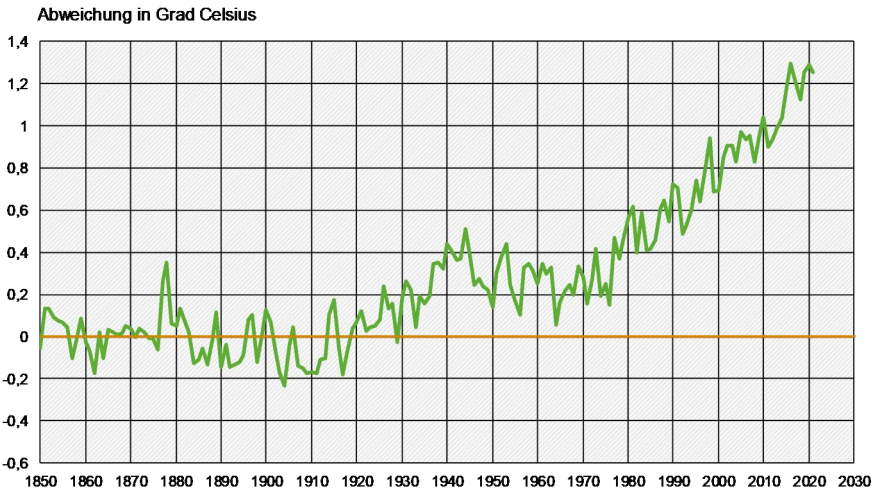


Abbildung 12: Abweichung der globalen Lufttemperatur vom Durchschnitt der Jahre 1850 bis 1990. Die Nulllinie entspricht dem globalen Temperaturdurchschnitt der Jahre 1850 bis 1990 (UBA 2022).

Dynamische Regionalmodelle sind in globale Klimamodelle eingebettet („genestet“) und berechnen das Klimasystem nur für einen Ausschnitt der Erde jedoch mit einer deutlich höheren räumlichen Auflösung (> 10 km). Die physikalisch basierte Berechnung der klimatischen Entwicklung ist mit denen der Globalmodelle vergleichbar.

Statistische Regionalmodelle beschreiben das Klimasystem anhand von Beobachtungen, indem z. B. der Zusammenhang zwischen großräumigen Zirkulationsmustern der Atmosphäre und der regionalen Ausprägung des Wettergeschehens in Beziehung gesetzt werden. Die Veränderungen in der Häufigkeit großräumiger Zirkulationsmuster, die die globalen Klimamodelle berechnen, können durch statistische Verfahren auf die regionale Skala übertragen werden.

Für die forstliche Planung ist die räumliche Auflösung der Regionalmodelle unzureichend. Deshalb werden die Ergebnisse der Klimamodelle mit einem etablierten statistischen Verfahren (*Quantil Mapping*) oder Modellen (STARS II) auf ausgewählte Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes herunter gerechnet (FEIGENWINTER et al. 2018, SUTMÖLLER et al. 2021). Vergleichbar mit den Messwerten an der Klimastation wird für die relevanten Klimavariablen (Temperatur, Niederschlag, etc.) eines Klimalaufes eine Zeitreihe erzeugt, die als Tageswerte den gesamten Projektionszeitraum abdeckt. Klimamodelle können systematische

Abweichungen oder Fehler aufweisen. So berechnen einige Modelle den Niederschlagsschwerpunkt im Vorland von Mittelgebirgen und nicht entsprechend den Beobachtungen in den höchsten Lagen. Mit Hilfe der verwendeten *Downscaling*-Verfahren werden Fehler in den Klimadaten korrigiert (Bias-Korrektur).

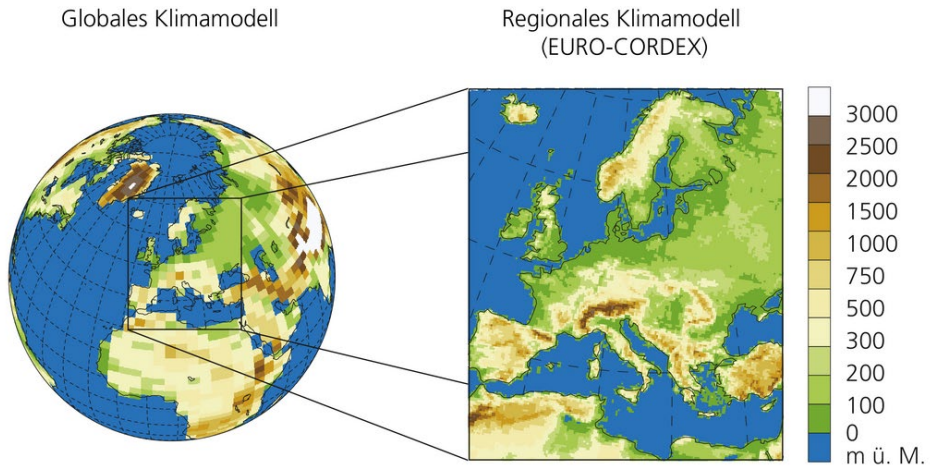


Abbildung 13: Global- und Regionalmodell (CH2018 2018)

Um Aussagen für bestimmte Standorte bzw. für die Planungseinheiten der Forstwirtschaft treffen zu können, ist es notwendig, die Stationsdaten in die Fläche zu interpolieren. Für die Klimavariablen Temperatur und Niederschlag zeigte das kombinierte Verfahren aus *Inverse Distance Weighting* (IDW) und Höhenregression (SCHULLA 2015) eine hohe Anpassungsgüte an unabhängige Messdaten von Intensivmessflächen in Nordwestdeutschland. Ein Vergleich mit regionalisierten Klimadaten des DWD mit einer räumlichen Auflösung von einem Kilometer zeigte ebenfalls plausible Ergebnisse. Mit den erprobten Regionalisierungsverfahren ist es möglich, die räumliche Verteilung ausgewählter Klimavariablen und abgeleiteter Indikatoren zu schätzen.

3.3.2 RCP-Klimaszenarien

Klimaprojektionen zeigen mögliche zukünftige Veränderungen des Klimasystems. Der fünfte Sachstandsbericht des IPCC (IPCC 2013) benennt vier Hauptszenarien, sogenannte repräsentative Konzentrationspfade der Treibhausgasemissionen (*Representative Concentration Pathways*, RCP), die die Bandbreite der Klimaveränderungen abbilden. Den vier Emissionsszenarien liegen sehr unterschiedliche sozio-ökonomische Annahmen bis zum Jahr 2100 zugrunde. Die Klimaszenarien wurde im Rahmen des CMIP5-Modellprojektvergleiches (*Coupled Model Intercomparison Project - Phase 5*, TAYLOR et al. 2012) gerechnet. Die CMIP5 Ergebnisse wurden im Rahmen

des CORDEX-Programmes für Europa regionalisiert (*Coordinated Downscaling Experiment*, JACOB et al. 2014). Jedes RCP wird durch eine Vielzahl von Klimäläufen repräsentiert, sodass eine mehr oder weniger große Bandbreite der Temperaturerhöhung erwartet wird. So beträgt der Temperaturanstieg beim RCP8.5 im Mittel mehr als 4 K im Vergleich zur vorindustriellen Zeit, die Unsicherheit (Bandbreite) reicht von 3,5 K bis knapp 5 K (s. Abb. 14).

Der erwartete zusätzliche Strahlungsantrieb (in Watt pro Quadratmeter, W/m^2) zum Ende des Jahrhunderts ist aus der Benennung der Klimaszenarien ersichtlich. Die Hauptszenarien werden entsprechend des zusätzlichen Strahlungsantriebes als RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 und RCP8.5 bezeichnet. Beim *Klimaschutzszenario* oder 2 °C-Ziel (RCP2.6) wird die Erhöhung der globalen Mitteltemperatur auf 2 K zur vorindustriellen Zeit begrenzt (s. Abb. 14). Um dies zu erreichen, ist ein umgehender Ausstieg aus den fossilen Energieträgern notwendig. Die Treibhausgaskonzentration im Jahr 2100 würde dann bei 400 ppm CO₂-Äquivalenten (VAN VUUREN et al. 2011) liegen und damit deutlich unter den aktuellen Werten. Im Gegensatz dazu ist beim pessimistischen Klimaszenario RCP8.5 mit einer deutlichen Erwärmung zu rechnen, die regional sehr unterschiedlich ausfallen würde. Während die Temperatur über den Ozeanen im Mittel um rund 4 K ansteigen würde, erwärmen sich die Landflächen um etwa 6 K im Vergleich zur vorindustriellen Zeit. Für die Arktis werden sogar Temperaturerhöhungen von mehr als 10 K erwartet. Beim RCP8.5 oder *Weiter-wie-bisher*-Szenario wird angenommen, dass keine Klimaschutzmaßnahmen getroffen werden und die Nutzung fossiler Energieträger infolge des Bevölkerungswachstums weiter zunimmt. Bei den *mittleren* Klimaszenarien RCP4.5 und RCP6.0 werden Klimaschutzmaßnahmen langfristig umgesetzt, sodass die Erwärmung etwa 2 bis 3 K betragen würde (s. Abb. 14).

Während die Temperaturerhöhung von den Klimamodellen sehr ähnlich (trotz hoher Bandbreite) berechnet wird, ist die Niederschlagsentwicklung mit einer deutlich höheren Unsicherheit behaftet. Die Zunahme des Energiegehaltes der Atmosphäre kann zu einer Erhöhung der Niederschlagsmengen führen, die allerdings regional sehr unterschiedlich ausfallen dürfte. So wird angenommen, dass niederschlagsreiche Regionen in Zukunft noch mehr Niederschlag erhalten, während in bereits heute trockenen Gebieten mit einer Abnahme der Niederschläge gerechnet wird. Für Deutschland lassen die Modelle keine signifikante Veränderung in der Niederschlagshöhe erwarten. Jedoch zeigen die Ergebnisse vieler Modellsimulation, dass sich die Niederschlagsverteilung zugunsten der Winterniederschläge verschieben wird. Entsprechend ist im Sommer mit einer mehr oder weniger starken Abnahme der Niederschlagsmenge zu rechnen. Dies hätte zur Folge, dass auch die Andauer und Intensität von Trockenperioden und Dürren zunehmen würden.

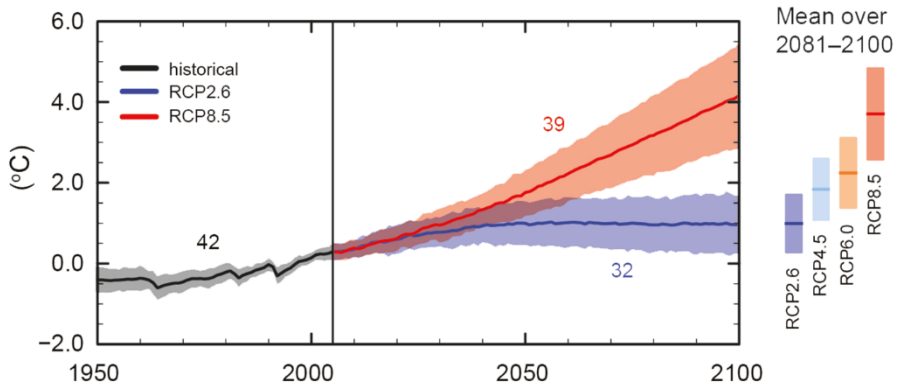


Abbildung 14: Erhöhung der globalen Oberflächentemperatur nach den vier Hauptszenarien des IPCC (IPCC 2013)

3.3.3 Entwicklung von Temperatur und Niederschlag

Die im fünften Sachstandsbericht beschriebenen Emissions-(Klima-)Szenarien sind grundsätzlich gleich wahrscheinlich. Allerdings zeigen die aktuell beobachteten Treibhausgasemissionen keinen rückläufigen Trend, sodass die Werte sogar etwas über dem pessimistischen RCP8.5-Szenario liegen (PETERS et al. 2013). Das bedeutet, dass unter der Annahme, dass der Trend der beobachteten Treibhausgasemissionen weiter erhalten bleibt, das RCP8.5-Szenario in erster Näherung als realistisch einzustufen ist.

Die Baumartenempfehlung in Sachsen-Anhalt werden auf Grundlage der Ergebnisse des globalen Klimamodells *ECHAM6-OM* (JUNGCLAUS et al. 2010, STEVENS et al. 2013) für das Szenario RCP8.5 abgeleitet. Die Daten des Globalmodells wurden mit dem Regionalmodell *STARS II*, einer Weiterentwicklung des am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung entwickelten statistischen Regionalmodell *STARS*, für ganz Deutschland herunterskaliert (ORLOWSKY et al. 2008).

Nach dem Regionalmodell *STARS II* wird die Jahresmitteltemperatur in Sachsen-Anhalt in der Periode 2041 bis 2070 auf rund 11,4 °C im Flächenmittel (s. Abb. 15, links) ansteigen. Im Vergleich zur aktuellen Referenzperiode 1991–2020 entspricht dies einer Temperaturerhöhung um knapp 2 K und zur vorindustriellen Zeit von ungefähr 3,5 K. Besonders die Hochlagen des Harzes würden sich überdurchschnittlich stark erwärmen. Ebenso würden die Temperaturen in den südlichen und östlichen Landesteilen von Sachsen-Anhalt stärker ansteigen als im Landesmittel, während in der Altmark sowie der Börde der Temperaturanstieg mit 1,5 K etwas geringer ausfallen würde. Im östlichen Sachsen-Anhalt wird nach den Modellrechnungen die Jahresmitteltemperatur regional mehr als 12 °C betragen.

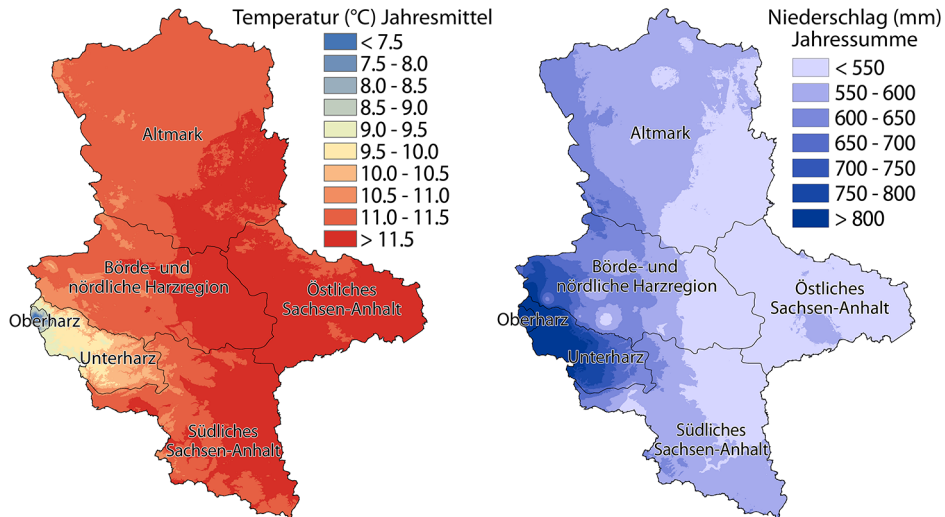


Abbildung 15: Jahresmitteltemperatur und mittlere Jahresniederschlagssumme in der Periode 2041–2070 für das Klimaszenario RCP8.5, berechnet mit dem Modell STARS II (Medianlauf)

Im Gegensatz zur Temperaturentwicklung weist die Jahresniederschlagssumme keine Veränderung auf. Nach den Ergebnissen des *STARS II*-Modells (Medianlauf) wird die langjährige Niederschlagsmenge im Flächenmittel von Sachsen-Anhalt mit rund 580 mm den heutigen Summen entsprechen. Allerdings käme es im Tiefland zu einer geringen Abnahme der Niederschläge, die in den östlichen Landesteilen bis zu 50 mm beträgt, während im Harz und den angrenzenden Gebieten die Niederschläge insbesondere in den Hochlagen um 50 bis 100 mm zunehmen würden. Für die tiefen Lagen im östlichen und südlichen Sachsen-Anhalt werden für die Periode 2041 bis 2070 mittlere Niederschlagshöhen von teilweise weniger als 500 mm im Jahr berechnet. Die Verteilung der Niederschläge im Jahr wird sich nach den Modellsimulationen allerdings deutlich verschieben. Während im Sommer die Niederschläge signifikant abnehmen werden (regional um bis zu 20 %), ist in den Wintermonaten mit einer deutlichen Zunahme der Niederschlagshöhe zu rechnen.

4 Grundlagen der klimaangepassten Baumartenempfehlung

Martin Buresch, Jan Evers, Hans Hamkens, Henning Meesenburg, Ralf-Volker Nagel, Uwe Paar, Hermann Spellmann, Johannes Suttmöller

4.1 Forschungsansatz

Der Forschungsansatz der 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 Bezugs-tiefe 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 Klimastufen der forstlichen Standorterkundung berücksichtigt wurden.

Tabelle 6: Trockenstress-Risikoklassifizierung wichtiger Baumarten im Anhalt an die Standortwasserbilanz – Saldo aus klimatischer Wasserbilanz in der Vegetationsperiode (Grasreferenz) und nutzbarer Feldkapazität (nFK)

Trockenstress-risiko	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
Weitere Baumarten	-Roterle -Moorbirke	-Weißtanne -Japanlärche -Bergulme -Schwarznuß	-Roteiche -Ahornarten -Esche -Hainbuche -Linde -Europ. Lärche -Küstenstanne	-Sandbirke -Schwarzkiefer

Die verwendeten Schwellenwerte der Trockenstressgefährdung (s. Tab. 6) beruhen auf Literaturangaben, Inventurauswertungen und Expertenwissen und bewerten die

Vitalität, Widerstandsfähigkeit und Leistungsfähigkeit der Baumarten, ohne jedoch bei hoher Gefährdung deren absolute Verbreitungsgrenzen aufzuzeigen (SPELLMANN et al. 2007, 2011, SUTMÖLLER 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.

Die weiteren Auswirkungen der sich ändernden Klimabedingungen auf Wälder werden baumartenspezifisch mit Hilfe von statistischen Modellen funktional beschrieben. 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. Ebenso wird eine Berücksichtigung von ganzen Klimaensembles künftig fokussiert. Eine Integration in das Entscheidungsunterstützungssystem ist in einem nächsten Arbeitsschritt vorgesehen (s. Kap. 9.2, 10 und 11). 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.

4.2 Datengrundlagen

4.2.1 Klimatische Wasserbilanz

Die Klimatische Wasserbilanz kennzeichnet den Überschuss oder das Defizit des gemessenen Niederschlags gegenüber dem potenziellen Verdunstungsverlust der Vegetation. In Anlehnung an die FAO-Norm (*Food and Agriculture Organisation of the United Nations*) wird die potenzielle Verdunstung für eine einheitliche Grasbedeckung berechnet (ALLEN et al. 1998). Die KWB wird als 30jähriger Mittelwert für die Vegetationsperiode ermittelt. Der Vegetationsbeginn wird nach dem Verfahren von MENZEL u. FABIAN (1999) für die Fichte getrennt für die Bilanzierungsperioden berechnet, sodass die in Zukunft erwartete Verlängerung der Vegetationszeit bei der KWB berücksichtigt werden konnte. Das Ende der Vegetationszeit wird in Anlehnung an VON WILPERT (1990) nach ALBERT et al. (2017) festgelegt.

Bereits in der aktuellen Klimareferenzperiode wird im Flächenmittel von Sachsen-Anhalt ein Defizit von rund 220 mm in der KWB für die Vegetationszeit ausgewiesen. Dabei werden in der östlichen Altmark und Börde und in weiten Teilen des östlichen Sachsen-Anhalts Werte von unter -250 mm bis knapp -300 mm erreicht (s. Abb. 16, links). Nur die westlichen Landesteile und der Unterharz weisen eine langjährige KWB von > -200 mm auf. Im Oberharz werden unter den heutigen Klimabedingungen aufgrund der hohen Niederschläge und des geringeren Verdunstungsanspruches positive Klimatische Wasserbilanzen von teilweise über 300 mm berechnet. Im Jahr 2018 wurde in weiten Teilen Deutschlands die bisher stärkste

Dürre seit Beginn der regelmäßigen Messungen im Jahr 1881 beobachtet. In der Vegetationsperiode 2018 betrug die KWB landesweit in Sachsen-Anhalt rund -450 mm. Für die trockensten Regionen wurden sogar Werte von unter -500 mm geschätzt.

In Zukunft werden sich die Wasserbilanzdefizite in Sachsen-Anhalt weiter erhöhen und in der Periode 2041 bis 2070 im Landesmittel bei rund -350 mm liegen. Die Ursachen für die starke Abnahme in der KWB sind trockenere Sommer bei gleichzeitig zunehmenden Verdunstungsanspruch der Pflanzen infolge höherer Temperaturen. In weiten Teilen des östlichen Sachsen-Anhalts wird im langjährigen Mittel die KWB bei -450 mm liegen (s. Abb. 16, rechts). Dies entspricht annähernd den Werten des Jahres 2018. In diesen Gebieten ist im Vergleich zur aktuellen Referenzperiode auch mit der stärksten Abnahme der KWB zu rechnen. Nur in den höchsten Lagen des Harzes werden zukünftig nach dem verwendeten Klimamodell noch positive Werte für die KWB erwartet. Für die Altmark, das nördliche Harzvorland, die Börde und das südliche Sachsen-Anhalt werden vielfach Klimatische Wasserbilanzen von weniger als -350 mm berechnet. In einzelnen extremen Trockenjahren sind durchaus noch weit größere Wasserbilanzdefizite denkbar.

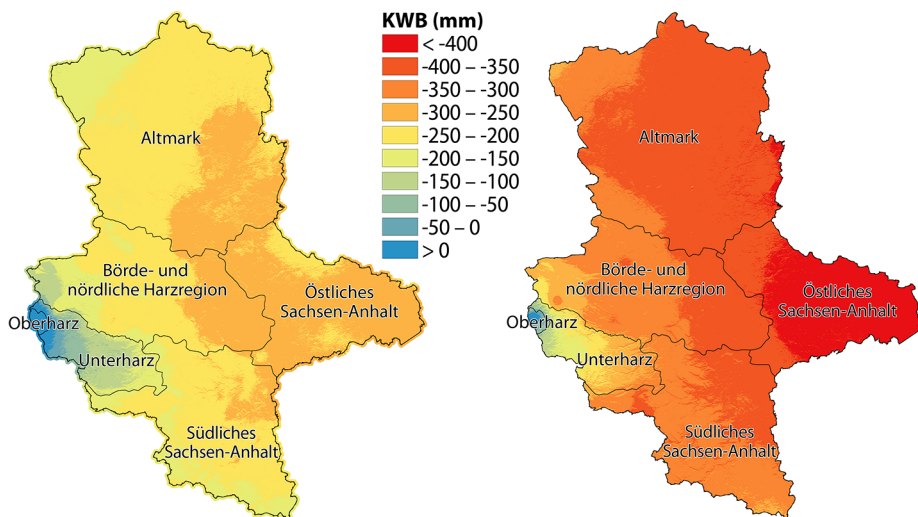


Abbildung 16: Klimatische Wasserbilanz in der aktuellen Klimanormalperiode (1991–2020, links) und in der Periode 2041–2070 für das Klimaszenario RCP8.5, berechnet mit dem Modell STARS II (Medianlauf, rechts)

4.2.2 Berechnung der nutzbaren Feldkapazität

4.2.2.1 Methodik

Die nutzbare Feldkapazität (nFK), auch nutzbare Wasserspeicherkapazität genannt, entspricht der Menge an Wasser im Boden zwischen Feldkapazität und permanenten Welkepunkt. Unter der Feldkapazität wird die Menge an Bodenwasser bezeichnet, die gegen die Schwerkraft im Boden gehalten werden kann. Durch Adhäsions- und Kohäsionskräfte wird in sehr feinen Poren des Bodens das Wasser so stark gebunden, dass es von Pflanzen nicht mehr aufgenommen werden kann, dies entspricht dem permanenten Welkepunkt (auch als Totwasser bezeichnet). Die nFK ist damit eine vom Porensystem des Bodens abhängige Größe. Vor allem die Bodenart (aus der Kombination von Ton-, Schluff- und Sandgehalt) und die Dichte des Bodens haben hierauf einen Einfluss. Sehr sandige Böden, aber auch tonige Böden weisen i. d. R. eine geringe nFK auf, wobei dies durch unterschiedliche Porenverteilung bedingt ist. Sande besitzen überwiegend mittlere bis feine Grobporen und damit eine geringe Feldkapazität, während Tone durch ihren hohen Anteil an Feinporen einen sehr hohen Totwasseranteil aufweisen. Schluff besitzt aufgrund des hohen Anteils an Mittelporen hingegen eine hohe nFK. Die allgemeinen Beziehungen zwischen der Feinbodenart und der nFK können durch die Dichte des Bodens verändert werden, da auch diese die Porenverteilung beeinflusst. Für Waldböden muss auch der Anteil der organischen Substanz berücksichtigt werden, da diese ebenfalls die Bindung des pflanzenverfügbaren Wassers begünstigt und im Vergleich zu landwirtschaftlich genutzten Böden deutlich höher ist. In Abhängigkeit des Gehaltes an organischer Substanz und Feinbodenart werden Zuschläge bei der Berechnung der nFK vergeben.

Daneben haben aber auch die Entwicklungstiefe der Böden und der Steingehalt (> 2 mm) einen entscheidenden Einfluss. Für eine ökologische Beurteilung muss die, i. d. R. horizontweise berechnete, nFK (in Vol-%) auf eine Bezugstiefe bezogen werden (effektiver Wurzelraum, fixe Tiefe), um die absolute Menge an pflanzenverfügbarem Wasser (in mm oder l/m^2) eines Standortes zu bestimmen. Dafür wird auch der Steingehalt des Bodens abgezogen. Dadurch haben sehr flachgründige und/oder sehr steinreiche Böden eine geringe nFK, obwohl ggf. im Feinboden eine günstige Porenverteilung vorliegt.

Für die Bestimmung der nFK wird auf sog. Pedotransferfunktionen (PTF) zurückgegriffen. Diese stellen die Zusammenhänge zwischen der nFK und den im Feld leicht zu erhebenden Proxy-Variablen dar. Für die Regionale Waldbauplanung in Sachsen-Anhalt wurde die nFK über die PTF nach DEHNER et al. (2015) berechnet. Über die zuvor beschriebenen Eingangsgrößen Feinbodenart und Dichte (Trockenrohdichte), werden Schätzwerte für die nFK in Vol-% abgeleitet. Diese Kennwerte werden anschließend um den Steingehalt (in Vol-%) reduziert und ggf. in Abhängigkeit des Humusgehaltes und der Feinbodenart mit einem Zuschlag (in Vol-%) versehen. Durch die Erfassung der Bodenform innerhalb der Standortsform

und ihrer Beschreibung über die Merkmalspiegel werden alle Eingangsvariablen zur Berechnung der nFK bereitgestellt.

4.2.2.2 Datenmodell und Anwendung

Wie bereits in den Kapiteln der deskriptiven Auswertung der Standortseinheiten innerhalb der Naturräume beschrieben, sind in Sachsen-Anhalt sehr viele Lokalbodenformen ausgewiesen, wobei die jeweiligen Flächenanteile mitunter sehr gering sein können. Über das ganze Land betrachtet liegen für die kartierten Waldflächen 1.079 verschiedene Lokalbodenformen vor. Die relativen, kumulativen Flächenanteile der einzelnen Lokalbodenformen über deren Anzahl dargestellt, zeigt einen Verlauf ähnlich einer Wachstumskurve (s. Abb. 17). Es wird deutlich, dass mit verhältnismäßig wenigen Lokalbodenformen und deren Merkmalspiegel große Flächenanteile mit Informationen zur Bodenform belegt werden können. Andererseits muss aber auch beachtet werden, dass der zusätzliche Aufwand zur Aufbereitung und Integration weiterer Merkmalspiegel nur einen marginalen Flächengewinn zur Folge hat. Mit den in Abbildung 17 markierten Lokalbodenformen kann bereits die Hälfte der kartierten Waldfläche abgedeckt werden ($n = 14$). Indes werden für eine Beschreibung der Bodenform auf 85 % der kartierten Waldfläche bereits 146 Lokalbodenformen mit Merkmalspiegeln benötigt.

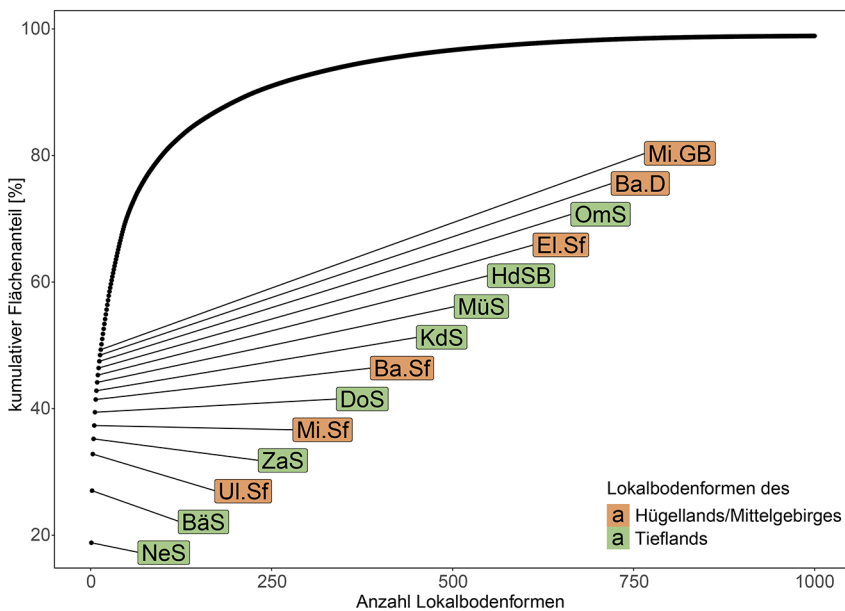


Abbildung 17: Kumulativer Flächenanteil in Abhängigkeit von den kartierten Lokalbodenformen in Sachsen-Anhalt

Die an der NW-FVA vorliegenden Merkmalspiegel decken den Großteil der kartierten Waldflächen ab (s. Abb. 18). Für die Bereiche, die nicht über die Merkmalspiegel abgedeckt werden konnten, wurden die Leitprofile der Vorläufigen Bodenkarte im Maßstab 1:50.000 (VBK50, LAGB 2020) verwendet. Für mehr als 80 % der kartierten Fläche liefern die Merkmalspiegel die Eingangsdaten zur nFK-Berechnung. Die Leitprofile der VBK50 decken dies auf rund 16 % und durch eine Kombination beider Quellen (MMS & VBK) etwa 2 % der Fläche ab (bei Wechselkartierungen). Für 2 % der Waldfläche Sachsens-Anhalts liegen keine Bodendaten vor.

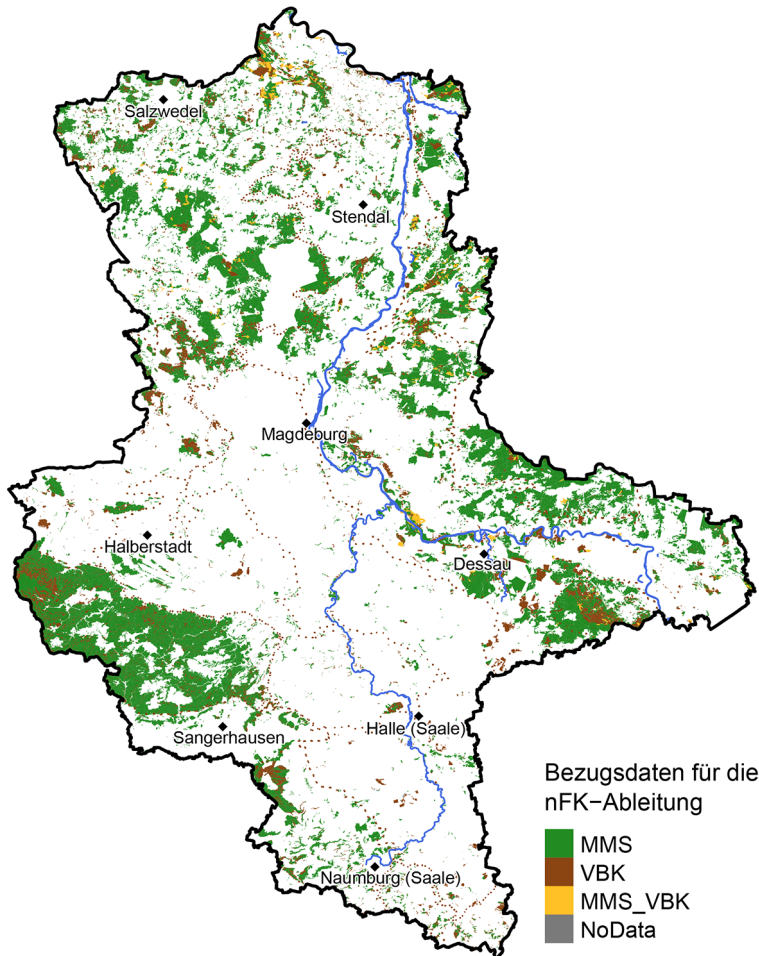


Abbildung 18: Karte zur Herkunft der Eingangsdaten für die Berechnung der nutzbaren Feldkapazität (MMS = Merkmalspiegel der Lokalbodenform, VBK = Leitprofil der Vorläufigen Bodenkarte im Maßstab 1:50.000, MMS_VBK = Kombination beider Datenquellen bei Wechselkartierungen, NoData = Flächen, die von keiner der beiden Quellen abgedeckt sind)

Bei der Vereinigung der Geometriedaten beider Datenquellen kam es vor, dass real kartierte Standortspolygone durch die Polygone der VBK50 unterteilt wurden. Für die Bereiche die über die Merkmalspiegel berechnet wurden hat dies keine Bedeutung, da immer der gleiche nFK-Wert vorliegt. Indes hatte es Auswirkung bei den ausschließlich über die Leitprofile der VBK50 berechneten Geometrien. Daher wurden für diese flächengewichtete Mittelwerte je Standortspolygon aggregiert.

Die nFK wurde grundsätzlich für 1 Meter Bodentiefe berechnet. Auflagehorizonte wurden nicht berücksichtigt, da sie nicht immer vorlagen und die Beschaffenheit der Humusaufgabe über der Zeit höchst dynamisch ist. Abbildung 19 zeigt die Ergebnisse der nFK-Ableitung für jene Standortspolygone, für die die waldbauliche Planung nach der Standortwasserbilanz (SWB, s. Kap. 4.2.3) erfolgt. Die Gesamtfläche SWB-relevanter Standorten beträgt etwa 345.000 ha. Hiervon weisen fast 284.000 ha eine nFK zwischen > 100 mm und ≤ 150 mm auf (Klasse ≤ 150 mm). Im östlichen Mittelgebirge sowie fast im gesamten Hügelland sind nFK-Werte zwischen > 150 mm und ≤ 200 mm (Klasse ≤ 200 mm) sowie > 200 mm und ≤ 250 mm (Klasse ≤ 250 mm) aufgrund der stärkeren Lössbeeinflussung und/oder geringeren Skelettgehalte vorherrschend. Die nFK-Klasse ≤ 100 mm (> 50 mm und ≤ 100 mm) hat mit etwa 8.200 ha noch einen nennenswerten Anteil. Die oberen (> 250 mm) und unteren (≤ 50 mm) Extreme kommen nur marginal vor und nehmen zusammen eine Fläche von rund 1.200 ha ein.

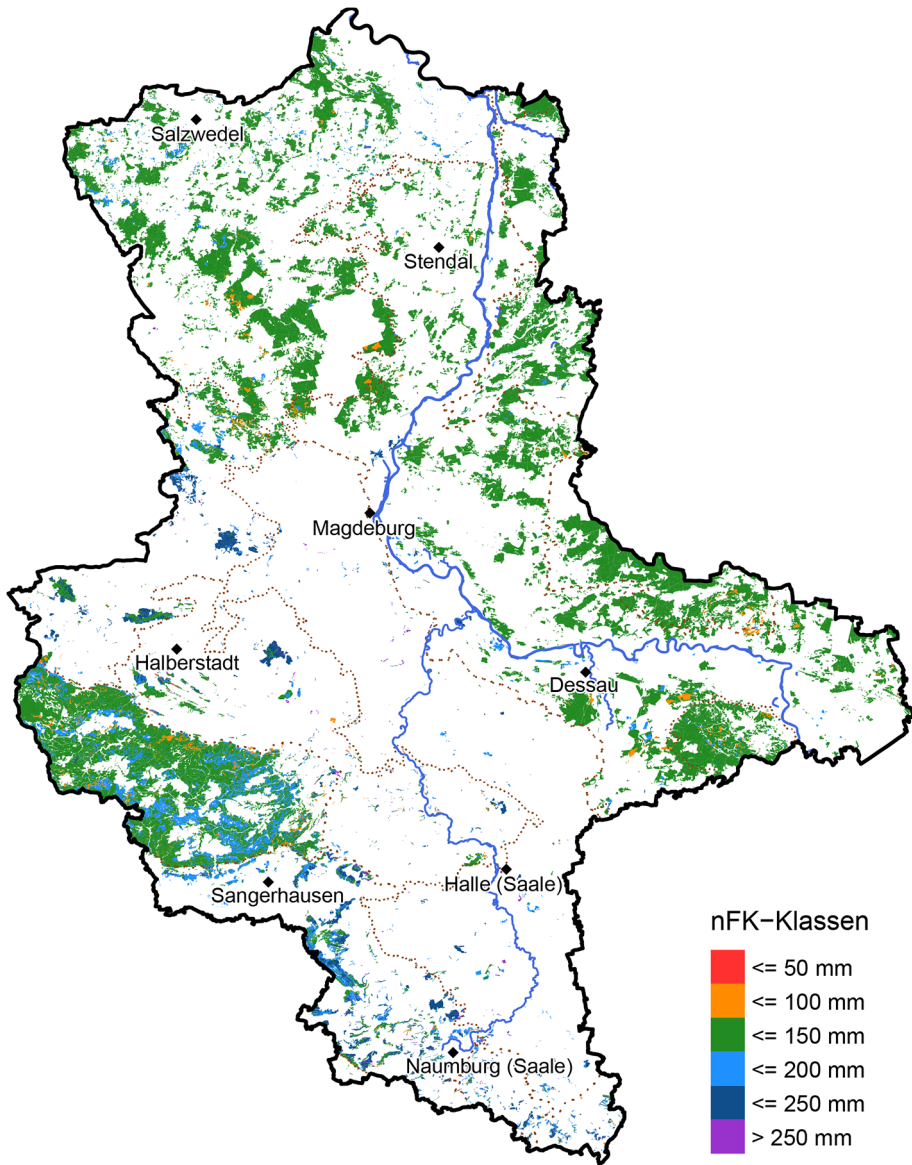


Abbildung 19: Karte der nutzbaren Feldkapazität bezogen auf 1 Meter Bodentiefe für die forstlichen Standortspolygone, die nach der Standortswasserbilanz geplant werden

4.2.3 Standortswasserbilanz

Zur Abschätzung der Wasserversorgung der Wälder wird der Kennwert der Standortswasserbilanz (SWB) in der Vegetationszeit herangezogen. Diese ergibt sich aus der Summe von Klimatischer Wasserbilanz und der nutzbaren Feldkapazität (nFK), also dem pflanzenverfügbaren Bodenwasser. Dabei wird angenommen, dass der Bodenwasserspeicher zu Beginn der Vegetationszeit vollständig gefüllt ist. Bereits unter heutigen Klimabedingungen reicht in einigen Regionen Sachsen-Anhalts das Bodenwasser nicht mehr aus, um eine uneingeschränkte Verdunstung der Pflanzen zu ermöglichen. Im Landesmittel beträgt das Defizit in der Standortswasserbilanz in der Vegetationszeit rund 85 mm. Regional gibt es sehr große Unterschiede. Besonders die Regionen im Osten von Sachsen-Anhalt mit einer hohen negativen KWB und einer geringen Wasserspeicherkapazität pflanzenverfügbaren Bodenwassers weisen für die aktuelle Klimareferenzperiode 1991–2020 gebietsweise ein Defizit in der SWB von über 100 mm bis regional über 200 mm auf (s. Abb. 20, links). Die westlichen Landesteile, der Harz und das Hügelland im südlichen Sachsen-Anhalt verfügen im langjährigen Mittel hingegen zurzeit noch über einen Wasserüberschuss.

In der Periode 2041 bis 2070 wird die SWB im Flächenmittel der Waldstandorte auf -225 mm abnehmen. Weite Bereiche des Tieflandes werden dann ein mehr oder minder hohes Defizit in der SWB aufweisen, und nur Standorte mit hohen Bodenwasservorräten und die höheren Lagen des Harzes sind noch durch einen leichten Wasserüberschuss gekennzeichnet (s. Abb. 20, rechts).

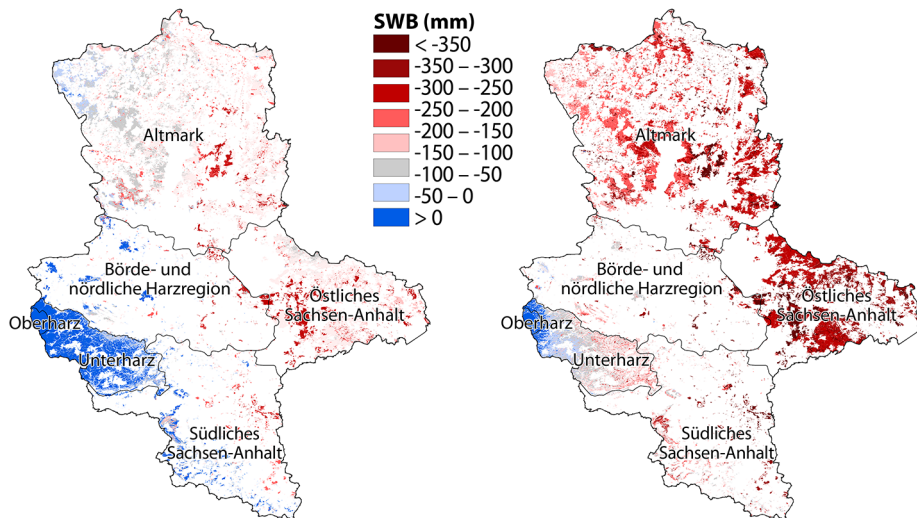


Abbildung 20: Standortswasserbilanz in der aktuellen Klimanormalperiode (1991–2020, links) und in der Periode 2041–2070 für das Klimaszenario RCP8.5, projiziert mit dem Modell STARS II (Medianlauf, rechts)

Sachsen-Anhalt zählt heute bereits zu den trockensten Regionen in Deutschland. Die weitere Erwärmung wird dazu führen, dass sich die Wasserversorgung der Waldstandorte besonders in den östlichen und südlichen Landesteilen deutlich verschlechtern wird. Langjährige Trockenperioden und Dürren werden in Zukunft voraussichtlich häufiger auftreten und den Trockenstress für die Bestände weiter erhöhen.

4.3 Der Waldbau-Algorithmus *baklava*

Um den vielfältigen Anforderungen einer klimaangepassten Baumartenwahl an der NW-FVA nachhaltig und transparent begegnen zu können, wurde der *baklava*-Algorithmus entwickelt. Das Akronym *baklava* steht für Baumartenwahl im Klimawandel (*Ba*-umartenwahl im *Kl*-im-*ama*-ndel). Im Wesentlichen setzt sich der Algorithmus aus zwei Prozessen zusammen: der Baumartenklassifizierung und der Ableitung von Mischbestandstypen (s. Abb. 21). Zielgröße sind die Handlungsoptionen einzelner Standorte in Form von Mischbestandstypen, die je nach Trägerland der NW-FVA unter den Bezeichnungen Waldentwicklungstyp (WET; Niedersachsen und Schleswig-Holstein), Waldentwicklungsziel (WEZ; Hessen) oder Bestandeszieltyp (BZT; Sachsen-Anhalt) bekannt sind.

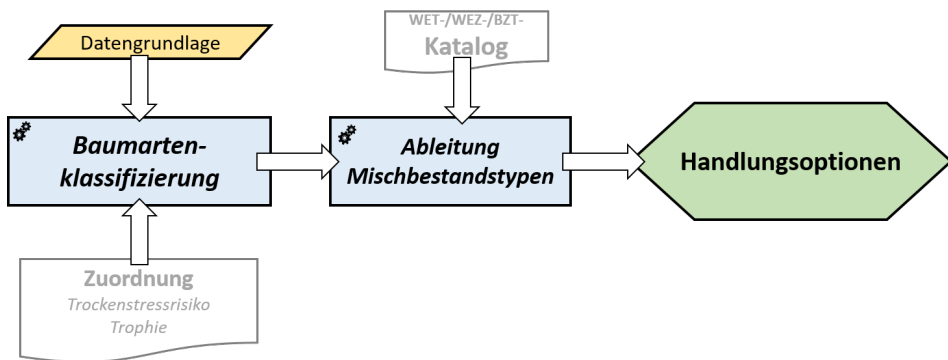


Abbildung 21: Aufbau des *baklava*-Algorithmus

Der Algorithmus wurde programmiert, um die unterschiedlichen Besonderheiten der Trägerländer bei der Waldbauplanung zu berücksichtigen. Darüber hinaus bietet der Algorithmus umfangreiche Auswertungs- und Analysemethoden deskriptiver Natur. Er stellt somit ein wichtiges Instrument strategischer Waldbauplanung dar.

4.3.1 Baumartenklassifizierung

Grundlage aller Klimaanpassungsmaßnahmen ist die Überprüfung, ob auf gegebenem Standort die derzeit dort wachsenden oder dort noch zu verjüngenden Baum-

arten 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 sechs Nährkraftstufen 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 (s. Tab. 6), indem die Hauptbaumarten maximal bis zur Grenze ihrer hohen Trockenstressgefährdung als führend eingeordnet werden. 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 günstigste Standortwasserbilanz-Stufe mit hoher Trockenstressgefährdung verschlechtert, sodass hier die vorhandene Verjüngung nur *vorübergehend* im Sinne kürzerer Produktionszeiten bzw. geringerer Zielstärken in die Waldentwicklung einbezogen werden kann. Begleitbaumarten als weiterer Bestandteil der BZT 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.

Die Abbildung 22 zeigt beispielhaft die Baumartenklassifizierung der Baumart Buche (BU) für Standortkombinationen auf terrestrischen Standorten. Anhand der gestrichelten Trockenstressrisikogrenzen zeigt sich die Klassifizierung der Buche als führende Baumart bis in das mittlere Trockenstressrisiko bei -100 mm SWB.

Da die Beeinflussung des Trockenstressrisikos für Baumarten auf den Nassstandorten nicht durch Standortwasserbilanzen bestimmt werden kann, werden dort für die Zuordnung der Bestandeszieltypen Informationen aus der Standortkartierung angewendet. Zuordnungsgrößen sind hier die Nährkraftstufe und die Feuchtestufe des Bodens sowie des Mesoreliefs. Diese Bodenmerkmale lassen sich bislang nicht klimatisch dynamisieren und entsprechen damit den heutigen Kartierungsständen. Die entsprechenden Tabellen für Baumarten und Bestandeszieltypen sind in HAMKENS et al. (2020) oder auf <http://www.nw-fva.de/baem> (Stand Februar 2023) aufgeführt. Zu den Nassstandorten zählen die organischen/mineralischen Nassstandorte, die Bachtälchen-, die Überflutungs- sowie Standorte mit Wechselfeuchte.

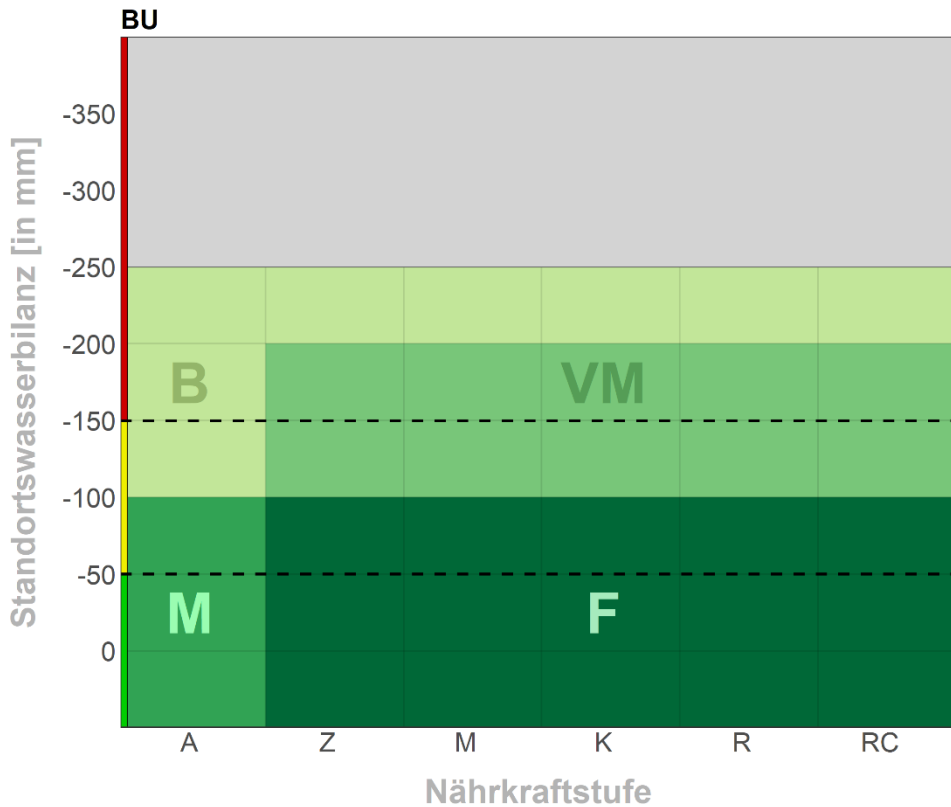


Abbildung 22: Klassifizierung der Buche (BU) auf terrestrischen Standortkombinationen auf Basis der Nährkraftstufe und der Standortswasserbilanzklasse. Die Klassifizierung ist farblich abgestuft in Grüntönen dargestellt: föhrend (F); Mischbaumart (M); vorübergehende Mischbaumart (VM); Begleitbaumart (B). In grauen Bereichen ist die Baumart ausgeschlossen. Die Trockenstressrisikogrenzen sind durch gestrichelte Linien dargestellt.

4.3.2 Empfehlung von Mischbestandstypen

4.3.2.1 Bestandeszieltypen

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 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.

Ausgehend von diesen Überlegungen wurden die Bestandeszieltypen (BZT) für die waldbauliche Planung in Sachsen-Anhalt von einer gemeinsamen Arbeitsgruppe mit Vertretern/in der NW-FVA, des sachsen-anhaltischen Waldbesitzerverbandes, dem Landeszentrum Wald, dem Landesforstbetrieb und dem Ministerium weiterentwickelt. Sie beschreiben Leitbilder des angestrebten Waldaufbaus, der Verjüngungs- und Bestandesziele sowie die konkrete Mischungsform. Der Bestandeszieltypenkatalog umfasst die in Tabelle 7 aufgeführten Bestandeszieltypen, die in HAMKENS et al. (2020) näher beschrieben sind.

Tabelle 7: Überblick über die Bestandeszieltypen

BZT	Zugehörige Baumartengruppe	Beschreibung
10		Kiefer
11		Kiefer – Eiche
14		Kiefer – Laubbäume
15	Kiefer/Lärche	Höhenkiefer – Fichte – Laubbäume
16		Kiefer – Douglasie/Küstentanne – Buche
17		Lärche – Höhenkiefer – Laubbäume
18		Lärche – Laubbäume
19		Japanlärche – Laubbäume
20		Fichte
22	Fichte	Fichte – Buche
23		Fichte – Bergahorn
31		Douglasie – Roteiche
32		Douglasie – Buche
35	Sonstiges Nadelholz	Douglasie – Fichte – Buche
37		Douglasie – Kiefer – Laubbäume
38		Küstentanne – Buche
39		Weißtanne – Buche
40		
41		Stieleiche – Hainbuche
42		Stieleiche – Buche
43	Eiche	Stieleiche – Edellaubbäume
44		Eiche – Birke
47		Eiche – Kiefer – Sandbirke
48		Roteiche – Buche

(Fortsetzung Tabelle 7)

BZT	Zugehörige Baumartengruppe	Beschreibung
50		Buche
51		Buche – Eiche
53	Buche	Buche – Edellaubbäume
55		Buche – Fichte
56		Buche – Douglasie
58		Buche – Lärche
59		Buche – Tanne – Fichte
61		Edellaubbäume – frischer Typ
63	Hartlaubholz	Edellaubbäume – trockener Typ
64		Esche/Flatterulme – Roterle
66		Wildkirsche (Bergahorn)
70		Roterle
72		Aspe mit Birke
74	Weichlaubholz	Moorbirke (Kiefer/Fichte/Roterle)
75		Linde – Laubbäume
77		Sandbirke – Kiefer (Eiche)
79		Weide (Schwarzpappel)

4.3.2.2 Ableitung der Bestandeszieltypen

Grundlage für die Ableitung der BZT ist einerseits die Baumartenklassifizierung auf gegebenen Standort und andererseits die Mischungsvorgaben, die durch den BZT-Katalog definiert sind (s. auch Abb. 21). In Abhängigkeit besagter Baumartenklassifizierung lassen sich für alle terrestrische Standortskombinationen (SWB/Trophie) Bereiche identifizieren, auf denen ein BZT grundsätzlich empfohlen wird. Diese sogenannten Planungsbereiche ergeben sich aus der Schnittmenge der minimal erforderlichen Ansprüche der Baumarten des jeweiligen BZT.

Am Beispiel der Abbildung 23 zeigt sich, dass an die führende Baumart des dargestellten BZT die höchste Klassifizierung gefordert ist. In diesem Falle ist es der Bereich, in dem die Traubeneiche (TEI) mit *F* klassifiziert ist. An die Mischbaumart Buche (BU) sind etwas geringere Anforderungen gestellt, sodass hier die Bereiche mit der Einordnung *M* oder *F* ausreichend sind. Eine Besonderheit stellen die Alternativbaumarten dar. Um BZT möglichst weit fassen zu können, wurden für eine ganze Reihe an BZT Alternativbaumarten zugeordnet, die die primäre Baumart aus waldwachstumskundlicher Sicht ergänzen oder ganz ersetzen können. Am Beispiel des BZT 40 kann diese Rolle die Hainbuche (HBU) übernehmen. Das bedeutet, dass

sich dadurch auch der grundsätzliche Planungsbereich in den meisten Fällen erweitert. Diese Darstellungsweise birgt allerdings auch die Gefahr einer Fehlinterpretation der konkret empfohlenen Baumarten. Entsprechend der Klassifizierung der Buche beschreibt der Planungsbereich des BZT 40 ab einer SWB von -100 mm und schlechter keine Empfehlung der Buche als Mischbaumart. Auf solchen Standorten kann nur die Hainbuche als empfohlen gelten. Begleitbaumarten wurden bewusst nicht als eindeutige Baumart in die Empfehlung übernommen. Der Katalog bietet hier allerdings plausible Beispielbaumarten.

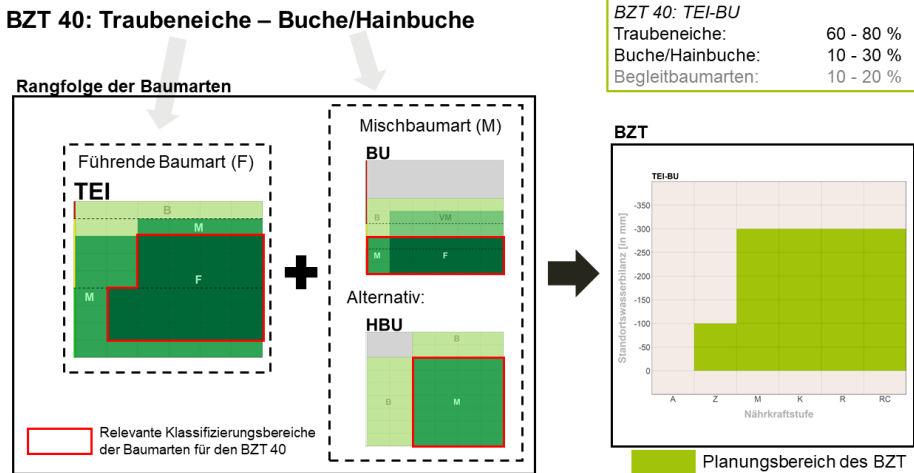


Abbildung 23: Ableitung des Planungsbereiches des BZT 40 (Traubeneiche – Buche/Hainbuche) auf Basis der Baumartenklassifizierung. Der Planungsbereich ergibt sich aus der Schnittmenge der relevanten Klassifizierungsbereiche (rot) der am BZT beteiligten Baumarten.

Anhand der einzelnen Planungsbereiche der BZT kann die Anzahl geeigneter BZT je Standortkombination aus Standortwasserbilanz und Nährkraftstufe ermittelt werden. Abbildung 24 zeigt, dass sich in den frischeren und besser nährstoffversorgten Bereichen der Standortsskala eine große Vielfalt an empfohlenen BZT ergibt. Ein Abfall ist allerdings auf den karbonatischen Standorten (RC) zu beobachten. Je trockener die klimatische Prognose ausfällt, desto weniger BZT stehen für die Planung zur Verfügung. Ein deutlicher Abfall ist ab einer SWB von -300 mm und schlechter zu verzeichnen. Auf reichen/reich-karbonatischen Standorten mit einer SWB von ≤ -350 mm kommt keine Empfehlung zustande. Das ist für die Planung in Sachsen-Anhalt allerdings unbedeutend, da diese Standortkombination nicht im tatsächlichen Datensatz vorkommt (s. a. Abb. 26).

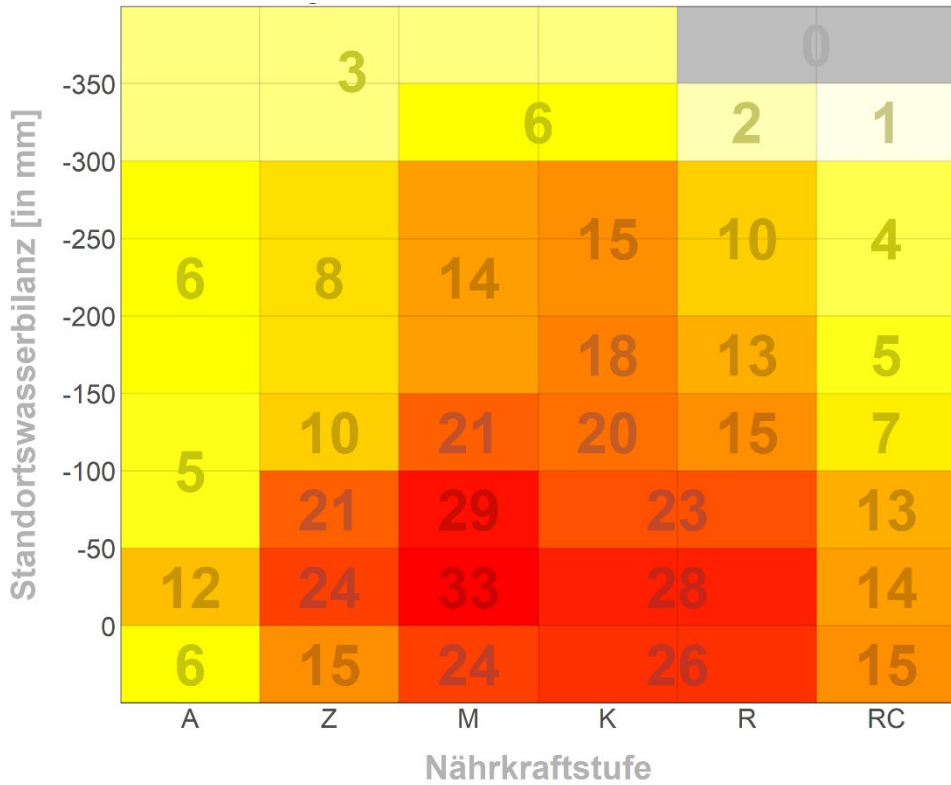


Abbildung 24: Anzahl möglicher BZT der terrestrischen Standortskombinationen auf Basis der Nährkraftstufe und der Standortswasserbilanzklasse

4.3.3 Restriktionen

Über die grundsätzlichen BZT-Empfehlungen auf Basis der standörtlichen und klimatischen Grundlage hinaus, ist der Algorithmus in der Lage Restriktionen bei der Baumartenklassifizierung oder der BZT-Empfehlung zu berücksichtigen. Die Gründe für die Anwendung von Restriktionen können vielfältig sein. Neben strategischen können auch waldwachstumskundliche oder physiologische Gesichtspunkte eine Rolle spielen, die durch Standortswasserbilanz und Trophie nur bedingt erfasst werden können. Für die Empfehlung in Sachsen-Anhalt wurden daher folgende Restriktionen bezüglich der Baumartenklassifizierung vorgenommen:

- 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 bis -100 mm ist keine führende Sandbirke vorgesehen, um diesen Standortbereich 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 den reichen Kalkstandorten sind mehrere Baumarten ausgeschlossen, um Rotfäule oder Ernährungsungleichgewichten vorzubeugen.
- Die Fichte ist auf den hydromorphen Standorten des Tieflandes nicht vorgesehen.

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.

Im Zuge des Klimawandels ist außerdem zu erwarten, dass sich in den höheren Lagen des Berglandes die klimatischen Bedingungen für bestimmte Baumarten mit der Zeit verbessern werden. Da zunächst aber noch mit den für diese Lagen typischen Gefährdungen durch Schnee und Frost gerechnet werden muss, gelten für die Begründung und Etablierung bestimmter Baumarten Anbaugrenzen, die sich an den Höhenstufen der Standortkartierung orientieren (s. Kap. 2.1). Sie sind in Tabelle 8 zusammengefasst. Die Anbaugrenzen beziehen sich dabei auf eine führende Rolle der genannten Baumarten.

Tabelle 8: *Anbaugrenzen ausgewählter Baumarten im Bergland im Anhalt an heutige Klimastufen*

Anbaugrenze	Klimastufe	Baumart
Höhere Berglagen	Hf, Hff	Buche, Douglasie, Lärche
Mittlere Berglagen	Mf, Mff	Stiel-, Trauben- und Roteiche, Schwarznuß, Küstentanne, Hainbuche, Edellaubbäume (außer Bergahorn)

Bezüglich der BZT gibt es darüber hinaus noch weitere Restriktionen:

- Die Kiefern-BZT 10, 11, 14 und 16 werden ausschließlich in der Standortsregion *Tiefland* empfohlen.
- Die BZT mit der Beteiligung der Höhenkiefer (BZT 15 und 17) werden ausschließlich in den Standortsregionen *Hügelland* und *Mittelgebirge* empfohlen.
- Die beiden Edellaubtypen (BZT 61 und 63) werden durch die Grenze von -100 mm SWB getrennt.
- Die BZT 74 und 79 werden ausschließlich auf Nässtandorten empfohlen.

Ergänzend ist darauf hinzuweisen, dass die Potenzialabschätzung der Baumarten keine Restriktionen berücksichtigt, die sich aus Schutzgebiets- und Zertifizierungsaufgaben ergeben. Grundsätzlich wird nicht zwischen natürlicher und künstlicher Bestandesbegründung unterschieden. Dies muss betrieblich unter Einbeziehung der waldbaulichen Ausgangslage entschieden werden.

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.

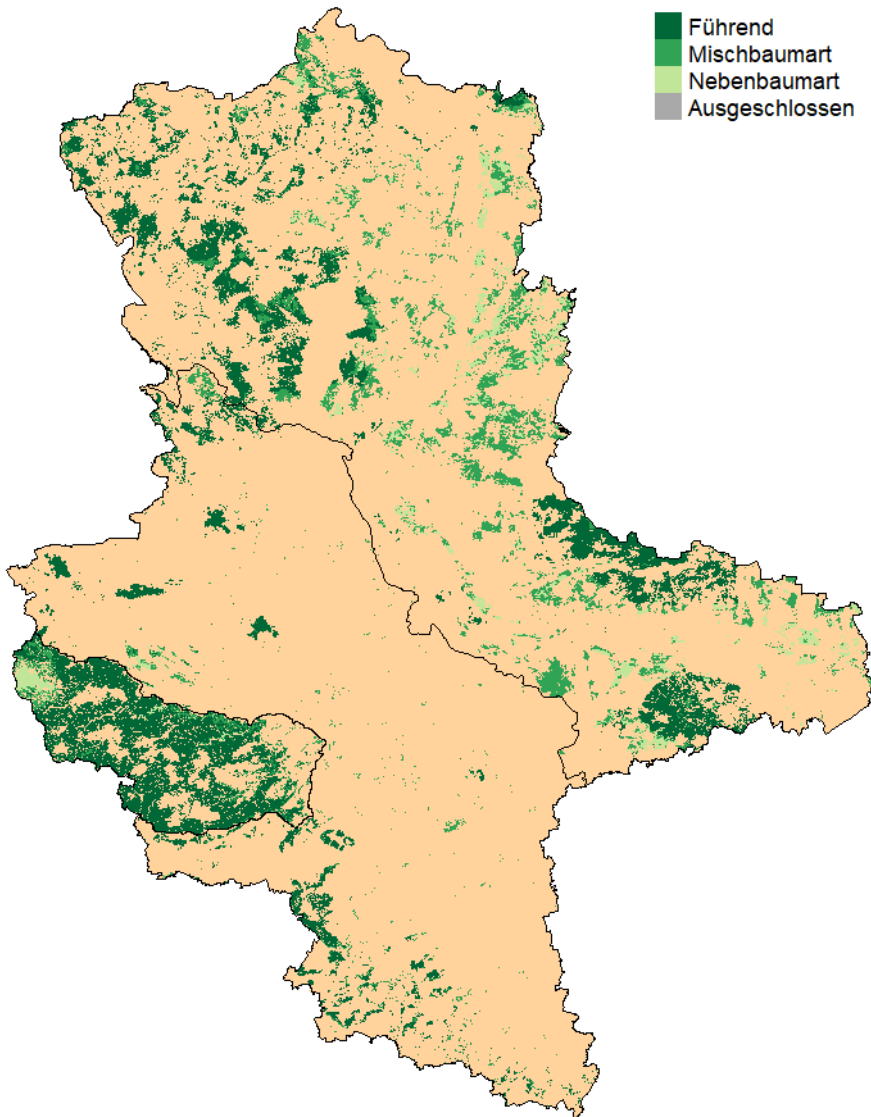


Abbildung 25: Räumliche Verteilung der Baumartenklassifizierung der Buche gemäß des Runderlasses 42.-64210/2 von 2011

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.

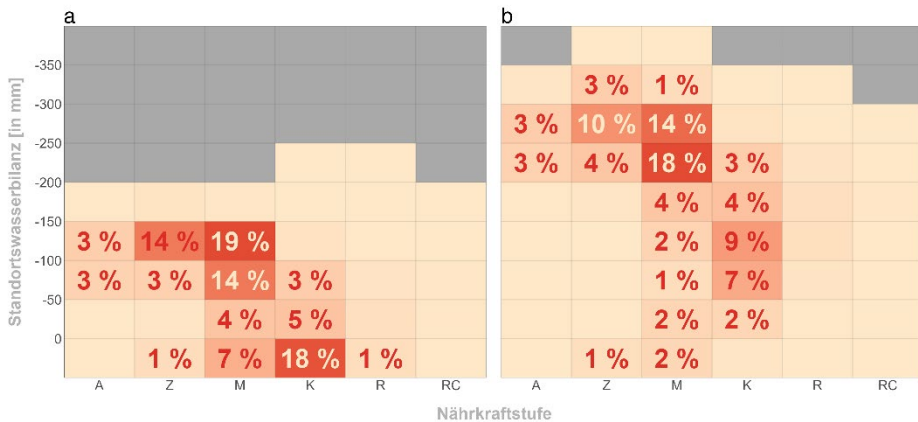


Abbildung 26: Vergleich der Flächenverteilung der terrestrischen Standortkombinationen auf Basis der Nährkraftstufe und der Standortwasserbilanzklasse. Die Verteilung wird für die aufgezeichneten Klimadaten des DWD der Periode 1981 bis 2010 (a) und dem ECHAM6/STARS II-Klimalauf der Periode 2041 bis 2070 (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	Fläche [in Tsd. ha]	Potenzialflächen			Fläche [in Tsd. ha]	Anteil	Differenz
		Brutto		Netto			
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.

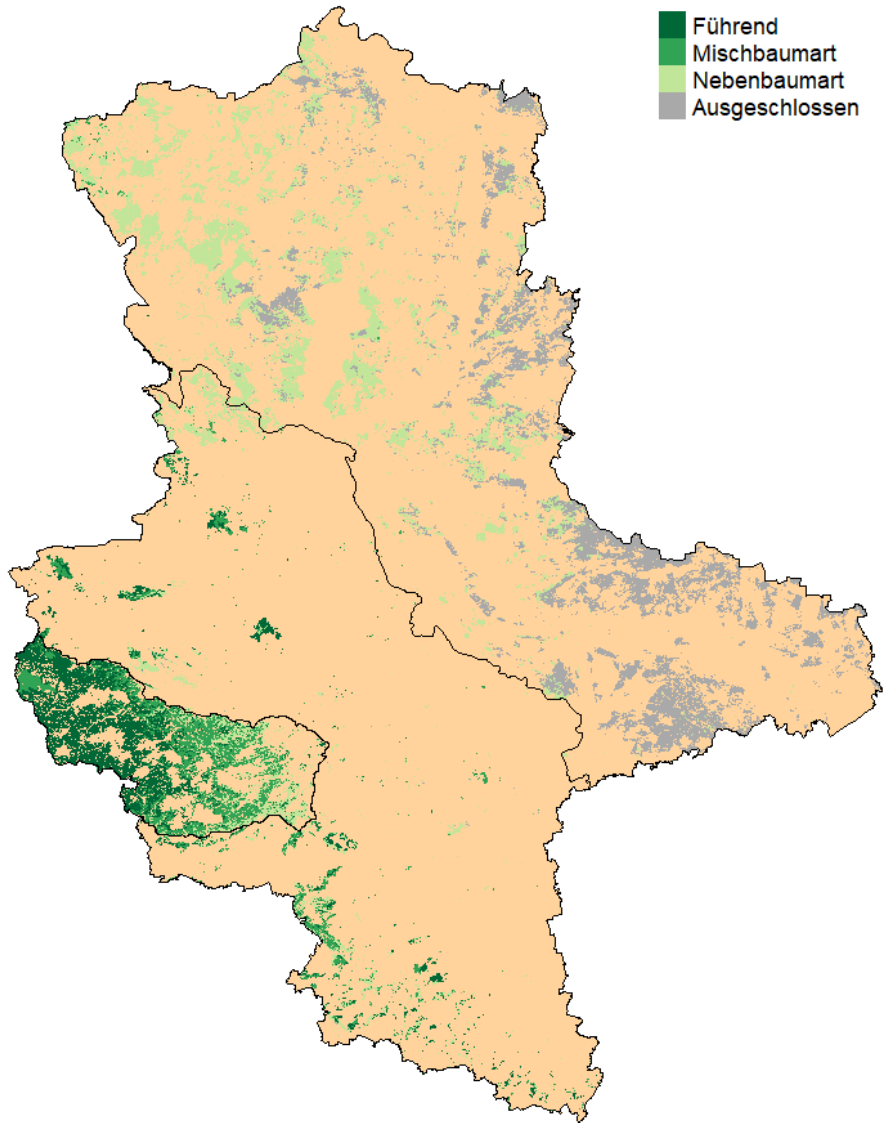


Abbildung 27: Klassifizierung der Buche (BU) für das Emissionszenario RCP8.5 (Klimalauf ECHAM6/STARS II; Klimaperiode: 2041 bis 2070)

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.

6 Digitaler Wissenstransfer

Heidi Döbbeler, Jan Hansen

6.1 IT im Wald?

Die praktische Unterstützung im Wald bei der Wahl geeigneter Bestandeszieltypen (BZT) war das Ziel der Entwicklung einer App für mobile Endgeräte (Smartphone, Tablet etc.) als Ergänzung zum bestehenden Webportal der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (<https://www.nw-fva.de/BaEm/>). Mit Hilfe der App können die notwendigen Informationen einfach, schnell und aktuell und vor allem direkt vor Ort bereitgestellt werden. Mit einem GPS-fähigem mobilen Gerät lässt sich die Position eines Bestandes hinreichend genau ermitteln, sodass für diesen Baumartempfehlungen und die zugrundeliegenden Daten über einen entsprechenden Web-Service von den Servern der NW-FVA abgerufen werden können.

Ein wesentlicher Vorteil der App gegenüber einem analogen Kartenwerk besteht darin, dass bei zukünftigen Änderungen der Entscheidungsgrundlagen (Klimaszenarien, Trockenstressgrenzen, Restriktionsparameter etc.) nicht erst ein neues Kartenwerk erstellt und verteilt werden muss, sondern im laufenden Betrieb Änderungen am Entscheidungsbaum für die BZT-Planung (HAMKENS et al. 2020) vorgenommen und der Praxis schnell und ohne großen Aufwand bereitgestellt werden können. Des Weiteren können der Forstpraxis so Informationen zur Verfügung gestellt werden, die aus urheberrechtlich geschützten Daten abgeleitet werden, welche den Forstbetrieben nicht oder nur schwer zugänglich sind.

6.2 Methoden des digitalen Wissenstransfers

Für den digitalen Wissenstransfer in Sachsen-Anhalt wurden die Entscheidungshilfen zur klimaangepassten Baumartenwahl den kommunalen- und privaten Waldbesitzenden zunächst in Form eines frei zugänglichen Webportals (HANSEN 2020) unter der Adresse <https://www.nw-fva.de/BaEm/map.jsp?st=1> zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus können der dem gesamten Dienst zugrundeliegende REST-WEB-Service und der WMS (*Web Map Service*) problemlos in andere Softwareprodukte (z. B. Betriebs-/Fachanwendungen) integriert werden. Die Konzeption, die Implementierung, die laufende Wartung und das Hosting des gesamten Systems erfolgen an der NW-FVA.

Als Ergänzung zum Webportal wurden jeweils eine Softwareanwendung (Applikation bzw. App) für die weit verbreiteten Betriebssysteme für mobile Geräte *Android* und *iOS* (Apple) entwickelt (HANSEN 2021, SAUER 2021).

Das Konzept der beiden mobilen Anwendungen basiert auf zwei Hauptkomponenten. Das Fundament bildet der erweiterte REST-Service der Webapplikation *BaEm* (s. Abb. 28). Dieser wurde um Funktionen erweitert, welche die Anwendungen mit allen notwendigen Daten und Medien für die positionsspezifischen Baumartenempfehlungen versorgen. Die REST-Architektur (*Representational State Transfer*) basiert auf dem HTTP-Protokoll und dient vor allem der Maschine-zu-Maschine-Kommunikation. Der Service läuft verteilt auf mehreren *Application*-Servern hinter einem *Load-Balancer*. So können bis zu einer gewissen Anfrageanzahl stabile Antwortzeiten gewährleistet werden. Die Server werden direkt an der NW-FVA gehostet. Es ist zurzeit lediglich eine bzw. die erste Version des Services implementiert.

Somit ergibt sich folgende Basis-URL: <https://www.nw-fva.de/BaEm/rest/v1>. Darunter sind u. a. Funktionen verfügbar, die in Tabelle 12 angegeben sind.

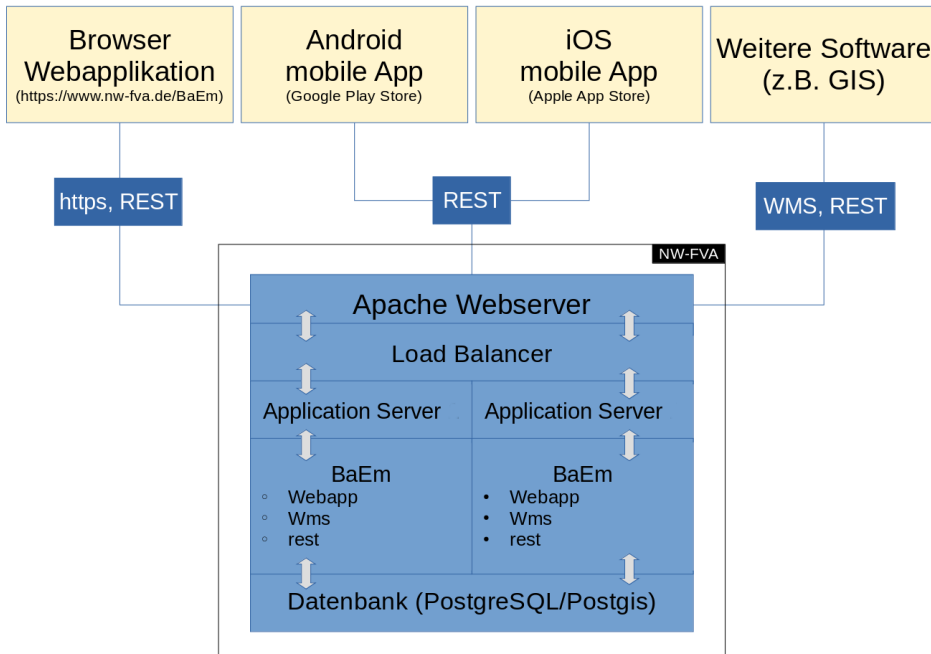


Abbildung 28: Das IT-Konzept von BaEm

Tabelle 12: Übersicht ausgewählter Funktionen des BaEm

Funktion	Beschreibung
<i>/recomm_xy</i>	Abrufen einer Empfehlung zu einer gegebenen Koordinate
<i>/recomm_wkt</i>	Abrufen von Empfehlungen zu einer im WKT-Format (<i>well known text</i>) angegebenen Geometrie
<i>/recomm_wkb</i>	Abrufen von Empfehlungen zu einer im WKB-Format (<i>well known binary</i>) angegebenen Geometrie
<i>/county_supported</i>	Prüft, ob ein Bundesland unterstützt wird
<i>/target_type_info</i>	Liefert weiterführende Informationen zu einem Zieltyp (WEZ/BZT) aus
<i>/target_type_diag</i>	Liefert ein Diagramm zum Empfehlungsbereich (Wasserbilanz/ Nährstoffversorgung) eines Zieltyps aus
<i>/shapefile</i>	Liefert die Empfehlungen in Form eines <i>Shape-Files</i> für eine gegebene <i>Bounding Box</i> aus.
<i>/changelog</i>	Liefert eine Änderungshistorie aus

Die Datenhaltung und die Geodaten-Prozessierung erfolgen zentral in einer *PostgreSQL*-Datenbank mit *Postgis*-Erweiterung.

Die Implementierung der grafischen Nutzeroberfläche (GUI) für die Betriebssystem *iOS* und *Android* bildet zum REST-Service die zweite Komponente bzw. das mobile Gegenstück. Die GUI kapselt die Nutzeranfragen und leitet sie an den REST-Service weiter. Die Antwort des Service wird in der App ausgewertet, aufbereitet und in der jeweiligen GUI dargestellt. Realisiert wurde die *iOS*-App in der Programmiersprache *swift* (APPLE 2022). Die *Android*-Version wurde in *Java* implementiert.

Der hier verwendete Server-Client-Ansatz impliziert, dass die Apps selbst nicht mit dem Datensatz zu den Baumartenempfehlungen ausgestattet sind und die Empfehlungsdaten erst bei einer konkreten Nutzeranfrage vom Server über die REST-Schnittstelle ausgeliefert werden. Dies hat mehrere Vorteile: Zum einen ist der Speicherbedarf für die App auf dem Endgerät sehr gering, zum anderen muss so nicht nach jeder Datenaktualisierung ein Update der App durchgeführt werden. Darüber hinaus können über die Versionierung des REST-Services (nicht der Daten) auch grundlegende Änderungen der hinterlegten Verfahren zur Ableitung der Baumartenempfehlungen problemlos implementiert werden und bei Bedarf parallel angeboten werden.

6.3 Das Webportal und die mobile App

6.3.1 Das Webportal

Das Webportal ist über die Homepage der NW-FVA (<https://www.nw-fva.de/>) zu erreichen. Auf der Startseite der NW-FVA befindet sich der Link „Baumartenempfehlungen“, mit dessen Hilfe man zur allgemeinen Einführungsseite mit der Überschrift „Entscheidungshilfen zur klimaangepassten Baumartenwahl“ gelangt. In der Struktur der Website befindet sich diese Seite unter der Rubrik „unterstützen – Software – Baumartenempfehlungen“ (<https://www.nw-fva.de/unterstuetzen/software/baem/>). Da die NW-FVA für vier Bundesländer zuständig ist und bei der Baumartenwahl länderspezifische Bedingungen berücksichtigen werden, muss auf dieser Einführungsseite zunächst das betreffende Bundesland gewählt werden. Die Seite für Sachsen-Anhalt trägt den Titel „Entscheidungshilfen zur klimaangepassten Baumartenwahl in Sachsen-Anhalt“. Neben dem eigentlichen Zugang zum Webportal befinden sich hier eine Kurzanleitung und die Möglichkeit für Rückmeldungen oder Anfragen. Als Downloads stehen die Broschüre „Entscheidungshilfen zur klimaangepassten Baumartenwahl im Land Sachsen-Anhalt“ sowie Begriffsdefinitionen zur Verfügung.

Das Webportal öffnet sich mit einer Kartenansicht. In der Menüleiste oben befinden sich die Menüpunkte „Koordinaten“, „Datenschutz“ und „Impressum“.

Ein Klick in die Karte auf einen Waldstandort öffnet am rechten Rand der Website ein Fenster, in dem Informationen zur Position, zum Standort und den dort empfohlenen Bestandeszieltypen (BZT) erscheinen. Da der Service einer fortwährenden Weiterentwicklung unterliegt, wird das Datum des Stands angegeben und der Änderungsverlauf kann eingesehen werden.

Ein terrestrischer Standort wird mit der nutzbaren Feldkapazität (nFK), der Klimatischen Wasserbilanz (KWB), der Standortwasserbilanz (SWB) – angegeben in mm und Klassen – sowie der Nährkraftstufe beschrieben. Für Nässtandorte werden die Feuchtestufe des Bodens und Mesoreliefs (FST) sowie die Nährkraftstufe (NKS) angegeben. Die empfohlenen BZT sind nach Typen sortiert aufgelistet. Die Reihenfolge der Liste beinhaltet keine Rangfolge und ist unabhängig von der waldbaulichen Ausgangssituation. Mit einem Klick auf eine BZT-Ziffer öffnet sich eine detaillierte Beschreibung.

Grafisch dargestellt ist das Standortsspektrum des im Auswahlmeneü (*Pull-Down-Menü*) jeweils angewählten BZT. Der gelbe Punkt im Fadenkreuz von Standortswasserbilanz und Nährkraftstufe markiert den ausgewählten Standort im Planungsbereich des BZT (grün) und lässt optisch erkennen, ob er sich in dessen Mitte oder eher am Rand befindet. Zur Überprüfung der Anbaueignung weiterer Baumarten, die ggf. schon auf den Flächen vorhanden sind oder ggf. zusätzlich in die Verjüngung der Bestände einbezogen werden sollen, kann auf die Baumartenzuordnungs-

tabelle zurückgegriffen werden, die wie die BZT-Zuordnungstabelle jeweils für terrestrische und vernässte Standorte abgerufen und heruntergeladen werden kann. Bis zu hundert Standortspolygone (d. h. Flächen gleicher SWB) können angeklickt und dargestellt werden. Das Informationsfenster aktualisiert sich mit jedem erneuten Klick in die Karte. Ausgewählte Polygone können zwischenzeitlich wieder gelöscht werden. Bei einer höheren Auflösung ab dem Maßstab 1:10.000 werden alle Polygone im Kartenausschnitt, farblich codiert für die Standortwasserbilanz, angezeigt. Zusätzlich wird eine Kartenlayer mit dem Abteilungsnetz und der jeweiligen Flächenbezeichnung zur besseren Orientierung eingeblendet.

Die Karte kann den persönlichen Bedürfnissen der Nutzenden angepasst werden. Als Hintergrund-Layer stehen *OpenStreetMap* (OSM), *TopPlus* oder *OSM in Graustufen* zur Verfügung.

Unter dem Menüpunkt „Koordinaten“ sind die Baumartenempfehlungen mittels Eingabe von Koordinaten, wahlweise in den Referenzsystemen *WGS 84* oder *UTM 32 N*, direkt in verschiedenen Formaten abrufbar.

6.3.2 *Mobile Apps für Android und iOS*

Die beiden Apps *Klimaangepasste Baumartenwahl mobil* für *Android* (SAUER 2021) und *Klimaangepasste BaumartenEmpfehlungen (BaEm mobile)* für *iOS* (HANSEN 2021) unterscheiden sich lediglich in der äußeren Form, nicht aber in ihren Grundlagen und den Baumarten- bzw. BZT-Empfehlungen am jeweiligen Standort. Zu finden sind sie in *Google Play*TM, bzw. im *Apple App Store*TM über die Suchbegriffe „nw-fva“, „Baumartenwahl“ o. ä. Die App bietet vier Views bzw. Ansichten an, die über eine Menüleiste am unteren Rand anwählbar sind: *Liste*, *Karte*, *Hilfe* und *Info*.

In der Listenansicht werden die abgerufenen und benannten Standorte gespeichert und nach Erstelldatum sortiert. In Abbildung 29 sind die Listenansichten beider App-Versionen vergleichend dargestellt. Die farbliche Kennzeichnung entspricht der Farbgebung der Standortspolygone in der Risikokarte.

Der Listenansicht folgt für jeden gespeicherten Standort in zweiter Ebene eine Detailansicht zu den Baumartenempfehlungen (s. Abb. 30). Sie besteht aus den Angaben zum Standort, den empfohlenen Bestandeszieltypen, einem Hinweisfeld sowie Verlinkungen. Letztere führen zu weiteren Details zu einem ausgewählten BZT (Grafik zum Standortsspektrum), dem BZT-Katalog und den Zuordnungstabellen.

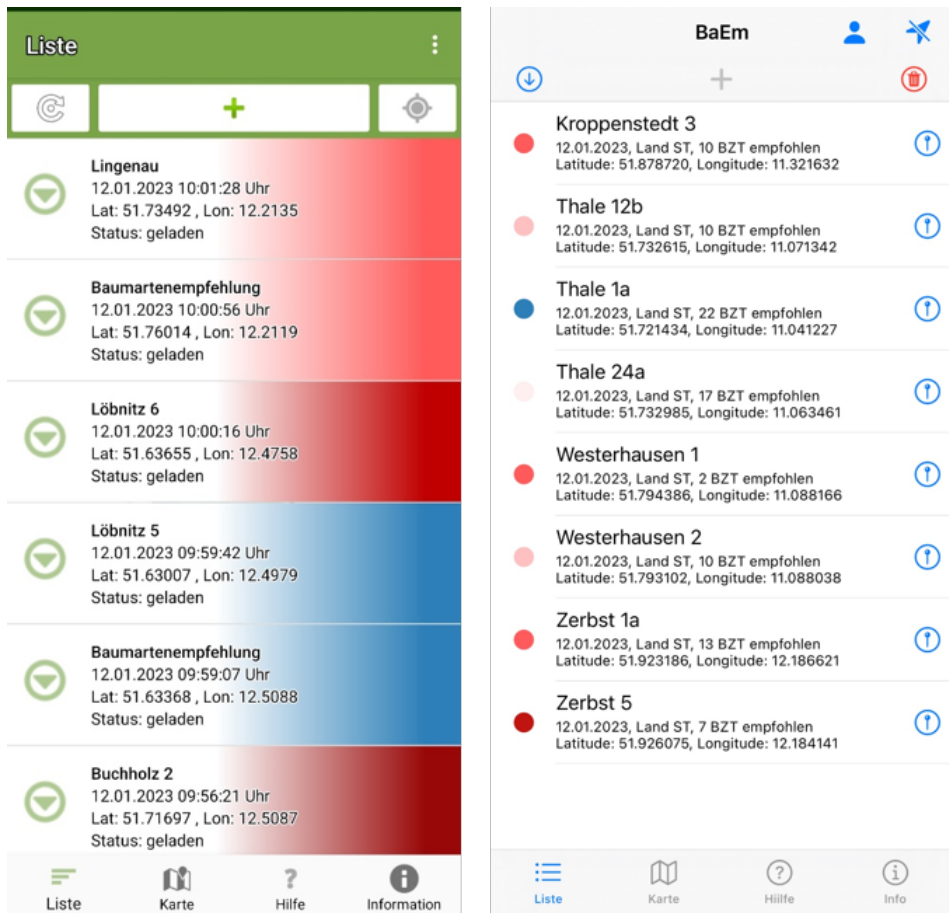


Abbildung 29: Listenansichten der App „Klimaangepasste Baumartenwahl mobil“ für Android (links) und der App „Klimaangepasste BaumartenEmpfehlungen“ für iOS (rechts)

Für die Kartenansicht kann zwischen verschiedenen Kartentypen gewählt werden. Standortpolygone und die eigene Position lassen sich anzeigen, abgerufene Standorte werden markiert (s. Abb. 31). Die Details zur Handhabung von Karte und Liste sind ausführlich in der Bedienungshilfe beschrieben.



Abbildung 30: Detailansicht in zweiter Ebene zu einem abgerufenen Standort am Beispiel der App „Klimaangepasste Baumartenwahl mobil“ für Android

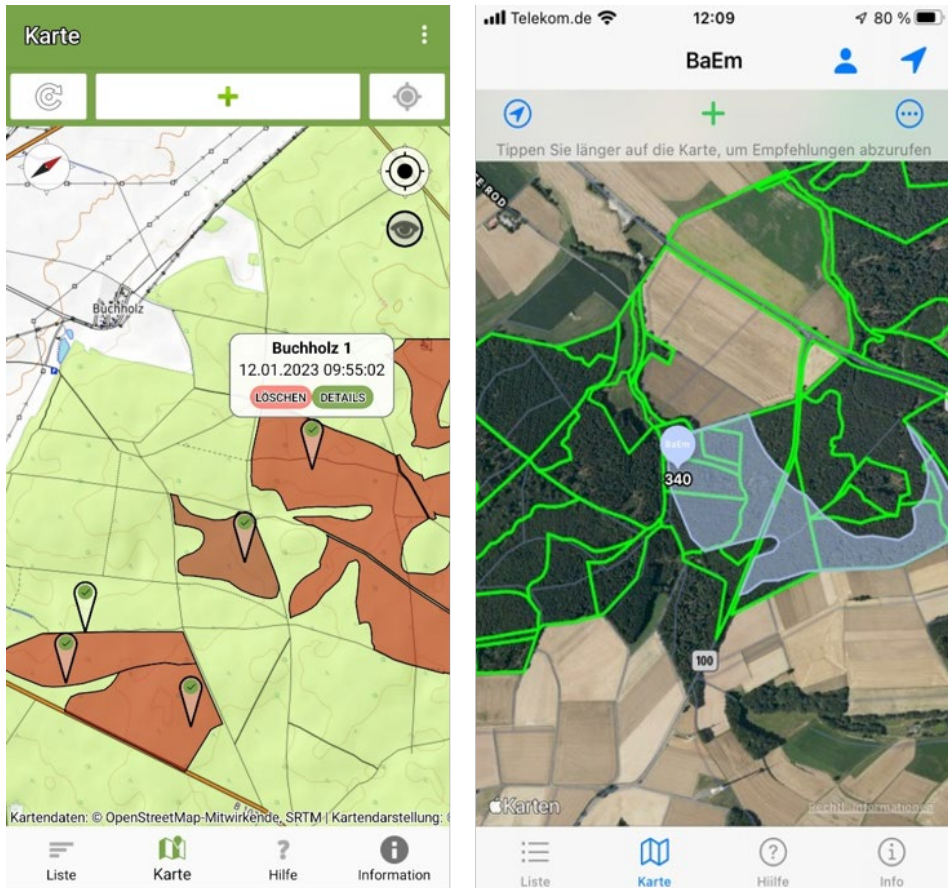


Abbildung 31: Beispiele von Kartenansichten: OpenTopo der App „Klimaangepasste Baumartenwahl mobil“ für Android (links), Luftbild der App „Klimaangepasste BaumartenEmpfehlungen“ für iOS (rechts)

6.3.3 Handhabung von Liste und Karte

Die Hilfe im *Android* Betriebssystem verwendet Screenshots, auf denen die zu erläuternden Punkte markiert sind (s. Abb. 32). Die *iOS* Hilfe beschränkt sich auf einen kompakten Text.

Die Apps starten jeweils in der Listenansicht. Am unteren Bildschirmrand befindet sich eine Tab-Bar. Hier können Sie verschiedene Ansichten aufrufen:

☰ Listenansicht, 🗺️ Kartenansicht, (?) Hilfe, ⓘ Info (Symbolik *iOS*)

In der Listenansicht werden alle auf dem Gerät gespeicherten Positionen und die ggf. dazu geladenen Empfehlungen angezeigt. Die Farbe des Punktes vor den einzelnen Einträgen korrespondiert mit der Farbe der jeweiligen Standortspolygone in

der Kartenansicht. Wenn eine Verortung vorgenommen wird, aber keine Verbindung mit dem Internet besteht, wird die Koordinate gespeichert und die Empfehlungen können bei Netzverfügbarkeit nachgeladen werden. Da die Nutzung des GPS-Moduls energieintensiv ist, kann das GPS-Modul aus- und eingeschaltet werden. Hierzu wird auf den Button ∇ (*iOS*) bzw. \odot (*Android*) oben rechts in der Titelleiste getippt. Um eine Empfehlung am aktuellen Standort abzurufen wird bei eingeschaltetem GPS-Modul der Plus(+)-Button getippt. Es erscheint die Aufforderung den Standort zu benennen, um ihn in die Liste aufzunehmen. Mit \square (*iOS*) bzw. \odot (*Android*) werden noch nicht geladene Empfehlungen abgerufen. Zum Löschen aller gespeicherten Empfehlungen oder von gespeicherten Koordinaten, für die keine Empfehlungen vorliegen, dient das Symbol \square oder der Menüpunkt „Liste leeren“. Die Einträge der Liste lassen sich einzeln aufrufen, um die jeweiligen Empfehlungen im Detail zu erhalten. Ein einzelner Eintrag kann auch über „Wischen“ nach links gelöscht werden (*Android*).

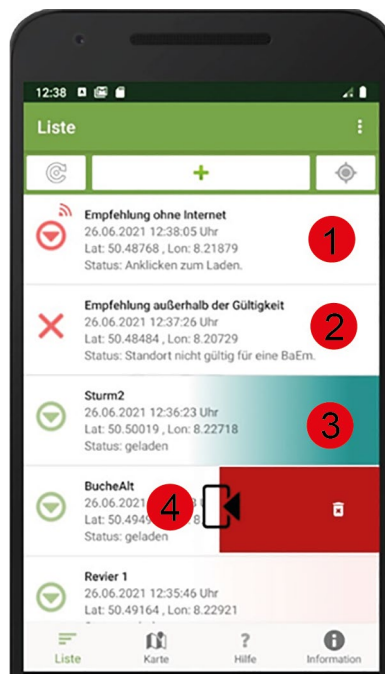


Abbildung 32: Ausschnitt aus der Bedienungshilfe (*Android*) zur Erzeugung von Empfehlungen

Um einen bestimmten Eintrag in der Karte anzuzeigen kann das Pin-Symbol rechts neben einer Empfehlung getippt werden \odot (*iOS*) bzw. der Eintrag selbst angetippt werden (*Android*).

In der Detailansicht werden alle relevanten Informationen zu einer Empfehlung angezeigt. Details lassen sich in der Listenansicht durch Antippen eines Eintrags

aufrufen. In der Karte muss zunächst auf einen Pin und dann in dem sich öffnenden Popup auf das Info-Symbol getippt werden.

Die Details sind je nach Bundesland unterschiedlich strukturiert. Grundsätzlich werden im ersten Abschnitt Datenstand und Position angezeigt (s. Abb. 33). Danach folgt ein Abschnitt mit Standortinformationen. Im dritten Teil werden alle empfohlenen Bestandeszieltypen (Sachsen-Anhalt) / Waldentwicklungsziele (Hessen) aufgelistet. Je nach Bundesland und Standort folgen weitere Abschnitte mit Anmerkungen, weiterführenden Links und einer Grafik mit dem Standortsspektrum eines ausgewählten Bestandeszieltyps / Waldentwicklungszieles.

Eine Empfehlung kann gelöscht oder als PDF aufgerufen werden. In der Titelleiste oben rechts öffnet sich mit dem Antippen des Symbols ●●● ein Menü, in welchem die gewünschte Aktion ausgewählt werden kann.

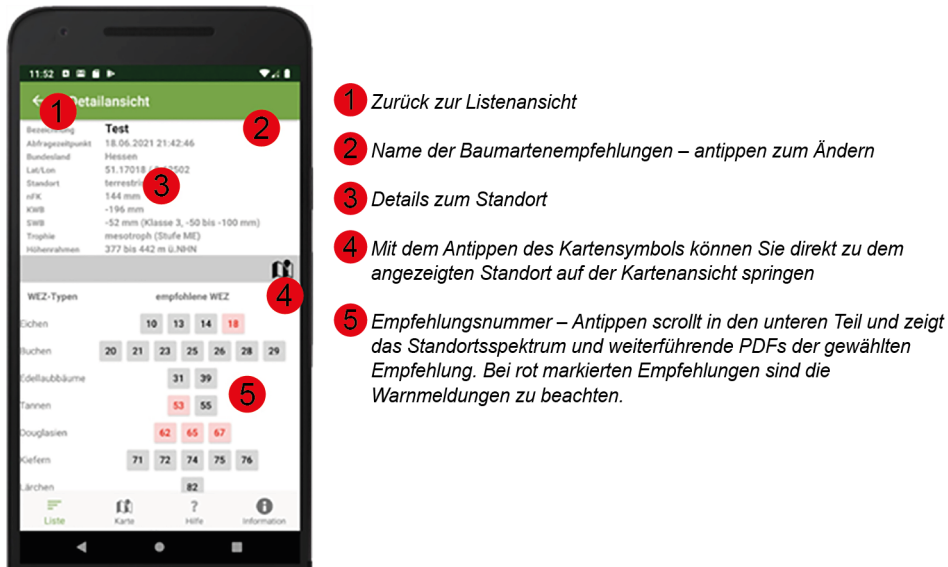







Abbildung 33: Ausschnitt der Bedienungshilfe (Android) zur Detailansicht

In der Karte werden Ihnen alle gespeicherten Empfehlungen oder Verortungen angezeigt. Durch Wischen oder Aufziehen mit zwei Fingern scrollen bzw. zoomen Sie die Karte. Wenn Sie bei der NW-FVA mit Ihrem Betrieb registriert sind (z. B. im Waldschutz-Meldeportal) können Sie mit Ihren Zugangsdaten die Waldeinteilung für Ihren Zuständigkeitsbereich laden. So können Sie sich deutlich besser in der Karte orientieren und gezielt für Bestände Empfehlungen abrufen. Zum Laden der Waldeinteilung tippen Sie auf  (iOS) bzw.  (Android) oben rechts in der Titelleiste.

Um eine Empfehlung abzurufen, gibt es in der Kartenansicht zwei Möglichkeiten: Bei eingeschaltetem GPS-Modul oben mittig das grüne + antippen, wodurch

eine Empfehlung für die aktuelle Position geladen wird. Zuvor kann auf  (*iOS*) bzw.  (*Android*) getippt werden, um zur aktuellen Position zu zoomen. Ein langer Druck mit einem Finger in die Karte an der gewünschten Stelle bewirkt ebenfalls das Laden der Empfehlung. Bei einem einfachen bzw. kurzen Druck wird lediglich, falls an der Position vorhanden, das Standortspolygon geladen. Dies dient dazu, sich zunächst eine Übersicht zu verschaffen, bevor eine oder mehrere Empfehlungen geladen werden.

Liegt an der angewählten Position eine Empfehlung vor, wird ein Dialog zum Eingeben einer Bezeichnung und einer optionalen Anmerkung (*iOS*) angezeigt. Liegt keine Empfehlung vor, erscheint ein entsprechender Hinweis.

Mit dem Antippen von  wird ein Menü aufgerufen, in welchem verschiedene Kartentypen ausgewählt, automatisch auf alle Empfehlungen (*iOS*) oder die Waldeinteilung gezoomt werden kann.

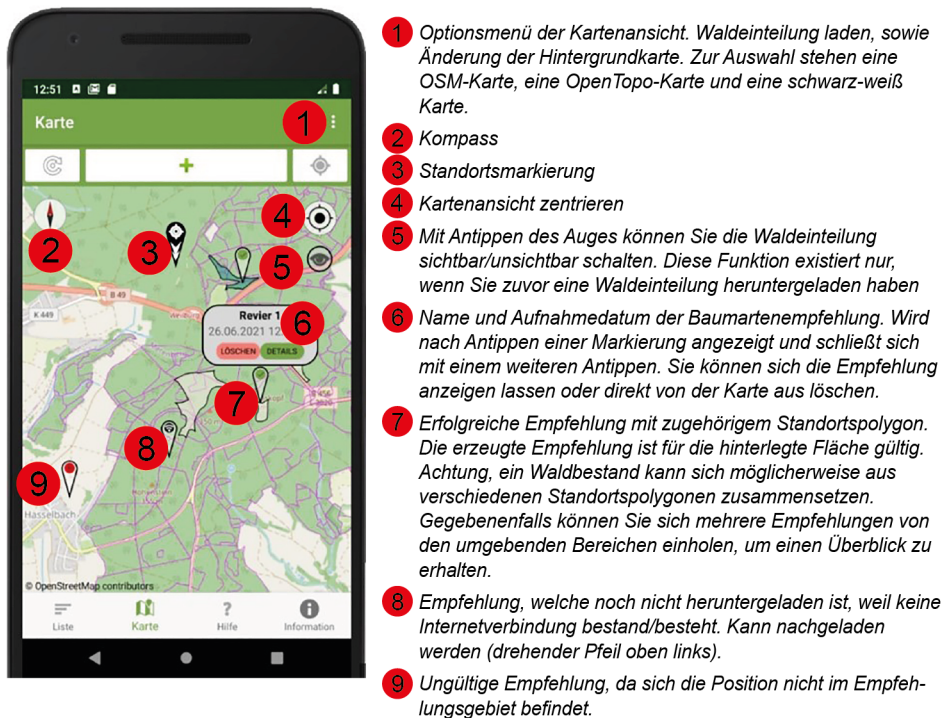


Abbildung 34: Ausschnitt der Bedienungshilfe (*Android*) zur Karte

Alle in dieser App aufgerufenen PDF-Dokumente werden in der PDF-Ansicht angezeigt (*iOS*). Hier können, ähnlich wie in der Kartenansicht, durch Aufziehen mit zwei Fingern und Wischen das Dokument gezoomt und die Ansicht verschoben

werden. Das aktuell angezeigte Dokument kann geteilt (E-Mail etc.) oder dauerhaft gespeichert werden.

In der *Android*-Variante befindet sich die Möglichkeit, eine Baumartenempfehlung als PDF-Datei zu speichern in der jeweiligen Detailansicht.

Die Informationsansicht enthält jeweils Angaben zu Titel, Herkunft, der Version und dem Ersteller der App. Die *Android*-Version enthält einen Link „Datenschutz“ zur Homepage der NW-FVA mit Ausführungen zum Datenschutz. Die *iOS*-Version nennt die Zahl der gespeicherten Empfehlungen und die Flächenzahl der geladenen Waldeinteilung. Rechtliche Hinweise informieren über Gewährleistungsausschluss und Lizenzrechte bzgl. der Namensnennung.

6.4 Anwendung von Webportal und App

Mit der digitalen und kostenlosen Bereitstellung der Entscheidungshilfen sind diese einem breiten Publikum zugänglich. Schriftliche Anleitungen unterstützen insbesondere Anwendende ohne forstfachlichen Hintergrund.

Ein herausragender Vorteil der Apps gegenüber dem Webportal ist die Positionsermittlung eines Waldbestandes über GPS. Sie ermöglicht bei Internetempfang den sofortigen Informationsabruf vor Ort, sodass eine Abschätzung der waldbaulichen Ausgangssituation direkt mit dem Standort verknüpft werden kann. Ohne Empfang wird der gewählte Standort gespeichert und kann zu einem späteren Zeitpunkt samt zugehörigen Informationen abgerufen werden.

Die Positionsermittlung ist darüber hinaus besonders hilfreich bei fehlender Waldeinteilung bzw. Kartengrundlage oder bei schwieriger Grenzziehung, beispielsweise im kleinparzellierten Privatwald.

Durch den übersichtlichen Aufbau der Apps, eine anschauliche Hilfe und nutzerfreundliche Bedienung ist es gelungen, einen komplexen Sachverhalt auch für Anwendende ohne breites forstliches Hintergrundwissen verständlich darzustellen.

Die Transparenz der Entscheidungsfindung ist durch den konsistenten Aufbau, angefangen bei der Risikoklassifizierung der Baumarten nach der Standortswasserbilanz, über ihre Einstufung im Mischbestand auf gegebenem Standort bis hin zur Ableitung von Planungsbereichen für Waldentwicklungsziele, gewährleistet (HAMKENS et al. 2020). Zum jetzigen Stand beruhen die Baumartenempfehlungen nur auf dem Potenzial eines Standortes. Künftig sollen auch weitere Risiken einbezogen werden, die die waldbauliche Entscheidung beeinflussen (SCHMIDT 2020, SCHMIDT et al. 2021a).

Auf einen naturschutzfachlich begründeten Schutzstatus eines Gebietes wird lediglich verwiesen, obwohl dieser erheblichen Einfluss auf die Baumartenwahl haben kann. Die Verordnungen hierzu sind aber sehr spezifisch und auch innerhalb einer Schutzgebietskategorie lassen sich nur begrenzt einheitliche Regeln ableiten. Die verfügbaren geografischen Grenzen der verschiedenen Schutzgebiete lassen sich

nach Kategorie getrennt im Webportal anzeigen. Diese Darstellungen können jedoch nicht tagesaktuell gepflegt werden und erheben daher keinen Anspruch auf Rechtsverbindlichkeit.

Um das gewünschte Feedback zu erhalten, wurde im Webportal um Rückmeldung von Anwendungserfahrungen und Verbesserungshinweisen gebeten und ein entsprechender Link eingerichtet.

6.5 Ausblick und Fazit

Die erarbeitete Entscheidungshilfe zur flächenscharfen Zuordnung im Klimawandel noch standortgemäßer Bestandeszieltypen, die in Form des Web-Portals und der mobilen Applikationen allen Waldbesitzenden und –bewirtschaftenden in Sachsen-Anhalt frei steht, stellt erstmals eine fundierte Grundlage für die Zukunftssicherung der Wälder zur Verfügung. Die einfache Bedienung und die übersichtliche Dokumentation haben schon bisher zu einer hohen Akzeptanz, Praxisverbreitung und Wirksamkeit beigetragen. Gleichzeitig ist die Forschung zur Klimaanpassung mit einem kontinuierlichen Erkenntnisfortschritt verbunden. Das realisierte System bietet sowohl inhaltlich als auch technisch einen geeigneten Rahmen, neue Erkenntnisse der Klimafolgenforschung kurz- bis mittelfristig in Verbesserungen der bestehenden Entscheidungshilfen einfließen zu lassen und so die Praxis unmittelbar partizipieren zu lassen.

Dem Wissenstransfer muss auch in Zukunft eine zentrale Rolle eingeräumt werden. Grundsätzlich ist der digitale Wissenstransfer ein gut geeignetes Instrument, die Entscheidungsträger in der Praxis zu erreichen. Die stetig steigenden Aufrufzahlen des Webportals weisen auf das hohe Interesse und den Informationsbedarf hin. Die Trockenheit der Jahre 2018 bis 2020 und ihre verheerenden Auswirkungen haben die Dringlichkeit, bei der anstehenden Wiederbewaldung eine sehr vorausschauende, dem Klimawandel angepasste Baumartenwahl zu treffen, im höchsten Maße verdeutlicht. Ziel muss daher bleiben, Waldbesitzenden und Forstleuten die Projektergebnisse kontinuierlich durch verschiedene zur Verfügung stehende Mittel wie Lehrgänge, Vorträge, Publikationen, Werbung und schließlich durch Förderung nahezubringen, damit der Waldumbau im Klimawandel effektiv unterstützt wird.

7 Genressourcen und forstliches Vermehrungsgut

Matthias Paul, Samuel Schleich, Frank Schuffenbauer

7.1 Einleitung

In den letzten Jahren führte die Dynamik von Kalamitäten in den Wäldern zu neuen Herausforderungen an die Forstwirtschaft. Neben den zunehmenden Aufgaben im Zusammenhang mit Naturschutz oder Biodiversität und dem zu forcierenden Waldumbau im Klimawandel, muss die Wiederbewaldung der entstandenen Kalamitätsflächen möglichst zügig vorangetrieben werden. Dabei geht es auf großen Flächen entweder um Baumartenwechsel oder um eine Anreicherung der vorhandenen Baumarten-Palette. Für die Umsetzung all dieser Aufgaben ist die kontinuierliche Verfügbarkeit von geeignetem Saat- und Pflanzgut eine Grundvoraussetzung. Diese Tatsache hat das Thema der Bereitstellung von geeignetem forstlichem Vermehrungsgut wieder in den Fokus gerückt. Wie oft in solchen Situationen, geht es gleichermaßen um kurzfristige Möglichkeiten zu reagieren und um die mittelfristige Entwicklung vorhandener und Schaffung zusätzlicher Ressourcen.

"Die seit Beginn des 19. Jahrhunderts in allen Teilen Europas zunehmende Bevorzugung der künstlichen Bestandsgründung, zuerst vorzugsweise durch Saaten, später auch durch Pflanzung, brachte eine ständig steigende Nachfrage nach Saatgut mit sich. Anfänglich konnten die benötigten Samenmengen durch die Waldbesitzer noch in der Nähe der Verbrauchsorte gesammelt und aufbereitet werden. Mit zunehmenden Bedarf bezog man das Saatgut aus gewerblichen Betrieben [...]"

Mit der Entwicklung des Eisenbahnnetzes und bei zunehmender Nachfrage dehnten die Klenganstalten ihr Erntegebiet immer weiter aus und bezogen Zapfen dort, wo sie in größten Mengen und am billigsten zu gewinnen waren. [...] Die ersten Rückschläge dieser wahllosen Saatgutverwendung wurden in Schweden beobachtet, wohin deutsche Klengen und Samenhandlungen bereits seit 1850 Kiefern- und Fichtensamen geliefert hatten. [...] (Die Pflanzen wuchsen zwar schnell) bald aber kümmern und kränkelten sie, so dass ganze Bestände starben. [...]"

Doch kann man gegen die Unternehmer hiewegen keine Vorwürfe erheben, weil zu dieser Zeit auch die Forstwirtschaft den Schaden, der dem Walde aus der Verwendung nicht standortgerechten Saatgutes erwachsen kann, noch nicht kannten."

(ROHMEDER 1972: Das Saatgut in der Forstwirtschaft. S. 125 u. S 240)

Abbildung 35: Historische Erfahrungen mit genetisch ungeeignetem Vermehrungsgut

Die nachhaltige Sicherung der Versorgung mit geeignetem Vermehrungsgut ist eine Daueraufgabe der Forstwirtschaft im Allgemeinen. Aus der Baumschulbranche ist zu vernehmen, dass grundsätzlich genügend Anzuchtkapazitäten vorhanden sind.

Es mangelt meist an geeignetem Saatgut. Ein Ausweichen auf genetisch fragwürdiges Saat- und Pflanzgut verbietet sich auf Grund der historisch gemachten Erfahrungen von selbst (s. Abb. 35; SCHÖNBACH 1952, 1953, ROHMEDER 1972). Dazu zählt auch die gesetzlich prinzipiell mögliche, aber genetisch nicht zielführende Verwendung von Vermehrungsgut aus nicht zugelassenen Quellen im eigenen Betrieb (s. Abb. 36). In Anbetracht der anstehenden Aufgaben und des damit verbundenen Bedarfs an Vermehrungsgut, sollten zunächst einmal alle aktuell zur Verfügung stehenden Möglichkeiten einer nachhaltigen Versorgung mit geeignetem Vermehrungsgut genutzt werden. Dazu sind die vorhandenen Erntequellen entsprechend zu nutzen und weiter zu entwickeln. Dabei handelt es sich um einen fortwährenden Prozess. Bestehende Quellen müssen regelmäßig evaluiert und neue Erntequellen nachhaltig erschlossen bzw. geschaffen werden. Als Quellen für geeignetes Vermehrungsgut für forstliche wie auch für naturschutzfachliche Aufgaben im Wald kommen grundsätzlich in Frage:

- Samenplantagen und Mutterquartiere
- zugelassene Forstsaatgutbestände für Arten die dem Forstvermehrungsgutsgesetz (FoVG) unterliegen (s. Abb. 37)
- Bestände der Gütegemeinschaft für forstliches Vermehrungsgut e. V. (DKV-Bestände)
- nach genetisch relevanten Parametern wie Herkunft, Wachstum, Vitalität und ggf. nach Form (artspezifisch) ausgewählte Erntequellen geeigneter Größe und Alter von Arten, die nicht dem FoVG unterliegen

Das Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) und seine Verordnungen regelt das Erzeugen, in Verkehr bringen, Einführen und Ausführen von forstlichem Vermehrungsgut. Darunter fallen alle Ernten deren Saatgut nicht unmittelbar im eigenem Betrieb verwendet werden. So unterliegen beispielsweise externe Aufbereitung von Saatgut, Lohnanzuchten oder Verschenken von Saatgut an Dritte dem Gesetz.

Die Regelungen umfassen u.a.:

- Einteilung der Herkunftsgebiete
- Zulassung von Erntebeständen
- Ernte von Vermehrungsgut
- Vertrieb von Vermehrungsgut
- Kennzeichnungspflicht von Vermehrungsgut (Stammzertifikat)
- Dokumentationspflichten, Registerführung
- Kontrolle

Abbildung 36: Regelungen des Forstvermehrungsgutgesetzes

Im Folgenden sollen die genannten Saatgutquellen dargestellt, in den gesetzlichen Kontext eingeordnet und deren Bedeutung im praktischen Betrieb erörtert werden.

Die Besonderheiten bei Auswahl, Bewirtschaftung, Pflege und Beerntung geeigneter Saatgutquellen, werden aus einer praxisnahen Perspektive betrachtet. Basierend auf aktuellen Zahlen (s. Tab. 13), soll die Notwendigkeit und ein möglicher Entwicklungspfad skizziert werden, um eine nachhaltige Versorgung mit hochwertigem forstlichem Vermehrungsgut in Sachsen-Anhalt zu gewährleisten.

Tabelle 13: Zugelassene Erntequellen für forstliches Vermehrungsgut (Forstsaatgutbestände, Samenplantagen und Mutterquartiere) der Arten, die dem FoVG unterliegen, im Vergleich der Trägerländer der NW-FVA (Stand Juni 2022)

Land	Ernte-einheiten Anzahl [N]	Ernte-einheiten red. Fläche [ha]	Waldfläche (BWI 3) [ha]	Flächenanteil der Ernteeinheiten an der Waldfläche [%]	Anzahl der Ernte-einheiten pro 100.000 ha Waldfläche [N]
SH	760	4.537	173.412	2,6	438
NI	1.127	5.014	1.204.591	0,4	94
ST	495	2.014	2.045.029	0,1	24
HE	1.593	12.179	2.111.480	0,6	75

7.2 Forstsaatgutbestände

Der klassische Weg der Forstsaatgutgewinnung ist die Ernte in einem zugelassenen Forstsaatgutbestand. Das betrifft die Baumarten, die dem Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) unterliegen (s. Abb. 37).

Die Bestände werden hinsichtlich ihrer Eignung für die Forstsaatgutproduktion phänotypisch beurteilt. Die Kriterien sind u. a. Vitalität, Form, Wachstum, Alter (Angepasstheit) und Populationsgröße (genetische Vielfalt). Diese Mindestanforderungen sollten übrigens auch bei Saatguternten in Vorkommen von Arten beachtet werden, die nicht dem FoVG unterliegen.

Baumarten, die dem Forstvermehrungsgutgesetz unterliegen		
Weiß-Tanne	Spitz-Ahorn	Pappeln
Küsten-Tanne	Berg-Ahorn	Vogel-Kirsche
Europäische Lärche	Schwarz-Erle	Trauben-Eiche
Japanische Lärche	Grau-Erle	Stiel-Eiche
Hybrid-Lärche	Sand-Birke	Rot-Eiche
Gemeine Fichte	Moor-Birke	Robinie
Sitka-Fichte	Hainbuche	Winter-Linde
Gemeine Kiefer	Ess-Kastanie	Sommer-Linde
Schwarz-Kiefer	Rot-Buche	
Douglasie	Esche	

Abbildung 37: Baumarten, die dem FoVG unterliegen

Bei genauer Betrachtung stellen Forstsaatgutbestände ein Relikt der Reinbestandswirtschaft dar. Forstsaatgutbestände sind gleichaltrige homogene, vitale und wüchsige Reinbestände mit geringer Strukturdiversität. Solange solche Bestände vorhanden sind, sollten sie auch für die Forstsaatgutgewinnung genutzt werden. Grundsätzlich können nach aktueller Rechtslage auch Mischbestände als Erntebestände ausgewiesen werden, wenn genügend fruktifizierende Altbäume in den geforderten Qualitäten vorhanden sind, die sich gegenseitig bestäuben können.

Die Auswahlkriterien für Forstsaatgutbestände sollten im Rahmen der gesetzlichen Möglichkeiten den Erfordernissen des Klimawandels entsprechend angewandt werden. Vitalität steht dabei neben baumartenspezifischen Formmerkmalen als kritisches Kriterium im Vordergrund. Die Bedeutung vitaler Populationen auf trockenen Standorten mit möglicherweise durchschnittlichen Wuchsleistungen kann für die Saatguterzeugung künftig zunehmen.

Tabelle 14: Mindestforderungen Alter und Umfang der Forstsaatgutbestände (FoVZV)

Mindestalter [a]	Mindestbaumanzahl + Mindestfläche	
	40 Exemplare + Mindestfläche	20 Exemplare + Mindestfläche
70	2,5 ha: RBU	1,0 ha: RBU > 500 m ü. NHN
	1,0 ha: WTA, TEI	0,25 ha: RBU > 800 m ü. NHN
	0,5 ha: SEI	
60	2,5 ha: GFI, GKI	0,25 ha: WTA, GKI (Hochlagen)
	0,5 ha: SKI	0,5 ha: GFI (Hochlagen)
50	0,25 ha: BAH, GES	0,25 ha: ELA > 900 m ü. NHN
	0,5 ha: ELA, SFI	HBU
	0,5 ha: RER	
40	0,25 ha: DGL, REI, KTA	SAH, WLI ,SLI
	0,5 ha: JLA	
	EK	
30		GBI, MBI, VKB, ROB
20		GER, PA (0,25 ha)

Die Ausweisung und die Überprüfung von Saatgutbeständen ist ein laufender Prozess. Wenn Bestände die Zulassungskriterien erfüllen, sollte bei den zuständigen Behörden ein Antrag auf Zulassung als Forstsaatgutbestand gestellt werden. Die gesetzlichen Grundlagen befinden sich in der Forstvermehrungsgut-Zulassungsverordnung (FoVZV). Neben den in Tabelle 14 aufgeführten Parametern zu Mindestalter und Mindestfläche (Fläche, Anzahl Bäume) sind folgende Kriterien für einen Forstsaatgutbestand ausschlaggebend und bei der Vorauswahl im Revier für die Erarbeitung von Vorschlägen zur Zulassung als Forstsaatgutbestand heranzuziehen:

- Wüchsigkeit
- Überdurchschnittliche Qualität
- Vitalität
- Isolation
- Homogenität
- Angepasstheit

Die Zulassung erfolgt durch die zuständige Stelle (Landesverwaltungsamt Sachsen-Anhalt).

Tabelle 15: In Sachsen-Anhalt zugelassene Ernteeinheiten

Baumart	Anzahl	reduzierte Fläche [ha]	Baumart	Anzahl	reduzierte Fläche [ha]
Trauben-Eiche	84	504,80	Douglasie	59	73,31
Stiel-Eiche	52	234,18	Kiefer	52	323,7
Rot-Buche	41	378,07	Europäische Lärche	49	96,56
Rot-Erle	27	73,10	Fichte	18	88,30
Winter-Linde	27	75,83	Schwarz-Kiefer	9	35,80
Rot-Eiche	20	31,66	Große Küstentanne	7	6,10
Berg-Ahorn	12	20,30	Weiß-Tanne	4	1,70
Sand-Birke	10	13,12	Hybrid-Lärche	1	1,50
Esche	6	8,00			
Hainbuche	6	14,50			
Vogel-Kirsche	3	2,00			
Ess-Kastanie	1	0,60			
Pappel	1	0,25			
Robinie	1	0,80			
Sommer-Linde	1	4,50			

Die gesetzlich vorgeschriebenen Parameter der Baumanzahl sollten als absolute Untergrenze gesehen werden. Im Sinne einer hohen genetischen Vielfalt, die als Grundlage für die notwendige Anpassungsfähigkeit gesehen werden kann, sind möglichst viele geeignete Individuen an der Vermehrung zu beteiligen.

Aktuell sind in Sachsen-Anhalt nahezu 500 Ernteeinheiten (Forstsaatgutbestände, Samenplantagen, Mutterquartiere) der FoVG-Arten mit einer Fläche von knapp 2000 ha zugelassen. Das entspricht ca. 0,1 % der Waldfläche (s. Tab. 13) und ist im Vergleich der Trägerländer durchaus ausbaufähig.

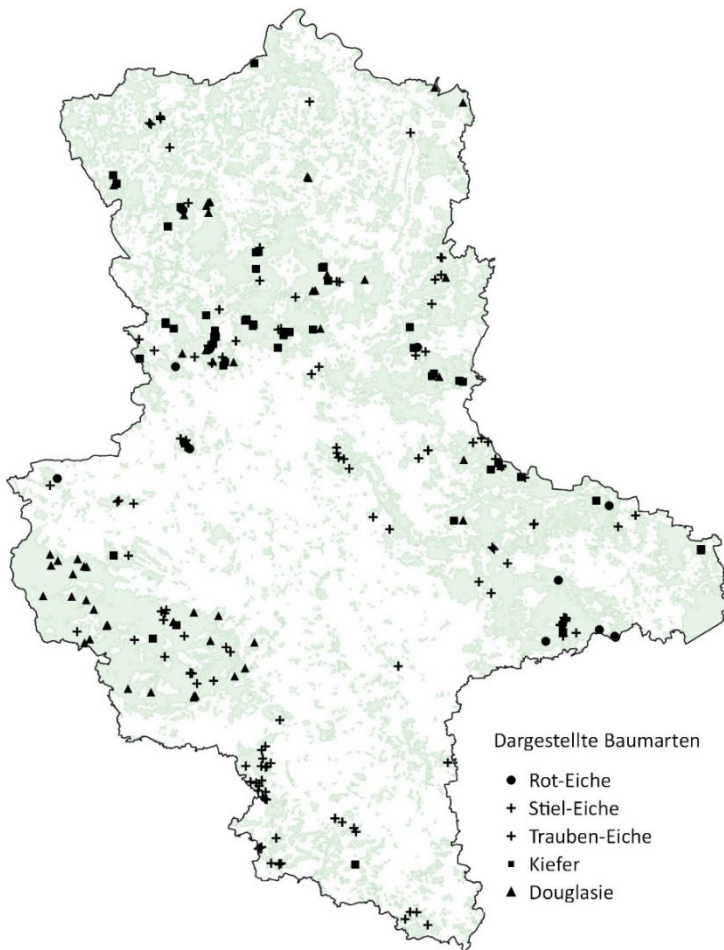


Abbildung 38: Verteilung zugelassener Forstsaatgutbestände in Sachsen-Anhalt

7.2.1 *Forstsaatgutbestände im Revier*

Die Ausweisung als Forstsaatgutbestand ist selten mit einer wirksamen Modifizierung der Bewirtschaftung verbunden. Die Erzeugung von forstlichem Vermehrungsgut steht nicht oft im Fokus gezielter waldbaulicher Maßnahmen. Die Saatgutproduktion stellt, wenn überhaupt, oft nur eine Art geduldeter Nebennutzung dar.

Besser wäre es, bei der Bewirtschaftung von Forstsaatgutbeständen immer auch die Zukunft des Waldes und damit die Gewinnung von Vermehrungsgut im Auge zu behalten und entsprechende Pflegemaßnahmen auch auf dieses Ziel auszurichten.

Forstsaatgutbestände sollten kronenpfleglich und unter Beachtung von Stabilitätskriterien erzogen werden. Je nach Baumart ist eine möglichst hohe Anzahl blühfähiger Kronen zu entwickeln. Die Entnahme im Rahmen der Pflege sollte einer konsequenten Negativauslese folgen. Für die Zeit der Nutzung als Forstsaatgutbestand haben Zielstärkennutzung oder Sortimentshiebe zu unterbleiben. Bei allen Maßnahmen ist die nächste Waldgeneration immer im Blick zu behalten, die aus den Samen der verbliebenen Bäume entstehen soll. Mit Beginn der Zielstärkennutzung bzw. von Waldumbaumaßnahmen ist eine weitere Zulassung als Forstsaatgutbestand deshalb kritisch zu prüfen.

Zusätzliche Maßnahmen, die einer technologischen Verbesserung der Saatguternte dienen, sind in die Pflegepläne aufzunehmen (z. B. Entfernung von Unterwuchs oder Naturverjüngung). Wenn ein Forstsaatgutbestand komplett abgetrieben werden sollte, was durchaus möglich ist, sollten Möglichkeiten geprüft werden, diese Holzerntemaßnahme mit einer Saatgutgewinnung am liegenden Stamm zu verbinden. Dementgegen sollte aus genetischer Sicht die Werbung von Vermehrungsgut am liegenden Stamm bei Negativauslesen unterbleiben.

Möglichkeiten können sich eröffnen, wenn künftig Bestände in einem bestimmten Umfang gezielt als Forstsaatgutbestände erzogen und bewirtschaftet werden. Diese Bestände sollten technologisch gut erschlossen und je nach Baumart mindestens 100–150 qualitativ geeignete (z. B. Vitalität, Form, Wachstum) Erntebäume enthalten. Die Bewirtschaftung kann dann ausschließlich auf die Fruktifikation und die Erntemöglichkeiten von Saatgut ausgerichtet werden. Die Holznutzung steht, wenn überhaupt, an zweiter Stelle. Es werden sich sicher nicht viele solche Bestände finden und bei manchen Baumarten vielleicht auch gar keine. Aber wenn es möglich ist, sollte diese Option genutzt werden.

7.2.2 *DKV-Bestände*

Eine besondere Art des Saatgutbestandes stellen die sog. DKV-Bestände dar. Die Gütegemeinschaft für forstliches Vermehrungsgut e. V. (DKV) widmet sich der Ausweisung besonders wertvoller Erntebestände als Sonderherkünfte und verfolgt damit das Ziel die Güte von forstlichem Vermehrungsgut zu sichern sowie die Ver-

wendung geeigneter, genetisch hochwertiger Herkünfte zur Erhaltung und Verbesserung der Ertragsfähigkeit und Stabilität des Waldes zu fördern (Homepage DKV). Die Vermarktung des Saatgutes und der Pflanzen als „Sonderherkunft“ erfolgt exklusiv durch die Mitglieder (<https://dkv-net.de>). In Sachsen-Anhalt sind dies u. a. die Forstsaatgut-Beratungsstelle und Landesdarre Sachsen-Anhalt und die Baumschule Stackelitz.

DKV-Sonderherkünfte von FoVG-Arten müssen auch als Forstsaatgutbestände amtlich zugelassen sein. Mit ihnen soll innerhalb der Saatguterntebestände eine Positivauswahl angeboten werden. Die von der DKV betreute Baumartenpalette umfasst zusätzlich auch nicht dem FoVG unterliegende Baumarten. Damit besteht mit dem Bezug von DKV-Saatgut auch die Möglichkeit der Herkunfts- und Qualitätssicherung für nicht dem FoVG unterliegenden Arten.

Für den Waldbesitzer bzw. für den Bewirtschafter eröffnet sich hier eine Quelle für hochwertiges Vermehrungsgut. Analog zu den Forstsaatgutbeständen ist auch die DKV auf Vorschläge aus der Fläche angewiesen. Ausgewiesene DKV-Saatgutbestände sollten nahezu ausschließlich hinsichtlich Saatguterzeugung bewirtschaftet werden. Durch eine eher stabilisierende Pflege ist eine möglichst große Anzahl von Exemplaren so lang wie möglich an der Reproduktion zu beteiligen. Zielstärkennutzung oder stark selektive Eingriffe sind in DKV-Beständen nicht angebracht. Besonderes Augenmerk sollte auch auf technologische Aspekte gelegt werden, um eine Saatguternte nachhaltig zu ermöglichen.

Tabelle 16: DKV-Sonderherkünfte Sachsen-Anhalt (Stand 2020)

Baumart	HKG	Name	Forstamt	Fläche [ha]
Berg-Ahorn	80104	Ostharz	LFB BT Ostharz	1,3
	80104	Ostharz	LFB BT Süd	1,1
Douglasie	85305	Mittelharz	LFB BT Oberharz	0,6
	81103	Mittlere Elbe	LFB BT Anhalt	1,0
Esche	81104	Ostharz	LFB BT Süd	1,0
	81103	Saale-Elster-Aue	LFB BT Süd	0,5
	83702	Harbke	LZW BFoA Flechtingen	4,6
Europ. Lärche	83702	Saale-Unstrut	LFB BT Süd	3,0
	83701	Wismarer Lärche	LZW BFoA Westliche Altmark	12,3
	Fichte	84009	Mittelharz	LFB BT Oberharz
80604		Ostharz	LFB BT Süd	1,4
Hainbuche	80602	Saale-Unstrut	LFB BT Süd	8,9
	80602	Ziegelrodaer Plateau	LFB BT Süd	3,6

(Fortsetzung Tabelle 16)

Baumart	HKG	Name	Forstamt	Fläche [ha]
Kiefer	85103	Altmark Ost	LZW BFoA Letzlingen	4,6
Rot-Buche	81009	Nordharz	NP Harz	8,0
Rot-Erle	80204	Ostharz	LFB BT Süd	1,3
Sand-Birke	80402	Dübener Heide	LFB BT Anhalt	1,2
	80404	Ostharz	LFB BT Süd	12,4
Stiel-Eiche	81705	Saale-Unstrut	LFB BT Süd	4,7
	81705	Ziegelrodaer Plateau	LFB BT Süd	7,9
	81807	Ostharz	LFB BT Süd	4,3
Trauben-Eiche	81805	Ziegelrodaer Plateau	LFB BT Süd	23,4
	81404	Ostharz	LFB BT Süd	0,4
Vogel-Kirsche	82303	Mittlere Elbe	FA Dessau	2,1
	82303	Mittlere Elbe	LFB BT Anhalt	8,1
	82303	Mittlere Elbe	FA Dessau	13,4
Eibe		Bodetal	LFB BT Ostharz	0,2
Elsbeere		Saale-Unstrut	LFB BT Süd	1,4
		Ostharz	LFB BT Ostharz	0,2
Feld-Ahorn		Saale-Unstrut	LFB BT Süd	0,3
		Rosenburg	LZW BFoA Dessau	0,3
Feld-Ulme		Saale-Elster-Aue	LFB BT Süd	0,4
Hickory		Saale-Elster-Aue	LFB BT Süd	0,1
Schwarz-Nuss		Saale-Elster-Aue	LFB BT Süd	0,2
Speierling		Saale-Unstrut	LZW BFoA Naumburg	0,5

7.3 Samenplantagen

7.3.1 Samenplantagen in Sachsen-Anhalt

Nach dem zweiten Weltkrieg wurden in ganz Europa Technologien zur Anlage von Samenplantagen entwickelt, um den damals enormen Bedarf an Sämereien decken zu helfen (SCHÖNBACH 1952, 1953, HOFFMANN 1955, 1959, SCHRÖCK u. HOFFMANN 1960). Neben den Aufgaben der Saatgutversorgung spielte von Anfang an auch Fragestellungen der genetischen Verbesserung der Waldbäume eine wichtige Rolle. Der Vorteil von Samenplantagen zeigte sich u. a. in einer gegenüber Forst-

saatgutbeständen höheren genetischen Vielfalt und vor allem in einer hohen Wahrscheinlichkeit die gewünschten und im Zuge der Plusbaumauswahl selektierten Merkmale in der nächsten Generation wieder zu finden. Allein durch die Anlage von Plusbaum-Samenplantagen konnte beispielsweise bei Kiefer und Fichte ein genetischer Gewinn von Wachstumsparametern von 10% erreicht werden (ROSVALL et al. 2001). LINDGREN bezeichnet die Samenplantagen als das "Arbeitspferd der Forstpflanzenzüchtung" mit dem wichtigsten quantitativen Output (LINDGREN 2014).

Auch in Sachsen-Anhalt wurde in den 1950er-Jahren begonnen, unter der wissenschaftlichen Leitung des Institutes für Forstpflanzenzüchtung Graupa Samenplantagen aufzubauen. Als Besonderheit ist anzumerken, dass hier die Plantagen kontinuierlich weiter bewirtschaftet und gepflegt wurden, auch in Perioden als der Bedarf an Saatgut nicht so hoch war. Dadurch kann das Land jetzt auf eines der besten Samenplantagen-Netze in Deutschland zurückgreifen.

7.3.2 *Aufbau von Samenplantagen*

Ein Großteil der vorhandenen Samenplantagen ist das Ergebnis einer Plusbaumauswahl. Dazu werden vitale, angepasste, wüchsige, gutgeformte (je nach Baumart: z. B. gerade, vollholzig, wipfelschäftig, ohne Zwiesel, beulenfrei) Bäume ausgewählt und über Pfropfreiser, wie dies auch aus dem Obstbau bekannt ist, vegetativ vermehrt. Diese genetischen Kopien werden dann nach einem speziellen Verteilungsmuster auf Samenplantagen gepflanzt, um Saatgut für Bäume mit ähnlichen Eigenschaften zu produzieren (KLAEHN 1953, SCHMITZ 1995).

Mit der Anlage von Samenplantagen können vielfältige Ziele mit unterschiedlicher Schwerpunktsetzung verfolgt werden:

- Erhaltung genetischer Ressourcen
- Erhaltung von Arten
- gezielte Erhöhung der genetischen Vielfalt
- qualitative und quantitative Leistungssteigerung der Holzproduktion
- Überführung von Züchtungsergebnissen (z. B. Hybrid-Lärche)
- technologische Optimierung der Ernte von forstlichem Vermehrungsgut

So können Samenplantagen beispielsweise auch Möglichkeit eröffnen, seltene Arten oder selten gewordene Arten, die nur noch in Kleinstvorkommen oder Einzelbäumen repräsentiert sind wieder generativ zu vermehren. Einzelne Exemplare oder Kleingruppen von Bäumen sind für die Saatguternte auf Grund von Inzuchterscheinungen (Selbstbestäubung) nicht geeignet. Die Zusammenführung von adaptierten Einzelbäumen in Samenplantagen mit dem Ziel der generativen Vermehrung schafft Voraussetzungen auch dieses genetische Potenzial auf generativem Weg nutzen zu können. Dazu werden die einzeln vorkommenden Exemplare über Pfrop-

fungen vermehrt, um danach zusammen auf eine Plantage gepflanzt zu werden. Dadurch entsteht eine neue Fortpflanzungsgemeinschaft, die auf Grund der nun wieder vorhandenen Bestäubungsverhältnisse genetisch vielfältiges Saatgut erzeugen kann. Aktuell wird dieser Weg durch die NW-FVA bei der Ess-Kastanie, dem Feld-Ahorn und der Weiß-Tanne verfolgt.

Auch für Erhaltungszwecke können Samenplantagen einen Beitrag leisten. So wäre beispielsweise Saatgut autochthoner Fichten für Lagen über 700 m ü. NHN im Harz (Brockenfichte) im Bedarfsfall nur noch aus Samenplantagen zu gewinnen, da es keine zugelassen Bestände mehr gibt und Saatguternten in Schutzgebieten organisatorisch und technisch problematisch sind. Samenplantagen mit dem gesicherten genetischen Potenzial der Hochlagenfichten erhalten damit Handlungsoptionen für spätere, heute noch nicht absehbare Ziele.

In den Trägerländern der NW-FVA ist die Abteilung Waldgenressourcen für die Anlage und fachliche Betreuung der Samenplantagen verantwortlich (PAUL et al. 2020). Dies geschieht in enger Zusammenarbeit mit den Waldbesitzern der Länder.

Die Auswahl der genetischen Komponenten für die Plantagen ist Teil von Forschungs- und Generhaltungsaufgaben der NW-FVA. Das Netz der NW-FVA umfasst derzeit über 200 Samenplantagen (s. Tab. 17 und Abb. 39) auf rund 400 ha mit 10 Nadelbaumarten, 23 Laubbaumarten und 12 Straucharten (s. Tab. 18) in den Ländern Niedersachsen, Hessen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein. Die Plantagen unterliegen einem strengen genetischen Qualitätsmanagement und das Saatgut wird im Rahmen wissenschaftlicher Versuchsprogramme genetisch geprüft.

Laut einem Staatsvertrag ist die NW-FVA verantwortlich für die Anlage und Unterhaltung von Samenplantagen und Mutterquartieren im Vierländerverbund. Die Beerntung und Vermarktung erfolgt durch die Landesdarren der Länder. Auf Samenplantagen, die ab 01.01.2016 angelegt wurden, haben alle Trägerländer der NW-FVA anteilig Zugriff (Beschluss Steuerungsausschuss 21.11.2011). Deshalb sollte auch bei Fragen der regionalen Saatgutversorgung immer das gesamte Plantagenetz der NW-FVA im Auge behalten werden.

Tabelle 17: Anzahl und Fläche der Samenplantagen in den Trägerländern der NW-FVA (Stand 01.01.2021)

Samenplantagen der NW-FVA	Niedersachsen	Hessen	Sachsen - Anhalt	Schleswig - Holstein	NW-FVA
Anzahl der Samenplantagen	116	70	31	5	222
Gesamtfläche [ha]	210	101	87	9	407

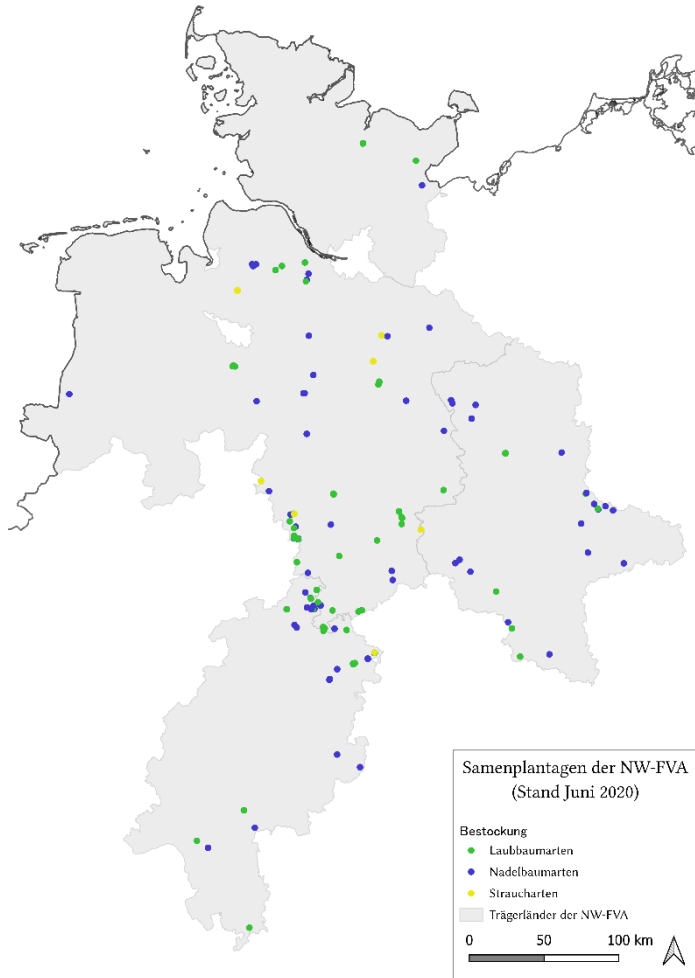


Abbildung 39: Samenplantagen der NW-FVA (an einigen Standorten befinden sich mehrere Samenplantagen)

In Sachsen-Anhalt stehen auf einer Fläche von ca. 87 ha insgesamt 31 Samenplantagen mit 9 Laubholzarten, 7 Nadelholzarten als Quelle für die Gewinnung von hochwertigem Vermehrungsgut zur Verfügung. Darunter sind auch 7 Samenplantagen der Kategorie „Geprüft“, die vorrangig empfohlen werden (s. Tab. 19).

Tabelle 18: Arten in den Samenplantagen der NW-FVA

Laubbaumarten		Nadelbaumarten		Straucharten	
Auch in ST:	Weitere Arten der Trägerländer:	Auch in ST (* nur Trägerländer):	Arten der Trägerländer*:		
Berg-Ahorn	Spitz-Ahorn	Wald-Kiefer	Roter Hartriegel		
Elsbeere	Sand-Birke	Douglasie	Gewöhnliche Hasel		
Speierling	Moor-Birke	Eibe	Zweigrifflicher Weißdorn		
Sommer-Linde	Rot-Buche	Europ. Lärche	Eingrifflicher Weißdorn		
Trauben-Eiche	Esche	Hybrid-Lärche	Pfaffenhütchen		
Winter-Linde	Stiel-Eiche	Gemeine Fichte	Faulbaum		
Wild-Apfel	Rot-Eiche	Strobe	Schlehe		
Wild-Birne	Schwarz-Erle	<i>Jap. Lärche*</i>	Kreuzdorn		
Robinie	Vogel-Kirsche	<i>Omorika-Fichte*</i>	Hunds-Rose		
	Eberesche	<i>Riesenmammutbaum*</i>	Schwarzer Holunder		
	Berg-Ulme		Roter Holunder		
	Flatter-Ulme		Gemeiner Schneeball		
	Wal-Nuss				
	Weide				

*keine Strauch-Samenplantagen in ST

Tabelle 19: Samenplantagen Sachsen-Anhalt – geprüftes Vermehrungsgut

Art und Name	Registernummer	Ursprung	Empfohlen für Herkunftsgebiete bzw. Wuchsgebiete
Kiefer „Stecky“	15 3 851 04 001 4	Nedlitz	85103 Heide und Altmark
Kiefer „Bärenthoren“	15 3 851 04 004 4	Bärenthoren	13 Ostniedersächsisch-Altmärkisches Altmoränenland
Kiefer „Naumburg“	15 4 851 04 003 4	Dobritz	85104 Mittel- und Ostdeutsches Tiefland
			11 Mittelbrandenburger Talsand- u. Moränenland
			14 Mittleres Nordostdeutsches Altmoränenland
			15 Düben-Niederlausitzer Altmoränenland
Kiefer „Wenze“	15 1 851 03 001 4	Pokoy, Polen	16 Hoher Fläming
			21 Nordwestliches Harzvorland
			22 Nordöstliche Harzvorländer
			23 Sachsen-Anhaltinische Löß-Ebene
			24 Leipziger Sandlöß-Ebene
			29 Inneres Thüringer Becken
			30 Nördliche Randplatten des Thüringer Becken
			41 Kyffhäuser
Europäische Lärche „Nedlitz“	15 3 837 02 001 4	Wismar	83701 Norddeutsches Tiefland
			13 Ostniedersächsisch-Altmärkisches Altmoränenland

(Fortsetzung Tabelle 19)

Art und Name	Registernummer	Ursprung	Empfohlen für Herkunftsgebiete bzw. Wuchsgebiete
			801 01 Norddeutsches Tiefland
			13 Ostniedersächsisch-Altmärkisches Altmoränenland
Bergahorn „Günthersberge“	15 3 801 02 001 4	Siptenfelde	80103 Westdeutsches Bergland bis 400 m, kolline Stufe
			30 Nördliche Randplatten des Thüringer Beckens 40 Harz
			80104 Westdeutsches Bergland > 400 m, montane Stufe
			40 Harz
Hybrid Lärche „Stackelitz“	15 3 83800 001 4	Reinerz (PL) Yatsugatakke (JP) Okunikko (JP)	

7.3.3 Bewirtschaftung von Samenplantagen

Samenplantagen sind als forstliche Sonderkulturen Intensivbewirtschaftungsflächen, die ausschließlich der Produktion von forstlichem Vermehrungsgut dienen.

Die Maßnahmen sind gerichtet auf:

- Sicherung der genetischen Qualität (keine natürliche Selektion)
- Forstschutz (Erhalt aller Bäume durch saubere Waldwirtschaft)
- Optimierung der Erntetechnologie (Mulchen, Schnitt)
 - o Befahrung zur Ernte mit Hebebühnen
 - o Schnittmaßnahmen (Blühinduktion, Begrenzung Höhenwachstum, Entwicklung breiter Kronen)
 - o Geringeres Unfallrisiko als beim Baumsteigen
 - o Personal für Ernte leichter verfügbar (geringer Spezialisierungsgrad)

Die Multifunktionalität als prägendes Merkmal deutscher Forstwirtschaft wird auf diesen Flächen nur eingeschränkt umgesetzt. Ihr Nutzen für die biologische Vielfalt ergibt sich zuerst aus der Verwendung des dort erzeugten genetisch wertvollen Vermehrungsgutes auf anderen Flächen. Allerdings kann konstatiert werden, dass die

Samenplantagenflächen mit ihrem speziellen Management durchaus naturschutzfachliche Bedeutung haben können – beispielsweise als Offenlandbiotop oder analog eines „Lichten Wirtschaftswaldes mit Habitatkontinuität“ sowie als temporäres Grünland bei pflanzennaher Pflege und dem Belassen von Blühstreifen (s. Abb. 40).



Abbildung 40: Blühstreifen auf Samenplantageneenanlagen (Foto: NW-FVA)

Neben genetischen Fragen spielen zunehmend technologische Aspekte der Saatguternte bei der Anlage und Bewirtschaftung von Samenplantagen eine entscheidende Rolle. Samenplantagen sollen eine optimale Zuwegung haben und problemlos beerntbar sein.

Die Bewirtschaftung von Samenplantagen wird mit dem ausschließlichen Ziel der Saatgutproduktion optimiert. Die Bäume werden im weiten Abstand gepflanzt, um die Ausbildung von Kronen zu befördern. Es sollen möglichst alle der gepflanzten Bäume erhalten werden, um diese zur Saatguternte nutzen zu können. Die Anordnung der Pflanzen folgt einem streng schematischen Muster, welches eine maximale genetische Vielfalt in dem erzeugten Saatgut sichern soll.

Der intensiven Pflege ist dabei besonderes Augenmerk zu widmen. Die Flächen werden regelmäßig gemulcht, um die Befahrbarkeit für Hebebühnen oder andere mobile Entemöglichkeiten zu gewährleisten. In Sachsen-Anhalt werden traditionell die Plantagen, wo möglich und angebracht, geschnitten. Das bedeutet, dass die einzelnen Bäume Höhen von 3 bis 4 m nicht überschreiten. Durch solch einen Formschnitt wird nicht nur eine im Vergleich zu Saatguterntebeständen unkomplizierte Saatguternte ermöglicht, der Schnitt bedingt auch eine gewisse Blühinduzierung.

Samenplantagen bedürfen einer besonders hohen Aufmerksamkeit im täglichen Betrieb und einer intensiven Pflege (s. Abb. 41 u. 42). Das bedeutet mehr Aufwand gegenüber einer normalen Kultur. Das Resultat dieser Anstrengungen ist nicht immer im einzelnen Reviererergebnis abbildbar. Der Gewinn kommt dem Wald als Ganzes zugute.



Abbildung 41: Pflege einer Kiefern-Samenplantage – Rückschnitt Naumburg (Foto: F. Ackermann)

Von besonderer Bedeutung der Samenplantagenbewirtschaftung im Revier ist die konsequente Umsetzung sauberer Waldwirtschaft. Im Gegensatz zu Wirtschaftswäldern können hier selbst einzelne abgebrochene Äste nicht toleriert werden, sie müssen umgehend entfernt werden, da sie als brutfähiges Material die gesamte Plantage gefährden können.

Die erwähnten Pflegemaßnahmen wie Schnitt und Mulchen werden ebenso wie die Ernte des Saatgutes nach Abstimmung mit der NW-FVA in Absprachen mit der Revierleitung durch die Landesdarre Sachsen-Anhalt koordiniert.

7.3.4 Weitere Entwicklung

Das Land Sachsen-Anhalt unterstützt intensiv die Anlage und Unterhaltung von Samenplantagen sowohl durch kurzfristige Maßnahmen wie z. B. Bewässerung neu angelegter Plantagen wie auch durch strategische Weiterentwicklung und den

Ausbau des vorhandenen Samenplantagenetzes. Dazu existiert ein erlassgebundener, gesicherter Flächenpool für die Anlage neuer Plantagen in den nächsten Jahren. Die NW-FVA wurde mit dem mittelfristigen Aufbau von Samenplantagen mit bislang noch nicht vorhandenen Arten beauftragt. Parallel dazu sind gealterte Plantagen schrittweise zu erneuern. Als Grundlage dafür dient das Samenplantagenkonzept 2015–2025 des Landes Sachsen-Anhalt.

Es beinhaltet:

Kurzfristige Aufgaben:

- Fertigstellung der Instandsetzung des vorhandenen Netzes

Mittelfristige Ziele:

- Verjüngung des bestehenden Netzes
- Ergänzung durch Neuanlagen mit neuen Arten

Langfristige Entwicklung:

- Etablierung Forschung
- Konzentration der Saatgutproduktion auf Samenplantagen



Abbildung 42: Gepflegte und geschnittene Samenplantage (Europäische Lärche; Foto: NW-FVA)

7.3.5 Evaluierung und Betreuung

Die NW-FVA kontrolliert in regelmäßigen Abständen zusammen mit den Kollegen der Samendarre Annaburg und den zuständigen Verantwortlichen vor Ort die

Flächen. Neben den Absprachen zur weiteren Behandlung ist dabei auch Gelegenheit für den gegenseitigen Erfahrungsaustausch. Der direkte Kontakt der Wissenschaftler zu den Revierversantwortlichen hat sich in den letzten Jahren bewährt.

Bei der Neuanlage von Samenplantagen ist die NW-FVA bei der Vorauswahl von Flächen auch auf das Wissen und die Erfahrung von Praktikerinnen und Praktikern vor Ort angewiesen. Als grobe Orientierung für Vorauswahl von Plantagenflächen können die Merkmale der Tabelle 20 herangezogen werden. Die konkrete Eignung einer Fläche ist immer baumartenabhängig und wird mit allen Beteiligten zusammen vor Ort konkret entschieden.

Tabelle 20: Anforderungen an Flächen für die Anlage von Samenplantagen (Orientierung)

Technologie	
Anbindung	<ul style="list-style-type: none"> mind. mit normalen Traktoren befahrbare Zuwegung besser LKW-tauglich
Areal	<ul style="list-style-type: none"> nicht oder nur schwach geneigt (keine Hanglage) eben maschinenbefahrbar - hebebühnentauglich
Größe	<ul style="list-style-type: none"> ca. 1–2 ha
Flächenform	<ul style="list-style-type: none"> Seitenverhältnis von 1:1 (Quadrat) bis max. 1 : 2,5 (Rechteck) kein Schlauch
Nachbarschaft	<ul style="list-style-type: none"> Isolation zu Vorkommen der gleichen oder kreuzbaren Art
Konzentration	<ul style="list-style-type: none"> Vorhandensein anderer Plantagen in der Nähe (Vorteil) (Bildung von Arbeitsschwerpunkten)
Standort	
Standort	<ul style="list-style-type: none"> etwas windgeschützte Lage keine Frostlage mittlere Trophie (kein Grenzertragsstandort) mittlere Wasserversorgung optimale Bodenbeschaffenheit geringer Skelettanteil, nicht zu bindig, mulchbar
Zustand	<ul style="list-style-type: none"> gemulcht möglichst ohne Stöcke
Eigentum	
Eigentum	<ul style="list-style-type: none"> langfristige Sicherung möglich (evtl. Verträge)
Gefährdungsausschluss	
Gefährdungsausschluss	<ul style="list-style-type: none"> Nutzungskonstanz (keine Umwandlungsgefahr)

7.4 Mutterquartiere

Wie Samenplantagen sind Mutterquartiere ebenfalls forstliche Sonderkulturen, die ausschließlich der Produktion von forstlichem Vermehrungsgut dienen. Mutterquartiere werden mit dem Ziel der vegetativen Erzeugung von Vermehrungsgut (z. B. Stecklinge, Setzstangen) angelegt, wobei genetisch identische Kopien (Klone) aus

den Ausgangspflanzen gewonnen werden. Vegetative Vermehrung und die Ausbildung von Klonen kommen auch in der in der Natur vor und stellen einen Überlebensmechanismus in bestimmten Ökosystemen dar (z. B. im Hochgebirge oder in Auenwäldern). An der NW-FVA werden solche Mechanismen in Mutterquartieren für die Erhaltung und nachhaltige Nutzung von Pappeln und Weiden genutzt.

7.4.1 Schwarz-Pappel-Mutterquartiere

Die Schwarzpappel ist eine gefährdete Art der Auen. Für ihre Gefährdung sind zwei Faktoren maßgeblich: einerseits das Fehlen ihres angestammten Ökosystems im Überschwemmungsbereich der Auenwälder und andererseits die Gefährdung durch Einkreuzung fremdländischer (amerikanischer) Pappelarten. Die Hybridisierung der heimischen Schwarzpappel durch nichtheimische Pappelarten führte dazu, dass auf generativem Weg eine natürliche Erhaltung artreiner, heimischer Schwarzpappelvorkommen vielerorts fast nicht mehr möglich ist. Die Hybriden sind in der Natur oft nicht eindeutig erkennbar. Die Artreinheit von Schwarz-Pappeln kann allerdings mit genetischen Analysen festgestellt werden. Alle Individuen, die in Erhaltungsprogramme und damit in Mutterquartiere Eingang finden, wurden auf ihre Artreinheit geprüft und genetisch charakterisiert.

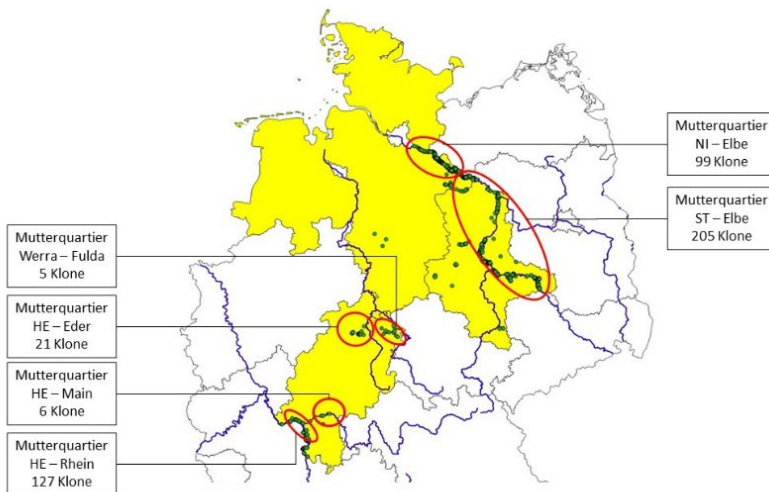


Abbildung 43: Anzahl der in Mutterquartieren der NW-FVA gesicherten Schwarzpappeln der verschiedenen Flusssysteme

Im Rahmen eines Projektes konnten bundesweit Schwarzpappelvorkommen genetisch untersucht werden. Im Ergebnis zeigte sich, dass sich die Schwarzpappeln nach Flusssystemen genetisch unterscheiden (KÄTZEL et al. 2007). Daher wurden die

Mutterquartiere der NW-FVA getrennt nach Flusssystemen angelegt (s. Abb. 43). Neben der Sicherung der genetischen Vielfalt kann aus diesen Anlagen Material für Maßnahmen der Erhaltung, des Arten- und Biotopschutzes oder der Renaturierung von Auenwäldern gewonnen werden (s. Abb. 44).

Aus Sachsen-Anhalt fanden über 200 Klone Eingang in das Mutterquartier. Dieses Material ist stark nachgefragt. So konnte beispielsweise im Jahr 2020 bei Rekultivierungsmaßnahmen an der Elbe in Sachsen-Anhalt (z. B. Hohe Garbe, Möwenwerder) auf Schwarzpappeln aus den Mutterquartieren der NW-FVA zurückgegriffen werden.



Abbildung 44: Schwarzpappel in der Elbaue, die nun im Mutterquartier gesichert wurde (Foto: H.-J. Arndt)

7.4.2 Weiden-Mutterquartier

In einem weiteren Mutterquartier steht genetisches Material gesicherter Weiden der Elb- und Saaleauen aus dem ehemaligen Mutterquartier Bülstringen zur Verfügung.

Die Klone von der Elbe beispielsweise aus Dornburg, Rosslau, Brambach, Rietzmeck, Aken oder der Saale Wettin wurden durch die NW-FVA gesichert und stehen ebenfalls für Maßnahmen zur Verfügung.

7.5 Saatgutlagerung

Für eine nachhaltige Sicherung der Versorgung können auch die Möglichkeiten der Saatgutlagerung genutzt werden. Damit ist es möglich, zumindest bei lagerfähigem Saatgut die Zeiträume zwischen den Mastjahren zu überbrücken.

Tabelle 21: Vorgabe für Risikovorrat Forstsaatgut Land Sachsen-Anhalt (Erlass vom 15. April 2015 zur Bevorratung von forstlichem Vermehrungsgut für eine nachhaltige Versorgung von identitäts- und herkunftsgesicherten Vermehrungsgut nach großflächigen Schadereignissen)

Baumart	HKG		Vorgabe reines Saatgut [kg]
<i>Abies grandis</i>	830 01	Norddeutsches Tiefland	10
	830 02	übriges Bundesgebiet	30
<i>Larix decidua</i>	837 01	Norddeutsches Tiefland	3
	837 02	Mittel- und Ostdeutsches Tief- und Hügelland	4
	837 03	West- und Süddeutsches Hügel- und Bergland	1
<i>Picea abies</i>	840 01	Norddeutsches Tiefland	5
	840 08	Harz, kolline Stufe (bis 400 m ü. NHN)	10
	840 09	Harz, montane Stufe (400–700 m ü. NHN)	10
	840 10	Harz, hochmontane Stufe (> 700 m ü. NHN)	5
<i>Pinus sylvestris</i>	851 03	Heide und Altmark	30
	851 04	Mittel- und Ostdeutsches Tiefland	60
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	853 02	Nordostdeutsches Tiefland außer Schleswig-Holstein	5
	853 03	Mittel- und Ostdeutsches Tief- und Hügelland	15
	853 04	West- und Süddeutsches Hügel- und Bergland sowie Alpen, kolline Stufe	5
	853 05	West- und Süddeutsches Hügel- und Bergland sowie Alpen, montane Stufe	5

In Sachsen-Anhalt wurde dazu mit Erlass des zuständigen Ministeriums vom 15.04.2015 verfügt, eine Saatgutreserve für lagerfähige Arten verpflichtend vorzuhalten (s. Tab. 21). Die Landesdarre Annaburg ist verantwortlich für die Sicherstellung dieser Saatgutreserve.

7.6 Resümee

Alle Maßnahmen bei denen Saat- oder Pflanzgut benötigt werden, basieren auf der Produktion, der Gewinnung und der Aufbereitung von entsprechendem Vermehrungsgut. Das betrifft Aufgaben der Aufforstung, der Begrünung, des aktiven Waldumbaus, der Waldrandgestaltung sowie des Arten- und Biotopschutzes, der Biodiversität. Es sollte im Interesse jedes Waldbesitzers sein, sich an der Schaffung der materiellen Grundlagen für eine nachhaltige Versorgung mit geeignetem Vermehrungsgut zu beteiligen. In erste Linie betrifft dies Saatgutquellen wie Saatgutbestände, Samenplantagen, Mutterquartiere, Erntehecken oder sonstige zur Saatgutgewinnung geeignete Vorkommen. Diese sind gezielt zu entwickeln und für die Saatgutgewinnung nutzbar zu gestalten. Samenplantagen und Saatguterntebestände sind mit dem Ziel der Erzeugung von Vermehrungsgut entsprechend zu pflegen. Dazu gehören auch, regelmäßig Bestände für die Ausweisung als Forstsaatgutbestand vorzuschlagen. Vorhandene Erntemöglichkeiten sind zu kommunizieren und Beziehungen zu Baumschulen und Ernteunternehmen auszubauen.

Der Prozess der Erzeugung von Vermehrungsgut muss wieder in das Bewusstsein der Akteure vor Ort dringen und damit auch die Wertschätzung des Materials.

Bäume haben verschiedene Fruktifikationszyklen, nicht von jeder Art ist Saatgut länger lagerbar, die Anzucht von Pflanzen dauert unterschiedlich lange. Es kann nicht in jedem Jahr alles vorhanden sein. Das benötigt einerseits Planung und Kommunikation mit der Baumschul- und Saatgutbranche und andererseits eine gewisse Flexibilität im waldbaulichen Handeln, wenn das geeignete Material nicht vorhanden ist, bzw. wenn es vorhanden ist.

Mit der Pflanzung oder mit der Saat wird neben der Entscheidung für die Art die genetische Konstitution für das gesamte Bestandsleben festgelegt. Dies sollte stets bewusst geschehen.

In Zeiten des Klimawandels spielen Parameter der genetischen Vielfalt für die Anpassungsfähigkeit eine große Rolle, wie nach wie vor auch Kriterien der aktuellen Angepasstheit und der Ausbildung gewünschter Merkmale wie Vitalität, Form und Wachstum.

Für all diese sind Quellen für die Gewinnung von geeignetem Vermehrungsgut zu erhalten und nachhaltig zu entwickeln. Dabei handelt es sich um Daseinsvorsorge, die nur bedingt in kurzzeitökonomischen Betrachtungen abbildbar ist.

Das gesamte Thema „Verfügbarkeit von geeignetem forstlichem Vermehrungsgut“ sollte wieder mehr ins Bewusstsein der Forstwirtschaft gelangen. Es liegt in der

langfristigen Verantwortung eines jeden Waldbesitzers die materiellen Grundlagen für waldbauliche Maßnahmen, aktive Biotopentwicklung und Schutz der Biodiversität vorzuhalten.

Jenseits der praktischen Maßnahmen auf der Fläche ist eine geeignete Infrastruktur weiter zu entwickeln. Dazu gehören leistungsfähige Einheiten zur Ernte, Aufbereitung und Lagerung von Vermehrungsgut. Neben modernen technischen Voraussetzung bedarf es Spezialisten im Saatgutmanagement, die ausgebildet und langfristig in den Betrieben verfügbar sein müssen. Letztlich sollte auch wieder ein Forschungsfeld intensiviert werden, welches sich Fragen der Entwicklung von Samenplantagen und der Saatgutgewinnung im Rahmen aktueller Waldbaustrategien widmet.

8 Waldschutz im Klimawandel

*Martin Rohde, Johanna Bußkamp, Ines Graw, Christof Hein, Rainer Hurling,
Gitta Langer, Pavel Plašil, Andreas Rommerskirchen, Sabine Rumpf*

8.1 Einleitung

Durch die mit dem Klimawandel einher gehenden Veränderungen (kontinuierliche Veränderungen, Häufigkeit und Ausprägung von Extremereignissen, Variabilität von Witterungsereignissen) werden sich auch die Wechselbeziehungen zwischen Wirt (= Baumart) und bisherigen oder potenziellen Schaderregern verändern. In vielen Fällen werden sich Risiken für unsere Baumarten deutlich erhöhen. Die konkreten Auswirkungen vor Ort lassen sich aber kaum prognostizieren und können auch nur teilweise modellhaft über Wahrscheinlichkeiten abgeschätzt werden. Dennoch soll im Folgenden dargestellt werden, wie die forstliche Bedeutung wichtiger Schaderreger eingeschätzt wird und welche Risiken, aber auch welche Optionen zur Risikominimierung sich daraus im Einzelnen ergeben können. Waldbesitzende sollen damit eine Unterstützung erhalten, um alternative Verjüngungsmöglichkeiten im Einzelnen besser beurteilen zu können.

Grundsätzlich begünstigen höhere Temperaturen die Entwicklung von Insekten (bis zu einem gewissen Punkt) und vielen pilzlichen Schaderregern. Eine verringerte Wasserverfügbarkeit, die zu Trockenstress führt, schwächt die Vitalität und die Abwehrbereitschaft von Bäumen.

In manchen Regionen könnten sich pro Jahr mehr Generationen eines Schaderregers entwickeln als bisher (z. B. Buchdrucker), es könnten Schaderreger in Regionen auftreten, in denen Sie bisher nicht oder nur unauffällig vertreten waren, oder bisher unbedeutende Schaderreger könnten eine höhere Bedeutung erlangen. Auch hierzu lassen sich wegen der Komplexität der Interaktionen keine generellen Vorschläge tätigen. Umso wichtiger sind ein gezieltes und aufmerksames Monitoring der potenziellen Schaderreger und die laufende Überprüfung und ggf. Anpassung von Schadensschwellen und so genannten „kritischen Dichten“ bei blatt- oder Nadel fressenden Insekten bzw. deren Raupen.

Den größten positiven Einfluss auf den Waldschutz dürften vorbeugende, waldbauliche Anpassungsmaßnahmen haben, die eine optimale Standortsangepasstheit und Anpassungsfähigkeit der jeweiligen Baumart an die sich ändernden klimatischen Bedingungen berücksichtigen und das Risiko durch die Begründung und Förderung von Mischbeständen und damit auch einer Förderung der Struktur- und Artenvielfalt streuen und minimieren. Die vorliegende „Waldbauplanung“ berücksichtigt diese grundlegenden Aspekte und baut auf ihnen auf. Allerdings sind waldbauliche Weichenstellungen erst mittel- bis langfristig wirksame und auch keine absoluten

Erfolg garantierenden Maßnahmen. Keine Baumart ist unter den aktuellen und den sich weiter ändernden Bedingungen risikofrei. Es wird daher auch weiterhin kurzfristig auf akute Risiko- oder Schadenssituationen zu reagieren sein. Dabei muss auf das gesamte, bewährte Spektrum von Maßnahmen des integrierten Waldschutzes, wie z. B. die „Saubere Wirtschaft“ als Daueraufgabe, abgestufte Monitoring- und Prognoseverfahren oder auch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln als *ultima ratio* in notwendigen, begründeten Fällen zurückgegriffen werden, um in ihrer Existenz oder Funktionsfähigkeit gefährdete Waldbestände und eine hohe Qualität des erzeugten Holzes zu erhalten. Maßnahmen, mit denen gravierende Einbußen der Waldleistungen eingedämmt werden sollen, werden insbesondere unter dem Aspekt der sich verschlechternden Verfügbarkeit geeigneter Pflanzenschutzmittel und deren sinkender Akzeptanz eine große Herausforderung sein. Bisher bewährte Waldschutzverfahren sind weiter zu entwickeln und an die sich ändernden ökologischen sowie gesellschaftlichen Rahmenbedingungen anzupassen, neue Verfahren sind zu entwickeln.

Ein integrierter Waldschutz strebt die Minimierung verschiedener Risiken an, die sowohl Bestandesgefährdungen in Wäldern entgegenwirkt als auch Nachteile für Mensch, Tier und Umwelt vermeidet. Gemäß § 3 des Pflanzenschutzgesetzes vom 06.02.2012 darf Pflanzenschutz nur nach guter fachlicher Praxis durchgeführt werden. Die gute fachliche Praxis im Pflanzenschutz beinhaltet u. a. die Einhaltung der allgemeinen Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes. Im Rahmen des integrierten Pflanzenschutzes soll die Anwendung von chemischen Pflanzenschutzmitteln als letztes Mittel und erst nach Ausschöpfung geeigneter alternativen Maßnahmen auf das notwendige Maß begrenzt werden.

Zugelassene Pflanzenschutzmittel, ihre Anwendungsbestimmungen (Auflagen) sowie weitere Hinweise zur Anwendung sind abrufbar in der Online-Datenbank *Pflanzenschutzmittel* des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit¹.

Die Abteilung Waldschutz der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt unterstützt die Waldbesitzenden und Bewirtschaftenden durch Beratung bei der Wahl von geeigneten Waldschutzmaßnahmen und begleitet diese fallweise.

Für eine schnelle Übersicht der forstlich relevanten Käfer- und Schmetterlingsarten und deren Befallsbaumarten(gruppen) mit einer Risikoeinstufung dient Tabelle 22. Nähere Beschreibungen zu ausgewählten Schaderregern finden sich in den nachfolgenden Kapiteln. Die entsprechenden Seiten können ebenso der Tabelle entnommen werden.

¹ <https://apps2.bvl.bund.de/psm/jsp/index.jsp>

Tabelle 22: Forstlich wichtige Käfer- und Schmetterlingsarten und Befallsbaumarten(gruppen) mit Risikoeinstufungen. Die Risikostufen sind eingeteilt in einzelbaumweise/selten (=grün), gelegentlich auftretend/wirtschaftlich spürbar (=gelb) und potenziell bestandesgefährdend (=rot). Bestandesbedrohend nach mehrmaligem Kablfraß bzw. in Kombination mit sekundären Schaderregern ist durch einen Farbverlauf von gelb nach rot gekennzeichnet.

Schaderreger	Flugzeit Fraßzeit	KI	ELÄ	JLÄ	FI	DGL	TA	soNB*	EI	BU	soHLB**	WLB***	Seite
<i>Käferschäden in Kulturen</i>													
Großer Brauner Rüsselkäfer (<i>Hylobius abietis</i>)	IV – IX	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	119
Waldmaikäfer (<i>Melolontha hippocastani</i>)	IV – V	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	120
diverse Kurzrüssler (<i>Straphosoma melanogrammum</i> , <i>Brachyderes incanus</i> , <i>Otiorrhynchus niger</i> , <i>Phyllobius arborator</i> , <i>O. ovatus</i> , <i>O. subdentatus</i> , u. a.)	IV – VIII	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	119
<i>Käfer unter der Rinde bis in den Splint</i>													
Buchdrucker (<i>Ips typographus</i>)	IV – VIII	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	132
Kupferstecher (<i>Pityogenes chalcographus</i>)	IV – VIII	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	132
Lärchenborkenkäfer (<i>Ips cembrae</i>)	IV – VIII	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	132
Kleiner Waldgärtner (<i>Tomicus minor</i>)	IV – VIII	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	132
Großer Waldgärtner (<i>Tomicus piniperda</i>)	IV – VIII	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	132
Blauer Kiefernprachtkäfer (<i>Phaenops cyanea</i>)	IV – VIII	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	134
Kiefernrüßler (<i>Pissodes piniphilus</i> , <i>P. pini</i> , <i>P. notatus</i>)	V – IX	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	137
Zwölfzähliger Kiefernborke- käfer (<i>Ips sexdentatus</i>)	IV – VIII	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	132
Zweizähliger Kiefernborke- käfer (<i>Pityogenes bidentatus</i>)	IV – VIII	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	132
Sechszähliger Kiefernborke- käfer (<i>Ips acuminatus</i>)	IV, (VIII)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	132
Kleiner Achtzähliger Fichtenborke- käfer (<i>Ips amitinus</i>)	IV – VII	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	132
Birkensplintkäfer (<i>Scolytus ratzeburgii</i>)	VI – VII	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	132
Eichensplintkäfer (<i>Scolytus intricatus</i>)	V, (IX)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	134
Zweifleckiger Eichenprachtkäfer (<i>Agriilus biguttatus</i>)	V – VII	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	134
Kleiner Buchenborke- käfer (<i>Taphrotychus bicolor</i>)	IV – VIII	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	137
Fichtenböcke (<i>Tetropium castaneum</i> (<i>luridum</i>), <i>T. fuscum</i>)	IV – VIII	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	137
Lärchenbock (<i>Tetropium gabrieli</i>)	IV – VIII	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	137

(Fortsetzung Tabelle 22)

Schaderreger	Flugzeit Fraßzeit	KI	ELÄ	JLÄ	FI	DGL	TA	soNB*	EI	BU	soHLB**	WLB***	Seite
Eschenbastkäfer (<i>Hylesinus fraxini</i> , <i>H. crenatus</i>)	IV – V										■		
Buchenprachtkäfer(<i>Agrius viridis</i>)	VI – VII								■	■		■	
Ulmensplintkäfer (<i>Scolytus scolytus</i> , <i>S. multistriatus</i>)	V, VIII										■		

Holzschädigende Käfer

Gestreifter Nutzholzborkenkäfer (<i>Trypodendron lineatum</i> (= <i>Xyloterus lineatus</i>))	III – V	■	■	■	■	■	■	■					138
Amerikanischer Nadelnutzholzborkenkäfer (<i>Gnathotrichus materiarius</i>)	V – IX	■	■	■	■	■	■	■					138
Sägehörniger Werftkäfer (<i>Hylecoetus dermestoides</i>)	IV	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	138
Schwarzer Nutzholzborkenkäfer (<i>Xyleborus germanus</i>)	V – VIII	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	138
Eichenkernkäfer (<i>Platypus cylindrus</i>)	VII – IX								■	■	■		138
Eichenholzbohrer (<i>Xyleborus monographus</i>)	IV, VI								■	■	■		
Laubnutzholzborkenkäfer (<i>Trypodendron domesticum</i> , <i>T. signatum</i>)	III – V								■	■	■	■	

Schmetterlinge

Kiefernspinner (<i>Dendrolimus pini</i>)	II – VI, VIII – X	■	■	■	■	■	■	■					142
Forleule (<i>Panolis flammea</i>)	V – VII	■				■							143
Gem. Kiefernbuschhornblattwespe (<i>Diprion pini</i>)	V – VIII+ V – VII++ VIII – X++	■											144
Nonne (<i>Lymantria monacha</i>)	IV – VI	■	■	■	■	■	■				■		145
Kleiner Frostspanner (<i>Operophtera brumata</i>)	IV – VI								■	■	■		148
Großer Frostspanner (<i>Erannis defoliaria</i>)	IV – VI								■	■	■		148
Grüner Eichenwickler (<i>Tortrix viridana</i>)	V								■				148
Eichenprozessionsspinner (<i>Thaumetopoea procestonia</i>)	IV – VII								■				149
Schwammspanner (<i>Lymantria dispar</i>)	IV – VII	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	149

*Chinesisches Rotholz, Eibe, Hemlocktanne, Schwarzkiefer, Strobe

**Ahoorne, Eschen, Vogelkirsche, Ulmen, Hainbuche, Robinie, Hickory, Schwarznuss, Baumhasel, Esskastanie, Gew. Traubenkirsche

***Aspe, Birken, Weiden, Eberesche, Elsbeere, Linden, Pappeln, Roterle

+ *univoltin*

++ *bivoltin*

8.2 Kulturschutz

8.2.1 Rüsselkäfer

Der Große Braune Rüsselkäfer (*Hyllobius abietis*) stellt in Nadelholzkulturen vielfach ein sehr hohes Risiko für das Überleben der neu gesetzten Bäumchen dar. In meist geringerem Maße gefährdet er auch bereits vorhandene oder gerade ankommende Naturverjüngung.

Der an den Kulturpflanzen zu beobachtende Rindenfraß ist der Reifungs- und Regenerationsfraß der Käfer. Zur Eiablage suchen die weiblichen Käfer aktiv frische Nadelholzstubben an sonnigen Standorten auf. Die Larvenentwicklung vollzieht sich unter der Rinde absterbender Wurzeln, nach frühestens drei Monaten, teilweise erst nach bis zu zwei Jahren schlüpfen fertige Käfer. Durch extreme Witterungsverläufe wie in den Jahren 2018 bis 2020 fällt über mehrere Jahre eine große Zahl von Stubben aus Zwangsnutzungen an, wodurch sich die lokalen Rüsselkäferpopulationen exponentiell vermehren und in den Folgejahren Pflanzungen von Nadelbäumen massiv gefährden. Darüber hinaus muss befürchtet werden, dass bei allgemein steigender Lufttemperatur zunehmend auch innerhalb von Beständen die Nadelholzstubben aus Durchforstungen ein weiteres Brutraumangebot bieten und so der Käferdruck auf Dauer hoch bleiben wird.

Die klassische mehrjährige Schlagruhe zum Schutz der Kulturen, bei der zum Zeitpunkt der Pflanzung die meisten Jungkäfer die Hiebsfläche bereits wieder verlassen haben sollten, stellt viele Betriebe vor Probleme, da sich in der Zwischenzeit eine konkurrenzstarke Begleitvegetation oder schädliche Mäusepopulationen etablieren. In Kalamitätsphasen von Borkenkäfern ist die Schlagruhe meist auch deshalb unzureichend, weil im Umfeld der Kulturen anfallende frische Stubben die Populationen der Rüsselkäfer weiter auf hohem Niveau erhalten.

Viele Betriebe setzen heute bei Befallsbeginn Insektizide gezielt an den gefährdeten Jungpflanzen ein, die – rechtzeitig behandelt – so hinreichend geschützt sind. Allerdings zeichnet sich bei der Verfügbarkeit solcher Mittel zukünftig ein Engpass ab, der gegebenenfalls durch vergleichsweise teure und sehr aufwändige personalintensive Alternativmaßnahmen wie Fangrinden/Fangknüppel oder Fanggruben kompensiert werden muss. Solche Fangverfahren haben die notwendige hohe Dichte der Fallen und die enge zeitliche Taktung für das Absammeln und Vernichten der Käfer gemeinsam. Neben den Fangverfahren können z. B. auch Alternativen wie Schutzkragen oder gewachstes Pflanzenmaterial verwendet werden. Solchen Verfahren haben die Gemeinsamkeit, dass die Wirksamkeit im Vergleich mit chemischen Pflanzenschutzmittelanwendungen wesentlich geringer und unzuverlässiger ist. Biologische Verfahren (z. B. mit Nematoden) sind aktuell noch nicht praxisreif.

Extremjahre wie zwischen 2018 und 2021 haben gezeigt, dass auch bisher wirtschaftlich weniger bedeutende Rüsselkäferarten, die sich sonst von krautiger Vegetation und als Larve von deren Wurzeln ernähren, extrem vermehren können und dann schädigend an Nadeln bzw. Blättern, Knospen und Rinde auftreten. Sowohl an Laub- wie auch an Nadelholzkulturen auf Kalamitätsflächen wird in und nach Extremsommern teils empfindlicher Fraß durch Grün- und Graurüsslerarten festgestellt. Vermehrt tritt dann auch der Kahlnahtige Graurüssler (*Strophosoma melanogrammum*) in Erscheinung. An nahezu allen Baumarten werden direkt nach der Pflanzung Knospen ausgehöhlt und Pflanzen durch zumindest oberflächlichen Rindenfraß an der Sprossachse geschwächt. Neu gepflanzte Bäume sterben dadurch zwar nur selten ab, können sich aber oftmals im Folgejahr kaum gegen eine Konkurrenzvegetation behaupten, stark betroffene Pflanzen zeigen kümmerlichen Wuchs. Vor allem in Verbindung mit Trockenheit und einer unzureichenden Bodenvegetation auf Kulturfleichen kann sich Fraß von Rüsselkäfern zukünftig als ein erhebliches, wiederkehrendes Aufforstungsproblem erweisen.

8.2.2 Maikäfer

In der Letzlinger Heide und den angrenzenden Wäldern besteht seit Jahren das nördlichste zusammenhängende Vorkommen des Waldmaikäfers (*Melolontha hippocastani*). Diese Art ist aktuell auch in der Rhein- und teilweise in der Mainebene verbreitet und stellt die dortige Forstwirtschaft vor große Herausforderungen. In Südhessen werden bei Dichten bis zu 50 Engerlingen (E3) je m² nicht nur die Feinwurzeln von Gehölzpflanzen aller Art, sondern bei langjährigem Vorkommen auch starke Wurzeln komplett gefressen bzw. geringelt, wodurch auch alte Bestände schwer geschädigt werden. Der Waldmaikäfer hat sich im südlichen Hessen (im Weinbauklima) innerhalb von 40 Jahren von einer ursprünglichen Fläche von etwa 25 ha auf mittlerweile mehrere 30.000 ha ausgebreitet. Es steht also zumindest zu befürchten, dass eine Ausbreitung im gewandelten Klima auch weiter nördlich möglich ist.

8.2.3 Mäuse

Unter den in Europa vorkommenden Säugetieren stellen die Nagetiere mit 11 Familien und 75 Arten die größte Ordnung (WENK 2016). Dazu gehören z. B. Wühlmäuse, Echte Mäuse, Hörnchenartige, Bilche, Hamster und Biber. In unseren Wäldern sind 15 Nagetierarten heimisch (THIEL u. OHLMEYER 2003). Ausschließlich die zu den Wühlmausarten zählenden Kurzschwanzmäuse (Erd-, Feld-, Rötel- und Schermaus) können weitreichende Schäden an Kulturen und Naturverjüngungen verursachen (KRÜGER 1996, NIEMEYER 1997, ALTENKIRCH et al. 2002, THIEL u. OHLMEYER 2003, WENK 2016, IMHOLT et al. 2017, TRIEBENBACHER 2020). Ihr wichtigstes Merkmal ist der kurze Schwanz (s. Abb. 45). Kopf und Körper sind

gedrungen, die Augen klein, die Ohren kurz. Dies unterscheidet sie von den geschützten, nicht forstschädlichen Langschwanzmäusen.

Bevorzugte Habitate sind vergraste Flächen vor allem bei der Erdmaus (vgl. Tab. 23). Tote Grasdecken bieten im Herbst zwar vorübergehend noch Deckung, jedoch keine Nahrung mehr, sodass Forstpflanzen unmittelbar gefährdet sind. Aufgrund der starken Zunahme an rasch vergrasenden Kahlflächen infolge von Stürmen, Sommerdürren, Insektenkalamitäten und Nitrateinträgen haben sich deshalb die Lebensbedingungen von Mäusen verbessert.



Abbildung 45: Erdmaus (links), frische Nageschäden an einer Kulturpflanze (rechts) (Foto: NW-FVA)

Tabelle 23: Lebensweise und Habitate der Wühlmansarten Erd- und Feldmaus, Rötelmaus und Schermaus

	Erdmaus (<i>Microtus agrestis</i> [L.])	Feldmaus (<i>Microtus arvalis</i> [PALLAS.])	Rötelmaus (<i>Clethrionomys glareolus</i> [SCHREIBER])	Schermaus (<i>Arvicola terrestris</i> [L.])
Habitate und Lebensweise	bevorzugt feuchte Standorte mit vergrauten Lichtungen und Kulturen mit dichtem Graswuchs, kein guter Kletterer	wärmeliebend, an steppenartiges Grasland mit nicht zu hoher Vegetation gebunden, nur in feldnahen Forstkulturen und lichten Acker- und Wiesenaufforstungen	weite Verbreitung mit Schwerpunkt in Buchen- und Buchenmischwäldern, geschickter Kletterer	vorwiegend unterirdisch lebend, amphibischer (in Gewässernähe) und terrestrischer Ökotyp, territorial, ein Paar bzw. eine Familie bewohnt einen Bau
Nahrung	Im Frühjahr und Sommer: frische Triebe von Gräsern und Kräutern Im Winter: Bei Nahrungsmangel Rinde junger Bäume; nach trockenen Sommern ggf. schon ab August!	Im Frühjahr und Sommer: frische Triebe von Gräsern und Kräutern Samen, Wurzeln, Knollen, Klee, tierische Kost, Getreide Im Winter: bei Nahrungsmangel Rinde junger Bäume	Im Frühjahr und Sommer: breites Spektrum von Samen (Bucheckern, Eicheln), tierischer Kost, Pilzen, frischen Trieben von Gräsern und Kräutern, Keimlinge, Früchte Im Winter: Bei Nahrungsmangel Rinde junger Bäume, auch Knospen, Blätter/Nadeln und Zweige	Im Frühjahr und Sommer: sehr breites Spektrum an pflanzlicher Nahrung, vegetative Teile von Kräutern und Gräsern Im Winter: Wurzeln von Bäumen, Knollen, Zwiebeln
Schäden	durch plötzweises bis stammumfassendes Benagen der Pflanzen in Bodennähe (bis 15 cm Höhe); bei Schneelage oder anderen Kletterhilfen auch höher, kann bei sehr lockeren Böden auch Wurzeln benagen, kann Stämmchen bis ca. 2 cm Durchmesser durchmaeren	ähnlich denen der Erdmaus, weniger massiv, benagt den unteren Stammbereich und die Wurzeln, durchragt Stämmchen aber nicht	Schaden durch plätzweises Benagen der Pflanzen: Schäden v. a. in den höheren Partien (bis > 1 m) des Stammes, bei Ndh. und Buche auch Benagung und Aushöhlung der Terminal- und Seitenknospen	unterirdischer Schaden durch Abnagen der Wurzeln, erst werden Seitenwurzeln von Lbh. (und Ndh.) benagt und dann rübenartig die Hauptwurzel
Gradationen	in unregelmäßigen Zyklen von 2-4 Jahren, max. Dichten von 100-300 Tieren/ha	in (un-)regelmäßigen Zyklen von 3-4 Jahren, max. Dichten von 1.000 - 5.000 Tieren/ha, sehr große Vermehrungsfähigkeit	alle 3-4 (5) Jahre, max. Dichten von 300-400 Tieren/ha	alle (6-) 8 Jahre, neigt zu starken Fluktuationen, langsamer steigende Dichten als kleinere Wühlmansarten, max. Dichten von 1.000 Tieren/ha (Osteuropa)

Wühlmäuse durchlaufen zyklische Massenvermehrungen (vgl. ALTENKIRCH et al. 2002). Es treten z. T. sehr auffällige Zyklen von (2) 3 bis 4 Jahren, bei der Schermaus von (6) bis 8 Jahren auf. Gradationen wechseln sich mit Latenzphasen ab und folgen i. d. R. einem bestimmten Ablauf sowie einer gewissen *Synchronität*, sodass das Auftreten und die Dauer potenziell vorhersehbar sind. Bei Mäusen ist der Beginn einer Massenvermehrung in der Regel überregional spürbar (ALTENKIRCH et al. 2002, WENK 2016). Aufgrund des hohen Reproduktionspotenzials, verursacht durch eine frühe Geschlechtsreife der Weibchen, überdurchschnittlich hohe Weibchenzahlen, kurze Wurfintervalle und große Würfe, können diese beträchtlich sein. Lokal starke Vorkommen von Kurzschwanzmaus-Arten können auch durch Wanderungen hervorgerufen werden (WENK 2016). Häufige Auslöser hierfür sind gravierende Veränderungen des Lebensraumes oder auch ein verringertes Nahrungsangebot. Gradationen werden durch milde Winter und Mastjahre begünstigt (WENK 2016, TRIEBENBACHER 2020). Zu Buchenmasten führen überdurchschnittlich hohe Temperaturen im Juni und Juli verbunden mit deutlich geringeren Niederschlägen zu vermehrtem Blütenansatz (WACHTER 1964, SCHMIDT 2006). Im Zusammenwirken von steigenden Sommertemperaturen mit hohen Stickstoffeinträgen scheint sich die Fruktifikationsneigung der Buche in Häufigkeit und Ausmaß merklich zu erhöhen (SCHMIDT 2006, PAAR et al. 2011). Beide Faktoren- milde Winter und trocken-warme Sommer- erhöhen somit die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Massenvermehrungen der Kurzschwanzmäuse. Durch Klimawandeleffekte ist zu erwarten, dass sich die Gradationszyklen verändern, sodass unter Umständen Massenvermehrungen in geringen Abständen, größerer Intensität oder längerer Dauer auftreten können.

8.2.3.1 Maßnahmen im Rahmen eines integrierten Pflanzenschutzes

8.2.3.1.1 Waldbauliche Maßnahmen

Ein wesentliches Steuerelement zur Senkung des Gefährdungspotenziales von Kulturen, durch Kurzschwanzmäuse geschädigt zu werden, ist eine Vermeidung, zumindest aber Verringerung der Vergrasung. Unter einem weitgehend geschlossenen Altholzschirm aus Schatt- oder Halbschattbaumarten, z. B. Buche, Weißtanne oder Fichte, kann sich die Grasvegetation meist weniger üppig entwickeln als unter lockerem Schirm aus Lichtbaumarten, wie Kiefern, Lärchen oder verschiedenen Edellaubhölzern. Auf den großen, überwiegend geräumten Fichtenkalamitätsflächen kann es mitunter zielführend sein, vor einer investiven Verjüngungsmaßnahme das Ankommen von Pionier- und sukzessionalen Begleitbaumarten wie Birke, Weide oder Eberesche abzuwarten, welche einer Vergrasung entgegenwirken. Bei der Verwendung der Japanlärche ist die Gefährdung durch Schermäuse zu beachten (s. Tab. 24). Neben einem ausreichenden Naturverjüngungspotenzial ist hierfür eine angepasste Schalenwildliche unverzichtbar. Insbesondere für die Rotbuche, die weiterhin eine wichtige Zielbaumart der meisten Waldumbauprogramme ist, kommt auf

großen Freiflächen aufgrund der Frostgefährdung eine Etablierung ohne Vorwald meist ohnehin nicht infrage. Eine Beseitigung der Grasvegetation durch Mulchen oder Abziehen der Vegetationsdecke ist aus Waldschuttsicht sinnvoll, Eingriffe in den Mineralboden können jedoch durch die Auflockerung des Bodens die Habitatbedingungen für Schermäuse verbessern und sollten daher vermieden werden (ALTENKIRCH et al. 2002). Da die Fraßbelastung durch Kurzschwanzmäuse vor allem im Herbst auftritt, wenn sie durch Nahrungsmangel auf Kulturen ausweichen, muss grundsätzlich eher bei Herbstpflanzungen mit Problemen gerechnet werden. Insbesondere Laubhölzer sind auch in Pflanzeneinschlägen potenziell gefährdet.

Tabelle 24: Präferenz unterschiedlicher Baumarten durch Kurzschwanzmäuse (WENK 2016, TRIEBENBACHER 2020; verändert)

Mäuseart		Gefährdungsgrad		
		stark gefährdet auch bei Normaldichte	gefährdet bei Massenvermehrung	kaum gefährdet bei Massenvermehrung
Erd-/Feld und Rötelmaus	LH	Rotbuche, Hainbuche, Kirsche, Esche, Ahorn, Elsbeere, Wildobst, Weide	Eiche, Roteiche, Pappel, Robinie	Linde, Walnuss, Mehlbeere, Birke, Erle, Aspe, Vogelbeere
	NH	Lärche	Douglasie, Fichte	Kiefer, Tanne, Strobe
Scherm Maus	LH	Rotbuche, Hainbuche, Eiche, Kirsche, Esche, Ahorn, Elsbeere, Wildobst, Pappel		Linde, Walnuss, Schwarznuss, Robinie, Birke, Erle, Aspe
	NH		Douglasie, Fichte, Tanne, Lärche, Strobe	Kiefer

Außerdem beeinflusst die Wahl der Baumarten das Risiko von Fraßschäden (vgl. Tab. 24). Deswegen ist bei der Kulturplanung zu berücksichtigen, welche Baumarten durch Kurzschwanzmäuse präferiert werden. Es wird derzeit davon ausgegangen, dass Laubbaumarten wie z. B. Kirsche, Hainbuche, Ahorn, aber auch Lärche bevorzugt von Erd-, Feld- und Rötelmaus angenommen und beschädigt werden. Die Scherm Maus hat eine starke Präferenz für die Eiche. Kaum gefährdet erscheinen hingegen Linde, Wal- und Schwarznuss, die Vorwaldarten Birke, Erle, Aspe und Vogelbeere, sowie die Kiefer.

8.2.3.1.2 Natürliche Fressfeinde

Zu den natürlichen Feinden der Wühlmäuse zählen v. a. Greifvögel, Eulen, Füchse und Mauswiesel, sowie Baum- und Steinmarder. Die Beziehung zwischen Jäger und Beute wird grundsätzlich durch die Populationsdichten der Beutetiere bestimmt

(SCHINDLER 1962, MEBS 1964, ALTENKIRCH et al. 2002, SULLIVAN et al. 2004). Dieser grundlegende Zusammenhang trifft sowohl für Beutegreifer als auch für bodenbürtige Jäger zu und gilt insbesondere für die Spezialisten unter ihnen, z. B. das Mauswiesel. In der Praxis bedeutet es für viele Prädatoren, dass es sinnvoll sein kann, diesen Jägern den Zugang zu ihrer Beute zu erleichtern, zum Beispiel durch das Errichten von Julen für Greifvögel und Sauklappen in Gattern. Auch der Verzicht auf Abschüsse von Raubwild in gefährdeten Bereichen ist als zielführende Maßnahme zu sehen. Die resultierende Dezimierung der Beutepopulationen wird jedoch in der Regel leicht durch eine hohe Reproduktionsfähigkeit kompensiert und ist daher nicht langfristig wirksam. Auf einen erhöhten Jagddruck folgt die Ausbildung eines neuen Populationsgleichgewichtes. Für eine konkrete Bekämpfung von Kurzschwanzmäusen sind Prädatorenansiedlungen daher nicht oder nur bedingt geeignet. Diese Wirkungsgefüge wurden vielerorts in der Praxis belegt, sodass schlussendlich festgehalten werden kann, dass im Prädatorenmanagement zwar ein wesentlicher Baustein zur präventiven Regulation von Kurzschwanzmäusen besteht, dieses jedoch weder als alleinige und noch weniger als kurzfristige Lösung bei Mäusemassenvermehrungen geeignet ist (WENDLAND 1972, FUELLING et al. 2010, LANG 2014, DONÁZAR et al. 2016, LABUSCHAGNE et al. 2016).

8.2.3.1.3 Einsatz von Pflanzenschutzmitteln

Beim Einsatz von Rodentiziden ist es das Ziel, Kulturausfälle durch Mäuse auf ein tolerierbares Maß zu reduzieren. Aktuell zugelassene Rodentizide, ihre Anwendungsbestimmungen und Auflagen sowie weitere Hinweise zur Anwendung sind abrufbar in der Online-Datenbank des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit².

8.2.3.2 Überwachung und Prognose

Nach guter fachlicher Praxis und nach den Grundsätzen des integrierten Pflanzenschutzes ist eine Prognose vor einer Bekämpfung durchzuführen. Sie dient der Entscheidungsfindung, ob eine Bekämpfung notwendig ist. Bei Erd-, Feld- und Rötelmaus kommen als Prognosemethoden das Steckholzverfahren und Probefänge zur Ermittlung des bereinigten „Indexes-100 Fallennächte“ zur Anwendung, bei der Schermaus die Verwühlprobe (vgl. Tab. 25). Eine genaue Beschreibung der Verfahren kann der Arbeitsanweisung der NW-FVA (2014) entnommen werden.

² <https://apps2.bvl.bund.de/psm/jsp/index.jsp>

Tabelle 25: Überwachungs- und Prognoseverfahren für Erd-, Feld- und Rötelmaus sowie Schermaus

	Erd-/Feld- und Rötelmaus		Schermaus
Verfahren	Steckholzverfahren	Prognosefänge (bereinigte „Index-100-Fangnächte“)	Verwühlprobe
Beschreibung der Methode	50x ca. 50 cm lange Apfel-Wasserreiser werden entlang einer gedachten Linie in vergrasteten Bereichen der gefährdeten Kulturen im Abstand von zwei Schritten 10 cm tief in den Boden gesteckt. Nach einer Woche werden diese auf Nageschäden untersucht.	Mindestens 25, besser 50 Schlagfallen werden mit kernlosen weißen Rosinen beködert und in der Kultur auf einer gedachten Linie in vergrasteten Bereichen der gefährdeten Kulturen, alle zwei Schritte ausgelegt. Die Fallenlinie wird zweimal jeweils nach 24 Stunden kontrolliert. Gefangene Mäuse werden jeweils entnommen und die Fallen wieder aufgestellt.	Mit einer Sonde werden Schermausbaue gesucht. Nach Auffinden werden ein bis zwei Schermausgänge ca. eine Spatenbreite weit aufgedigelt und nach 24 h kontrolliert, ob sie wieder verwühlt sind.
Schwellenwert	Mindestens 20 % der Steckreiser sind nach einer Woche benagt. Sind bereits frische Fraßschäden in merklichem Umfang ($\geq 20\%$) aufgetreten, können diese selbst als ausreichende Prognose für eine akute Gefährdung angesehen werden.	Mindestens 10 Kurzschwanzmäuse wurden mit Schlagfallen gefangen.	Mindestens 1 Gangöffnung wurde wieder verwühlt.

8.2.4 Begleitwuchsregulation

8.2.4.1 Konkurrierende Begleitvegetation

In forstlichen Kulturen kann neben Insekten und Pilzen auch die Konkurrenz- bzw. Begleitvegetation (siehe Anhang) für Probleme sorgen. Auf den Kulturflächen konkurrieren junge Baumpflanzen mit unerwünschter Begleitvegetation aus Gräsern und anderen Pflanzen um Licht, Wasser und Nährstoffe (BURSCHEL u. HUSS 1997, ALTENKIRCH et al. 2002). Durch das Überwachsen der Forstpflanzen können Zuwachsverluste und durch Überlagerung besonders bei höherer Schneeeauflage starke Ausfälle in den Kulturen verursacht werden (SCHWERDTFEGER 1970, BURSCHEL u. HUSS 1997). Vor allem im Frühjahr nimmt durch den trockenen Grasanteil auch die Waldbrandgefahr zu (SCHWERDTFEGER 1970).

Darüber hinaus können durch dichten Bodenwuchs die Gefahr von Spätfrostschäden erhöht werden (ALTENKIRCH et al. 2002, BARTSCH et al. 2020) und klein-klimatische Bedingungen geschaffen werden, die Pilzkrankheiten begünstigen (z. B. Kiefernscütte) (ALTENKIRCH et al. 2002). Auch das Angebot für Zwischenwirte für wirtswechselnde Pathogene (z. B. Aspe für den Kieferndrehrost) wird erhöht

sowie die Verbissgefahr durch Wild durch eine Wachstumsverzögerung verlängert (ALTENKIRCH et al. 2002). Stark vergraste Kulturen bieten auch günstige Habitate für forstschädliche Kurzschwanzmäuse (vor allem Erd- und Feldmaus) (SCHWERDTFEGER 1970, BURSCHEL u. HUSS 1997, ALTENKIRCH et al. 2002). Dagegen bietet Begleitvegetation einen Schutz gegen Überhitzung und austrocknende Winde sowie Ablenkung als Schutz gegen Wildverbiss (BURSCHEL u. HUSS 1997).

8.2.4.1.1 Farne (Tüpfelfarne, Polypodiaceae)

Vor allem in artenarmen Eichen- und Kiefernwäldern tritt der Adlerfarn (*Pteridium aquilinum*) als verjüngungshemmende und verdämmende Schlagpflanze auf (ALTENKIRCH et al. 2002). Wegen der ausgedehnten Rhizome mit tiefreichenden Wurzeln ist er sehr hartnäckig. Nach ALTENKIRCH et al. (2002) kann der Adlerfarn wirksam chemisch bekämpft werden – vorausgesetzt, der richtige Zeitpunkt wird gewählt (erst ab Anfang August; dann beginnt der Farn, Reservestoffe aus den Wedeln in die Rhizome zu verlagern, das Herbizid wird dann in die Rhizome transportiert und tötet diese ab). Beim Aufkommen der Naturverjüngung in Laub- und Mischwäldern verursacht der Eichenfarn (*Gymnocarpium dryopteris*) eine ähnliche Schadwirkung (BURSCHEL u. HUSS 1997).

8.2.4.1.2 Gräser (Gramineae)

Gräser gelten neben dem Adlerfarn als gefährlichste Begleitvegetation in Kulturen und Jungwüchsen. Nach menschlichen Eingriffen (Auflichtung, N-Immissionen) können geschlossene Grasflächen, z. B. von Reitgräsern (*Calamagrostis*) auch in älteren Beständen auftreten. Als verjüngungshemmend gilt vor allem das Land-Reitgras (*Calamagrostis epigejos*). Durch sein dichtes Wurzelwerk (bis 2 m tief) kann der Boden verfilzt werden, trocknet aus, erhöht die Brand- und Frostgefahr und verdämmt junge Forstpflanzen (ALTENKIRCH et al. 2002). Allgemein wirken geschlossene Grünflächen fördernd für Wühlmäuse wie z. B. die Erdmaus. Dichte Grasdecken sind auch eher artenarm, da sie die Ausbreitung und das Wachstum vieler zweikeimblättriger Pflanzen verhindern (s. Abb. 46). Zur Bildung gefährlicher Grasdecken neigen z. B. auch das Wald-Reitgras (*Calamagrostis arundinacea*), Wolliges Reitgras (*C. villosa*), Pfeifengras (*Molina caerulea*), Drahtschmiele (*Deschampsia flexuosa*), Rotes Straußgras (*Agrostis capillaris*) und die Quecke (*Elymus repens*) die sehr hartnäckig (Rhizom-Ausbreitung) auf ehemaligen landwirtschaftlichen und Ruderalflächen ist (ALTENKIRCH et al. 2002). Nur durch eine rigorose Vorausbehandlung kann die Bildung von Grasdecken verhindert werden. Etablierter Grasbewuchs in den Kulturen lässt sich mechanisch kaum oder nur schwierig beseitigen. Eine starke und konsequente Bejagung des Schalenwildes trägt der Einschränkung der Florenverschiebung hin zu grasreichen Vegetationsdecken bei (BURSCHEL u. HUSS 1997).



Abbildung 46: Dichter Grasbewuchs auf einer Kulturfläche mit hohem Anteil von Reitgräsern (Foto: P. Plašil)

8.2.4.1.3 Binsen

Nach ALTENKIRCH et al. (2002) können Binsen (*Juncus spp.*) und Seggen (*Carex spp.*) forstlichen Kulturen auf stark vernässten oder wechselfeuchten Standorten schaden, wie z. B. die Seegrass-Segge (*Carex brizoides*). Andererseits fungieren sie mit ihrem dichten Wurzelsystem auch als eine nicht zu unterschätzende Wasserpumpe (ALTENKIRCH et al. 2002).

8.2.4.2 Krautvegetation

Vor allem auf Erstaufforstungsflächen bzw. auf ehemals landwirtschaftlich genutzten Flächen treten häufiger Arten auf, die als Kulturbegleiter und auf Ruderalflächen (Stickstoffzeiger) weit verbreitet sind, wie z. B. Kletten-Labkraut (*Galium aparine*), Holzzahn (*Galeopsis tetrahit*), Brennnessel (*Urtica dioica*) oder Distel (*Carduus spp.*) (ALTENKIRCH et al. 2002). Auf guten Laubholzstandorten bildet das Bingelkraut (*Mercurialis perennis*) dichte Bestände (ALTENKIRCH et al. 2002). Wenn versucht wird, diese vor einer Mast mechanisch zu beseitigen, bringt dies im Folgejahr besonders üppige Pflanzendecken hervor, mit verheerenden Folgen für eine Saat (REINECKE 1993).

8.2.4.3 Sträucher und unerwünschter Baumwuchs

Bei einer flächig deckenden Strauchvegetation von Brombeere und Himbeere und vor allem der Spätblühenden Traubenkirsche wird die Verjüngung gehemmt bzw. verdämmt (ALTENKIRCH et al. 2002). Notwendige Maßnahmen sollen frühzeitig,

möglichst vor der Bepflanzung durchgeführt werden (REINECKE 1993). Stockauschläge der o. g. Sträucher sind schwer zu beseitigen. Normalerweise ist es ausreichend, die Konkurrenz nur auf eine gewisse Zeit auszuschalten. Mischbaumarten sollten aus ökologischen Gründen so weit wie möglich beibehalten werden. Weichholzbaumarten können als Vorwald und als Ablenkäsung für Schalenwild fungieren (ALTENKIRCH et al. 2002).

Himbeere (*Rubus idaeus*) kommt auf besseren Standorten vor allem nach Auflichtung und Bodenbearbeitung vor. In Eichen- und Buchenverjüngungen sowie in Kiefer kann sie als dichte Decke hohe Ausfälle verursachen (ALTENKIRCH et al. 2002). Himbeeren hindern eine Vergrasung und bieten Ablenkungsäsung für Wild (REINECKE 1993). Gegenmaßnahmen (mit chemischen Mitteln vor Bodenbearbeitung; mechanische Beseitigung durch Mähen verstärkt eher den Austrieb) sollten höchstens auf eine zeitweilige Hemmung des Himbeerwuchses zielen (ALTENKIRCH et al. 2002).

Brombeere (*Rubus fruticosus*) bildet in der bedrohlichen Wuchsform hohe Tunnel oder aber bedeckt lediglich den Boden und verursacht damit vor allem Kulturschäden durch Zuwachsverluste bzw. durch Überlagerung (s. Abb. 47). Als Gegenmaßnahme bietet sich nur eine rechtzeitige Vorausbehandlung an (ALTENKIRCH et al. 2002).



Abbildung 47: Dichte Bodenabdeckung durch Brombeerbewuchs auf einer Kulturfläche (Foto: P. Plašil)

Die Spätblühende Traubenkirsche (*Prunus serotina*) wurde vor ca. 350 Jahren aus Nordamerika eingeführt und wird seit Beginn des 20. Jh. zur Humusverbesserung auf sandigen Waldböden, in Feuerschutzriegeln und zur Bereicherung des Waldes forstlich angebaut (ALTENKIRCH et al. 2002). Als Neophyt hat sie sich vor allem in Offenlandbiotopen sowie in lichten Eichen-, Kiefern- und Lärchenbeständen auf

sandigen Böden der norddeutschen Tieflandebene und im Rhein-Main-Gebiet stark verbreitet, da sie sich sehr rasch vermehrt und vom Wild kaum verbissen wird. Die Traubenkirsche bildet eine Konkurrenz und verdrängt unter Umständen die Verjüngung bzw. verdrängt die heimische Vegetation in der Kraut- und Strauchschicht. Nach LEX (1996) ist sie für den Feuerschutz grundsätzlich gut geeignet und kann durch Verschattung zum Schutz von Kiefernbeständen z. B. vor der Forleule beitragen (WOLTERS 1991).

8.2.4.4 *Gegenmaßnahmen im Rahmen des integrierten Pflanzenschutzes*

Im Rahmen der integrierten Verfahren wird durch gezielten Einsatz selektiv wirkender Pflanzenschutzmaßnahmen die Dominanz konkurrierender Begleitvegetation eingeschränkt. Besonders auf besser wasser- und nährstoffversorgten Standorten vor allem nach Auflichtung oder Freistellung spielt konkurrierende Begleitvegetation eine Rolle (ALTENKIRCH et al. 2002). Sie kann bei einer Bedrohung der Kulturpflanzen mechanisch, chemisch oder biologisch eingedämmt bzw. beseitigt werden. Die Art und die Notwendigkeit der Maßnahme muss jeweils bewertet werden.

8.2.4.4.1 Mechanische Maßnahmen

Die konkurrierende Begleitvegetation kann z. B. durch Niedertreten, Freischneiden, Hacken, Mähen, Fräsen, Mulchen und Pflügen beseitigt oder zurückgedrängt werden (ALTENKIRCH et al. 2002). Obwohl diese Maßnahmen relativ aufwändig sind, gewinnen in der letzten Zeit zunehmend an Bedeutung. Bei Pflanzen mit starkem Regenerationsvermögen wie z. B. Adlerfarn, Reitgras und Quecke bzw. bei einigen Holzgewächsen wie Traubenkirsche und Weichlaubhölzer sind mechanische Maßnahmen nur kurze Zeit wirksam (ALTENKIRCH et al. 2002).

Nach BURSCHEL u. HUSS (1997) sollen die Freischneidemaßnahmen von Mitte Juni bis Mitte August durchgeführt werden. Bei Schneiden zu einem früheren Zeitpunkt regeneriert die Konkurrenzvegetation und es wird noch ein zweiter Schnitt im Spätsommer nötig. Wenn die Maßnahme zu spät erfolgt, nützt es den bedrängten Kulturpflanzen nichts mehr. Bei der Terminwahl muss berücksichtigt werden, dass die Vegetationsentwicklung regional- und witterungsbedingt von Jahr zu Jahr unterschiedlich sein kann. Da die Brombeerranken erst im Winter besonders bei höherer Schneeeauflage durch Überlagerung gefährlich werden können, sollen sie erst am Ende der Vegetationszeit beschnitten werden.

Durch Mähen werden Grasflächen dichter und beim Freischneiden dichter Gras- und Krautschicht besteht ein hohes Risiko der Beschädigung von Kulturpflanzen. Zur Vermeidung solcher Schäden kann die Position der Pflanzen auf der Fläche mit Tonkinstäben markiert werden. Eine rasche Freistellung der Pflanzen kann zudem zu einem Schock und dadurch zu Wuchsdepressionen führen (ALTENKIRCH et al. 2002). In aufgelichteten Altbeständen mit dichtem Bodenbewuchs und intensiv wurzelnder Vegetation wie Reitgras oder Adlerfarn kann eine

intensive Bodenbearbeitung nach Kahlschlag eine Alternative zu chemischen Maßnahmen darstellen (ALTENKIRCH et al. 2002).

8.2.4.4.2 Einsatz von Pflanzenschutzmitteln

Bei der Umsetzung in der Jungwuchspflege soll der Einsatz von Herbiziden nur auf Fälle begrenzt werden, in denen eine Kultur unter den jeweiligen Bedingungen anders nicht gesichert werden kann, oder in denen mechanische Maßnahmen nachweislich negative Folgen für das Waldökosystem haben (ALTENKIRCH et al. 2002). Vor jedem Herbizideinsatz muss eine geeignete Diagnose und Prognose der Gefährdung erfolgen.

Aktuell zugelassene Herbizide, ihre Anwendungsbestimmungen und Auflagen sowie weitere Hinweise zur Anwendung sind abrufbar in der Online-Datenbank des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit³. Beim Einsatz von Herbiziden sind die jeweils unter Anwendungsbestimmungen definierten Anwendungstermine einzuhalten, um die Beeinträchtigungen der Kulturpflanzen bzw. an benachbarten Vegetation zu vermeiden. Da eine sich entwickelnde Pflanzendecke leichter zu bekämpfen ist als eine etablierte, langjährig gewachsene Vegetation, soll die Maßnahme rechtzeitig erfolgen (ALTENKIRCH et al. 2002).

8.2.4.4.3 Biologische Verfahren

Bei den Versuchen zur Regulierung der Begleitvegetation durch Hilfspflanzendecken (REINECKE 1988) mit Hilfe von niedrig wachsenden bzw. schwach konkurrierenden Kräutern erwiesen sich z. B. Kleemischungen, Kreuzblütengewächse und Getreidearten als praktikabel. Aus der Forstpraxis sind aktuell solche Anwendungen von Waldstaudenroggen bekannt. Dabei soll die unerwünschte Konkurrenzvegetation zurückgedrängt und die Ernährungssituation verbessert sowie die Flora und Fauna bereichert werden (ALTENKIRCH et al. 2002).

Nach BURSCHEL u. HUSS (1997) ist der Erfolg dieses Verfahrens stark abhängig von weiteren Faktoren wie Oberbodenzustand, Standortgüte und Witterungsbedingungen nach der Aussaat. Häufiger ist eine Bodenvorbereitung bzw. Düngung nötig. Dies schränkt die Anwendung solcher Verfahren in Forstkulturen auf ungeräumten Flächen stark ein, aber könnte von Bedeutung auf Erstaufforstungsflächen sein (ALTENKIRCH et al. 2002). Bei der Anwendung derartiger Hilfspflanzendecken können Schäden durch Wühlmäuse eine bedeutende Rolle spielen.

Unter natürlich oder künstlich (z. B. Schneesaat, weitständige Pflanzung) gegründeten Vorwäldern aus Pionierbaumarten wie z. B. Birke, Erle oder Weide wird die konkurrierende Bodenvegetation verhindert, sodass die unter Schirm gepflanzten Zielbaumarten bessere Start- und Wuchsbedingungen haben (BURSCHEL u. HUSS 1997). Vorwälder aus Weichholzbaumarten können auch als Ablenkäsung

³ <https://apps2.bvl.bund.de/psm/jsp/index.jsp>

für Schalenwild fungieren (ALTENKIRCH et al. 2002). Vorwälder werden auch erfolgreich zur Minderung der Gefährdung durch forstschädlichen Kurzschwanzmäuse in den gegründeten Forstkulturen genutzt.

Nach BURSCHEL u. HUSS (1997) eignet sich bei einer Kulturbegründung auf freien bzw. übershirmten Flächen die Nutzung von Großpflanzen (Heister), die wegen deren Wachstumsvorsprung vor der Konkurrenzvegetation nicht mehr überwachsen werden können. Wegen einer erhöhten Gefahr durch Mäuseschäden sollte dabei eine Frühjahrspflanzung der Herbstpflanzung vorgezogen werden.

8.3 Käfer

8.3.1 Rindenbrütende Borkenkäfer im Nadelholz

Unter dem Eindruck einer Reihe besonders warmer und trockener Jahre sowie von Wetterextremen zeichnen sich fortgesetzte Vitalitätsschwächungen in Wäldern ab. In der Folge steigen vor allem unter Nadelbäumen Ausfälle einzelner Bäume oder auch existentielle Bestandesgefährdungen durch rindenbrütende Borkenkäfer deutlich an. Neben dem nahezu allgegenwärtigen, inzwischen aber oftmals verheerenden Auftreten von Buchdrucker (*Ips typographus*) und Kupferstecher (*Pityogenes chalcographus*) an der Fichte und den eher sporadischen, lokal trotzdem heftigen Befallsereignissen durch den Lärchenborkenkäfer (*Ips cembrae*) nehmen auch in der Kiefer die Störungen durch rindenbrütende Käfer deutlich zu. An den ungewohnt zahlreichen, selbst relativ vitale Kiefern erfassenden Käferschäden sind zumeist der Zwölfzähnlige Kiefernborkekäfer (*Ips sexdentatus*), der Große und der Kleine Waldgärtner (*Tomicus piniperda* u. *T. minor*) sowie der Zwei- und der Sechszähnlige Kiefernborkekäfer (*Pityogenes bidentatus* u. *Ips acuminatus*) beteiligt. Teilweise treten mehrere Arten gemeinsam an denselben Bäumen auf, bei ihren artspezifischen Vorlieben für Grobborke oder Spiegelrinde die Angriffe über den Stamm und die Krone weit verteilend. Wenn bruttaugliches Material vorhanden ist (zum Beispiel nach Sturmwurf oder nach Trockenstress), sind die Rindenbrüter in der Lage, sich in Massen zu vermehren und bringen nadelholzreiche Bestände flächig zum Absterben.

Die prognostizierten klimatischen Veränderungen lassen die Rindenbrüter nicht nur von der deutlichen Schwächung vieler Bäume profitieren, sondern begünstigen sie auch aufgrund kürzerer Entwicklungszyklen der Käfer und einer erhöhten Chance auf eine größere Zahl vollständig entwickelter Schädlingsgenerationen je Jahr.

Die Populationsdichte von Borkenkäfern kann sich unter geeigneten Bedingungen exponentiell erhöhen und in der Folge nimmt nicht allein die Zahl der Tiere zu, sondern der Umfang der Schäden vervielfacht sich von Generation zu Generation. So hat der Buchdrucker in jedem Brutzyklus ein Vermehrungspotenzial von rund 1:25, was rechnerisch bedeutet, dass ein durch die Frühjahrsgeneration vollständig

besiedelter Baum durchschnittlich so viele Käfer entlässt, dass durch die Sommergeneration bereits rund 25 Fichten besiedelt und abgetötet werden und wenn, wie in 2018, teilweise noch eine dritte Generation im Jahr angelegt wird, können am Ende der Vegetationszeit 625 tote Bäume zustande kommen. In einem mittelalten Bestand bedeutet das, dass aus einem einzigen im Frühjahr befallenen, nicht entschärften Ausgangsbaum bis zum Winter ein ganzer Hektar Befallsfläche resultiert. Je früher gezielt und wirksam in diese Kettenreaktion eingegriffen wird, umso geringer ist der erforderliche Aufwand zur Eindämmung der Schäden (die exponentielle Entwicklung der Schaderreger ist dann noch auf einem flachen Niveau).



Abbildung 48: Absterben ganzer Kieferngruppen durch Kiefernborckenkäfer (Foto: NW-FVA)

Angeichts der zunehmenden Gefährdung durch Rindenbrüter muss gerade in den Nadelholz-Forstbetrieben eine Priorität auf die peinlich genaue Durchsetzung der sauberen Wirtschaft gelegt werden, um wirtschaftliche Schäden und Verluste an Waldleistungen noch auf ein erträgliches Maß halten zu können. Jeder Entzug von käferanfälliger Holz wie Durchforstungsreste, Windwürfe und -brüche, sichtbar angeschobene Bäume und auch Polter aus geerntetem Holz trägt spürbar dazu bei, das Vermehrungspotenzial frühzeitig einzuschränken. Hinzu kommen unter anderem den Bast zerstörende Ernteverfahren, die weitgehende Nutzung der Hölzer bis in geringe Durchmesser und die zeitgerechte Abfuhr des eingeschlagenen Holzes vor dem Ausschwärmen einer neuen Käfergeneration. Sollten sich die Beschränkung von Pflanzenschutzmitteln, die immer nur im Kalamitätsfall als letztes Mittel und

quasi als eine „Notbremse“ eingesetzt werden, noch weiter verschärfen, müssten die Entnahmen von (leicht besiedelbarem!) Brutraum oder bereits besiedeltem Holz künftig sogar noch besonders intensiviert werden.

Im Sturmjahr 2018 verblieb das zu der Zeit nahezu unverkäufliche starke Kiefernholz oftmals den gesamten Sommer über an der Waldstraße, wurde vielerorts unbemerkt vom Zwölfzähligen Kiefernborckenkäfer besiedelt und gab den Startschuss für eine Massenvermehrung mit weitreichenden Bestandesverlusten. Dabei kann bei ausbleibender Abfuhr notfalls die rechtzeitige Spritzung der im Wald verbleibenden Polter unmittelbar vor dem Ausflug der jungen Käfer die Ausbreitung zuverlässig verhindern. Sollte die Verfügbarkeit und die Einsatzmöglichkeit chemischer Pflanzenschutzmittel in Zukunft weiter abnehmen, erlangt eine wirk-same, käfergemäße Logistik eine noch größere Bedeutung.

Fangsysteme wie der Fangholzhaufen können helfen, lokale Borkenkäfer-Hotspots so weit zu reduzieren, dass die Zahl der verbleibenden Käfer nicht mehr ausreicht, um den Widerstand überlebensfähiger Bäume zu überwinden. Dazu muss die Funktionsfähigkeit der Fangsysteme regelmäßig kontrolliert werden. Noch wichtiger ist es, in diesen Bereichen auf eventuell trotzdem auftretenden frischen Befall zu achten und diesen sofort unschädlich zu machen, um die Wirksamkeit der Fangsysteme schnell wieder herzustellen.

Neben den wirtstypischen Borkenkäferarten sollte unter trockeneren und wärmeren Verhältnissen zudem damit gerechnet werden, dass „wirtsfremde“ Tiere bisher für sie ungewöhnliche Baumarten besiedeln. So vermehrt sich z. B. der Lärchenborckenkäfer erfolgreich auch in Douglasien, während Stroben auch durch den Kleinen Buchdrucker (*Ips amitinus*) attackiert werden. Grundsätzlich zu erwarten ist, dass bei Anbau von bisher in Sachsen-Anhalt seltenen Baumarten, z. B. der Weißtanne, auch die wirtsspezifischen Borkenkäfer dieser Bäume hier ihren Lebensraum finden werden. Daneben wird eine zunehmende „Virulenz“ von bisher unauffälligen Arten wie dem Birkensplintkäfer (*Scolytus ratzeburgii*) oder verschiedenen Borkenkäfern an Esche und den Eichenarten beobachtet. Welche weiteren Arten sich unter den wandelnden Bedingungen etablieren können, lässt sich kaum vorhersagen.

8.3.2 Prachtkäfer in Eiche und Kiefer

Solange Prachtkäfer in unauffälligen Dichten auftreten, befallen sie vor allem Bäume, die durch Insektenfraß oder durch Pilzbefall vorgeschädigt oder anders geschwächt sind. Allerdings zählen die zu den besonders wärmeliebenden Käfern gehörenden „Sonnentiere“ – wie ESCHERICH (1921) sie bezeichnete – mit großer Sicherheit zu den Profiteuren weiter steigender Temperaturen und verlängerter Vegetationsperioden. Künftig werden sowohl eine raschere Insektenentwicklung als auch ein vermehrtes Auftreten aufgewärmter oder trockengestresster Baumbestände die Prachtkäfer begünstigen.



Abbildung 49: Bohrmehlauswurf des Eichenkernkäfers als Index für Befall durch Eichenprachtkäfer (Foto: NW-FVA)

In Kiefern- oder Eichenbeständen mit Vorschäden (nach Raupen- oder Blattwespenfraß oder Trockenstress) stellt eine daraus folgende Gefährdung durch Prachtkäfer oft eine besondere Herausforderung an die Überwachung und den Schutz der Bestände dar. Es besteht die Gefahr, dass sich in leicht besiedelbarem, stehendem wie liegendem/geerntetem Holz ein Befall unbemerkt zur Massenvermehrung ausweitet, da frühe Besiedlungsstadien auf Grund der unscheinbaren Jugendentwicklung der Prachtkäfer oft unentdeckt bleiben. Eine saubere Wirtschaftsweise, die diesen Tieren von vornherein möglichen Brutraum entzieht, hilft oft erfolgreich

gegen diese Käfer. Hinweise auf den Befall können allgemeine Kennzeichen nachlassender Vitalität bieten. Uneindeutige „Verdachtsbäume“ sollen weiter beobachtet werden. Wird Befall festgestellt, sind die betroffenen Bäume auf jeden Fall vor Ausschwärmen einzuschlagen und mit den Käfern aus dem Wald zu entfernen. Dabei sind Hiebsmaßnahmen in geschädigten Beständen sehr umsichtig umzusetzen, um die Bestände nicht durch „unnötige“ Auflichtungen noch stärker für Prachtkäfer zu disponieren. Die Abfuhr besiedelter Hölzer vor dem Mai entzieht bei der auf das späte Frühjahr bis zum Sommerbeginn begrenzten Flugzeit der Prachtkäfer sehr viel Gefahrenpotenzial in Form von Larven, Puppen und schlupfbereiten Jungkäfern noch rechtzeitig aus dem Wald.

Nach den Lehrbüchern und den Jahrzehnte langen Erfahrungen der Praktiker fand Befall durch den Blauen Kiefernprachtkäfer (*Phaenops cyanea*) ganz überwiegend an freigestellten und besonnten Südrändern der Bestände statt. Dadurch ließ sich dieser in der Regel relativ gezielt überwachen und z. B. durch den rechtzeitigen Einschlag und eine baldige Abfuhr des Holzes sicher bekämpfen. Die Hitzejahre 2018 bis 2020 zeigten das weitere Potenzial dieser Art: Der Befall zog sich nicht vorhersehbar einzel- bis gruppenweise tief in die Bestände hinein und hatte nicht ausschließlich (durch Wurzelpilze oder Diplodia) sichtbar geschwächte Bäume zum Opfer. Die notwendige Überwachung dieser Art wird aufgrund der weiträumigen Verteilung potentieller Befallsbäume in Zukunft wesentlich mehr Personal und Arbeitskapazität binden.

Die Prachtkäfer an Eichen (*Agrilus biguttatus* u. a.) zeigen in den durch Kahlfraß, Dürre, Grundwasserabsenkung oder auch durch längere Überflutungen geschwächten Wäldern lokal ein Schadpotenzial wie der Buchdrucker in Fichtenwäldern. Ein Befall ist in belaubtem Zustand oftmals sehr schwer zu erkennen und zeigt sich zumeist erst im Herbst und Winter in einer „Rötung der Borke“ durch Spechte im Kronenbereich oder an den oberen Stammteilen. Während in der Vergangenheit Schäden durch Eichenprachtkäfer eher in einschichtigen, in sich sehr lichten und dadurch warmen Beständen zu verzeichnen waren, trat in den vergangenen bereits deutlich zu warmen Jahren Befall durch diese Tiere auch in an sich kühlen, geschlossenen und durch dienende Holzarten mehrstufig aufgebauten Beständen auf, sodass auch bei Förderung der Bestandesdiversität, die in mehrerlei Hinsicht positiv zu beurteilen ist, hier mit einem steigenden Risiko gerechnet werden muss.

Zur Absenkung des Befallsdruckes notwendige Sanitärhiebe von Befallsbäumen gestalten sich häufig aus Gründen der vorhandenen Arbeitskapazität, der im Winter für die Holzbringung zu nassen Böden, der teils sehr begrenzten Hiebszeiten in Schutzgebieten und verschiedener naturschutzrechtlicher Auflagen schwierig. Dazu kommen oftmals hohe Anforderungen an die Ausstattung der Bestände mit Habitatbäumen und frischem Totholz, was die konsequente Beseitigung dieser Gefahrenquelle grundsätzlich gefährdet.

8.3.3 Rüsselkäfer an älterer Kiefer und Tanne

Neben den Borkenkäfern und den Prachtkäfern haben auch einige Rüsselkäfer (z. B. *Pissodes pini*, *P. piniphilus* und *P. notatus*) die Fähigkeit, zum primären Schädling an Kiefern- und Tannenarten zu werden. Vor allem der Kiefernstangenrüssler (*Pissodes piniphilus*) zeigt eine starke Neigung Befall von vorgeschädigten auf gesunde Waldbereiche auszuweiten. *Pissodes*-Arten hatten in der Vergangenheit bereits fühlbare Schäden in Altbeständen, Stangenhölzern und Kulturen/Jungwüchsen vor allem einschichtiger Kiefernbestände ohne nennenswerte Anteile von Begleitbaumarten verursacht. Auch für diese Arten gilt, dass sie durch mehr Wärme und geringere Niederschläge begünstigt werden und eine lokale Massenvermehrung nur durch entsprechende Hiebsmaßnahmen und die Entfernung der befallenen Bäume aus dem Wald begrenzt werden kann. Eine gewisse Risikovorsorge gegen die verbreitet an der Kiefer, seltener auch an anderen Nadelbaumarten auftretenden Kiefern-Rüssler schaffen bei standörtlichen Voraussetzungen Anteile von Begleitbaumarten, zuverlässig aber erst auf laubwaldwürdigen Standorten ein entsprechender Bestockungswechsel.

Für verschiedene Tannenarten, speziell jedoch für die Weißtanne, sind seit 2018 mehrere lokal begrenzte, jedoch teilweise schmerzliche Schadereignisse dokumentiert. Dabei waren vor allem inselartige Vorkommen der Tannen betroffen, in denen sich der „eiserne Bestand“ unbemerkt zu einer bestandesgefährdenden Population aufbauen konnte. Für die Forstbetriebe bedeutet dies, dass zur Vermeidung größerer Schäden auch diese Arten regelmäßig überwacht werden müssen.

8.3.4 Bockkäfer

Als primär schädigende Arten dieser Familie sind vor allem die Fichtenböcke (*Tetropium fuscum* u. *T. castaneum*) und der Lärchenbock bekannt (*Tetropium gabrieli*). Schäden durch diese Arten traten zuletzt vor allem angesichts der Waldverluste durch Borkenkäfer in den Hintergrund, die Populationen dieser Tiere haben sich jedoch durch das riesige Brutraumangebot (Resthölzer, Stubben) und die Wärme der letzten Jahre auf einem hohen, risikvollen Niveau eingependelt. Dabei haben einige bisher sekundär auftretende Arten grundsätzlich das Potenzial das Absterben durch z. B. Hitze, Dürre, Blatt- bzw. Nadelfraß geschwächter Bäume aktiv zu beschleunigen. Denkbar wäre das Auftreten „primärer“ Bockkäferschäden vor allem an Kiefer und Eiche. Neben dem Tod der befallenen Bäume verursachen diese Käfer auch einen technischen Schaden an den befallenen Hölzern durch den Hakengang, den die Larve vor der Verpuppung ins Splintholz nagt.

8.3.5 Holzbrüter

Unsere Wälder werden ganz sicher auch in Zukunft eine bedeutende Rolle als Lieferant für den nachhaltigen, weil nachwachsenden Rohstoff Holz haben. Im Holzimportland Deutschland fängt der globale Schutz von Primärwäldern bereits an unseren Waldstraßen an: Je größer der Anteil bei der Selbstversorgung mit hochwertigen Holzprodukten ist, desto eher lassen sich durch geringere Importe die Nutzungen aus entfernten, oftmals weit weniger nachhaltig wirtschaftenden Gegenden der Welt verringern.

Unter dem Begriff „Holzbrüter“ sollen hier alle Arten zusammengefasst werden, die das traditionelle Hauptprodukt der Forstwirtschaft, nämlich das Holz, durch Bohrgänge in seinen technischen und ästhetischen Eigenschaften entwerten bzw. verschlechtern. Es geht also um den Produktschutz, bei dem das Hauptaugenmerk auf das geerntete Holz an der Waldstraße gerichtet sein muss. Daneben dürfte auch eine moralische Verpflichtung bestehen, einen Baum, der über Jahrzehnte oder gar Jahrhunderte von Generationen gehegt und gepflegt wurde, um zu dem wertvollen Holz zu werden, das nun vor uns liegt, nicht durch Unachtsamkeit in kurzer Zeit teilweise oder vollständig durch Insekten entwerten zu lassen.

Bisher sind in Deutschland keine heimischen Arten bekannt, die den Holzkörper gesunder, stehender Bäume besiedeln, wohl aber solche, die an stehendem Holz geschädigte, in Zersetzung übergehende, Bereiche der Rinde als Eintrittspforte nutzen. Solche Eintrittspforten entstehen früher oder später (abhängig von Holzart, Temperatur und mechanischen Verletzungen) auf der gesamten Oberfläche der geernteten und zur Abfuhr bereitgestellten Stämme und führen oftmals zu vollständiger Besiedlung des Holzes.

Für das Nadelholz ist der bedeutendste Holzbrüter der Gestreifte Nutzholzborkenkäfer (*Xyloterus lineatus*), der im Frühling ab etwa 12 °C Lufttemperatur regelmäßig Holz aus dem Wintereinschlag besiedelt. Der entstehende Schaden betrifft technisch durch seine Bohrgänge „nur“ die äußeren 3 bis 5 cm (mehr oder weniger Splintholzbereich), der optische Schaden durch die eingeschleppten Bläuepilze reicht jedoch oftmals wesentlich tiefer in den Holzkörper. Später im Jahr können in lokal sehr unterschiedlicher Ausprägung auch der Amerikanische Nadelnutzholzborkenkäfer (*Gnathotrichus materiarius*) und der Schwarze Nutzholzborkenkäfer (*Xyleborus germanus*) Holzpolter und Einzelstämme besiedeln und ähnliche oder auch durchaus gravierendere Schäden anrichten. Für befallenes Holz müssen daher hochwertige Verwendungen, etwa als sichtbar verbautes Holz in Gebäuden oder als Möbelholz, ausgeschlossen werden. Auch scheuen sich viele Bauherren einen durchaus voll tragfähigen Balken mit Insektenfraßgängen verbauen zu lassen. Für die Betriebe resultiert daraus eine merkliche Minderung der Einnahmen beim Holzverkauf, für die Volkswirtschaft der Zwang, Hölzer für die genannten hochwertigen Anwendungen aus anderen Quellen zu verwenden.

Im Laubholz richten andere Arten durchaus vergleichbare Schäden an, die oftmals nur deshalb weniger in Erscheinung treten, weil viele hochwertige Laubholz-Sortimente zur Flugzeit der Insekten schon abgefahren und verarbeitet sind. Auf Wertholzplätzen, insbesondere auf solchen für die traditionell lange im Wald lagernde Eiche, treten dagegen regelmäßig Schäden durch den Sägehörnigen Werftkäfer (*Hylecoetus dermestoides*) auf. Dieser kann durch sehr tiefe Bohrgänge und hohe Siedlungsdichten zur vollständigen Entwertung der Hölzer führen. Die bis zu 4 mm weiten Löcher im Holz schließen die Verwendung zu Möbelholz oder Parkett aus. Dazu kommt aktuell noch die Gefahr durch den Eichenkernkäfer (*Platypus cylindrus*), einer Art, die bisher nur – in teils über 50-jährigem Abstand – periodisch in Erscheinung trat und ab Flugbeginn im Juli so tiefe Gänge bohrt, dass das Eichenholz ebenso komplett entwertet wird. Eine technisch durchaus mögliche Verwendung von Eichenholz mit Fraßgängen dieser Arten als Bauholz scheidet – neben zurückhaltenden Bauherren – aktuell vor allem an den bestehenden Vorschriften (*DIN 4074-5 (2008-12)*).

Eine saubere Wirtschaft gegen Holzbrütende Insekten ist technisch nur schwer möglich und aus Naturschutzgründen auch nicht wünschenswert. Diese Arten spielen im Wald eine wichtige Rolle im Stoffkreislauf, weil sie durch ihre Gänge die Zersetzung von Tot- bzw. Resthölzern und Stubben beschleunigen und nebenbei vielen anderen Arten als Nahrung dienen. Die schnelle Holzabfuhr allein mit anschließender Lagerung auf dem Holzplatz des Verarbeiters birgt das Risiko, dass ein Befall dort durch oftmals schon etablierte Populationen erfolgt. Einzig die rechtzeitige Abfuhr gefährdeter Hölzer in Kombination mit der zügigen Verarbeitung bietet ohne weitere Maßnahmen Sicherheit vor Schäden. Wegen der begrenzten Kapazität der meisten Verarbeiter – die Betriebe sind zumeist auf die ganzjährige Holzverarbeitung ausgelegt – kann auf diese Weise jedoch nur ein Teil der Holzmenge vor Schäden bewahrt werden.

Die Möglichkeit zur Nasslagerung (Beregnungsplatz) oder zu einer Lagerung im Wasser bietet den einzigen zuverlässigen Schutz für längere Zeiträume – will oder kann man nicht auf Pflanzenschutzmittel zurückgreifen. Insektizide können, rechtzeitig und korrekt ausgebracht, zumindest gegen die bis zum Anfang des Sommers fliegenden Arten einen sicheren Schutz bieten.

Für Fälle, in denen sich Holzbrüter bereits mehr als nur wenige Millimeter in Stämme eingebohrt haben, kann der eingetretene Schaden nicht mehr behoben, der Schadensfortschritt höchstens gebremst (Nass-/Wasserlagerung) und bestenfalls blockiert werden (Folienlagerung unter Sauerstoffabschluss).

Die zukünftig zu erwartenden höheren Temperaturen werden voraussichtlich auch den Holzbrütenden Insekten verbesserte Lebensbedingungen bieten, wodurch sich die gezeigten Probleme verstärken dürften. Für die Forstwirtschaft, aber auch für die Holz verarbeitenden Betriebe ergibt sich daraus der Zwang zur Entwicklung eines veränderten Umgangs mit dem Rohstoff Holz.

8.4 Schmetterlinge

8.4.1 Nadelfressende Schaderreger an Kiefer

Zukünftig ist in den kieferdominierten Bestandeszieltypen (wie BZT 10, 11, 14, 16), v. a. im Tiefland von Sachsen-Anhalt weiterhin mit regelmäßigem Auftreten der Kieferngrößschädlinge wie zum Beispiel dem Kiefernspinner (*Dendrolimus pini*) und der Kiefernbuschhornblattwespen (*Diprion spec.*) sowie der Nonne (*Lymantria monacha*) zu rechnen. Besonders gleichaltrige Bestände ohne oder mit nur geringen Anteilen beigemischter oder begleitender Baumarten werden als besonders gefährdet angesehen. Das Gefährdungsprofil der Kiefer, besonders im Altersklassenwald, kann des Weiteren anhand des Alters bzw. Altersklassen konkretisiert werden (vgl. OTTO 1994). Für das Auftreten der nadelfressenden Schaderreger wie Blattwespe, Forleule und Nonne wird eine erhöhte Gefährdung ab der III. Altersklasse angenommen. Der Kiefernspinner tritt in der Regel erst in älteren Beständen ab Altersklasse IV/V auf.

Massenvermehrungen der Kieferngrößschädlinge und der Nonne wechseln sich mit Latenzphasen ab und folgen i. d. R. einem bestimmten Ablauf sowie einer gewissen Synchronität, sodass das Auftreten und die Dauer potentiell vorhersehbar ist (vgl. ALTENKIRCH et al. 2002). Durch Klimawandeleffekte kann sich dieser Rhythmus allerdings verändern, sodass unter Umständen Massenvermehrungen in geringeren Abständen, größerer Intensität oder von längerer Dauer auftreten können. Ausgang von Gradationen der Kieferngrößschädlinge ist offenbar stets eine extreme Witterungssituation, z. B. die Abfolge mehrerer warm-trockener Sommer hintereinander. Das Auftreten dieser fördernden extremen Witterungsereignisse wird aller Wahrscheinlichkeit nach zukünftig häufiger auftreten. Um die Populationsentwicklung der Kieferngrößschädlinge bestmöglich bestimmen zu können, empfiehlt es sich, die bereits etablierten Verfahren der stufigen Überwachung anzuwenden (s. Tab. 26).

Tabelle 26: Gestaffelte Überwachungsmaßnahmen für eine Untersuchung der Populationsentwicklung bzw. -dichte der Kieferngroßschädlinge

Schaderreger	Reguläre Überwachungsmaßnahmen	Weiterführende Überwachungsmaßnahmen
Kiefernspinner	Winterliche Bodensuche (Raupen, im Winter)	Nachsuche (Raupen, im Winter) Leimringmonitoring (aufbaumende Raupen nach dem Winter)
	Pheromonfallen (Falterflug: Juli bis August)	Fraßbonitur (nach Fraßereignissen), ggf. Probefällung
Forleule	Winterliche Bodensuche (Puppen, im Winter)	Nachsuche (Puppen, im Winter) Eisuche (nach Eiablage im Frühjahr)
	Pheromonfallen (Falterflug: März bis Mai)	Fraßbonitur (nach Fraßereignissen), ggf. Probefällung
Gemeine Kiefernbuschhornblattwespe	Winterliche Bodensuche (Kokons, im Winter)	Nachsuche (Kokons, im Winter) Eisuche (nach Eiablage im Frühjahr bzw. im Sommer) Fraßbonitur (nach Fraßereignissen), ggf. Probefällung
	Pheromonfallen (Falterflug: Juli bis August)	Falterzählung an Zählstammgruppen bzw. Puppenhülsen- und Eisuche (nach Überschreitung der Warnschwelle bei Pheromonfallenüberwachung) Raupenschlupfermittlung mit Schlupfpyramiden bzw. Leimringe (nach Überschreitung der Warnschwelle bei Pheromonfallenüberwachung, im Frühjahr) Fraßbonitur (nach Fraßereignissen)

Einsatz von Pflanzenschutzmitteln. Bei der Gefahr eines flächigen Bestandesverlustes durch den Kahlfraß der nadelfressenden Raupen der Kieferngrößschädlinge und der Nonne wird die aviochemische Behandlung mit Pflanzenschutzmittel als *ultima ratio* angesehen. Die Liste derjenigen Pflanzenschutzmittel, die für die Anwendung mit Luftfahrzeugen zugelassen sind, ihre Anwendungsbestimmungen und Auflagen sind auf der Homepage des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit abrufbar⁴.

8.4.1.1 Kiefernspinner

Der Kiefernspinner (*Dendrolimus pinii*) gilt als einer der Erreger aus der Gruppe der Kieferngrößschädlinge mit dem größten Schadpotenzial. Durch den Nadelfraß sind die Raupen in der Lage, Zuwachs-, Vitalitätsverluste und ggf. größere Absterberaten in Kiefernbeständen zu verursachen (s. Abb. 50). Der Kiefernspinner gilt als Gewinner des Klimawandels, sodass zukünftig mit vermehrten Gradationen in Kiefernbeständen zu rechnen ist. Schon OTTO (1994) beschreibt die ökologischen Ansprüche des Kiefernspinners als extrem wärme- und trockenheitsliebend. Bevorzugt besiedelt werden Gebiete mit 500 bis 600 mm Jahresniederschlag bzw. einem Niederschlag von 300 mm in der Vegetationszeit. Aufgelichtete und austrocknende Baum- und Althölzer bei wenig oder fehlender Bodenvegetation werden bevorzugt befallen.



Abbildung 50: Durch Nadelfraß geschädigte Bestände (links) nach Massenvermehrung des Kiefernspinners (Raupen, rechts) (Fotos: NW-FVA)

SKRZECZ et al. (2020) berichten, dass der Kiefernspinner gesunde Bestände im Alter von 40 bis 80 Jahren, bei einer Präferenz der Altersspanne 60 bis 80 Jahre, befallen kann, insgesamt können Bestände im Alter von 20 bis 100 Jahren befallen werden.

⁴ https://www.bvl.bund.de/DE/Arbeitsbereiche/04_Pflanzenschutzmittel/01_Aufgaben/02_ZulassungPSM/01_ZugelPSM/psm_ZugelPSM_node.html

Die Raupen des Kiefernspinners fressen nicht nur an Kiefer, sondern auch an anderen Baumarten der Gattung *Pinus*, *Picea*, *Larix*, *Abies*, *Tsuga* und *Pseudotsuga*. Massenvermehrungen des Kiefernspinners in Mitteleuropa dauerten im 20. Jahrhundert im Mittel 2 bis 11 Jahre an, bei einer Synchronität von 4 bis 16 Jahren (SKRZECZ et al. 2020). Ab den 2000er-Jahren wird allerdings beobachtet, dass die Massenvermehrungen in geringeren zeitlichen Abständen wiederkehren und nur noch im Mittel 2 bis 5 Jahre andauern (SIERPINSKA 1998, GRÄBER et al. 2012, SUKOVATA 2013, HAYNES et al. 2014, HENTSCHEL et al. 2018). Die Steigerung der Frequenz der wiederkehrenden Massenvermehrungen wird mit dem Klimawandel in Zusammenhang gebracht (SKRZECZ et al. 2020).

Als weitere Maßnahmen, die das Befallsrisiko minimieren, geben SKRZECZ et al. (2020) folgende Empfehlungen ab: zusammengefasst sollen alle forstlichen Maßnahmen, die die Resilienz der Bäume erhöhen, angewendet und gefördert werden. Dies entspricht zum einen dem Umbau der Reinbestände zu Mischbeständen – soweit die Möglichkeit besteht. Als weitere Maßnahmen kann die Förderung der natürlichen Feinde, wie Insekten, Vögel, Amphibien, Fledermäuse, bzw. deren Habitate angesehen werden. Zum Beispiel können in gefährdeten oder bereits befallenen Beständen 0,1 bis 1 ha große Flächen (eine Fläche für 25 ha) angelegt werden, in denen vogel- sowie insektenfördernde Futterpflanzen und Versteckmöglichkeiten für Parasitoide und Prädatoren angeboten werden (vgl. KOEHLER 1968, BURZYNSKI 1969). Zusätzlich können auch Vogel- und Fledermausnistkästen, die Etablierung von Ameisenkolonien sowie die Anlage von Wassertümpeln in den Beständen hilfreich sein (BURZYNSKI 1969). KORCZYNSKI (2001) und TARWACKI (2012) berichten, dass die Installation dieser Hilfen nach annähernd 20 Jahren erste Erfolge hinsichtlich der Reduktion forstschädlicher Insekten gezeigt haben.

8.4.1.2 Forleule

Die Forleule (*Panolis flammea*) gilt nach OTTO (1994) als wärmeliebend. Ihr natürliches Gradationsgebiet befindet sich in Polen und Ostdeutschland. Massenvermehrungen wurden hauptsächlich auf Standorten beobachtet mit 500 bis 700 mm Jahresniederschlag in subkontinentalen bis kontinentalen Gebieten. Bevorzugt besiedelt werden nicht zu dichte 30 (40) bis 60 (80)-jährige Kiefern(rein-)bestände der mittleren Ertragsklassen, oft mit eingeschränkter Vitalität oder geringerer sozialer Stellung (PFEIL 1841) bei geringer Bodenvegetation (OTTO 1994, ALTENKIRCH et al. 2002). Gradationen der Forleule sind meistens kurz und erstrecken sich auf ein oder zwei Fraßjahre nach einem eher kurzen Dichteanstieg (ALTENKIRCH et al. 2002). Ihr Kahlfraß vor Knospenbildung wirkt meist bestandesbedrohend. Die Kiefer gilt i. d. R. als sehr regenerationsfähig, solange die Knospen nicht geschädigt werden (KADAMBI 1932).

In der Flugzeit (März bis Mai) reagiert die Forleule sehr empfindlich auf nass-kalte aber auch auf warme bzw. heiße (vgl. MAJUNKE et al. 2000). Die Lebensdauer der Falter wird bei hohen Temperaturen deutlich verkürzt. Die Forleule überwintert

als Puppe im Waldboden, sodass sich auch hier sehr feuchte (Verpilzung) wie sehr trockene Perioden (Austrocknung) negativ auf die Population auswirken können.

Weitere Maßnahmen, die das Befallsrisiko minimieren, betreffen neben der allgemeinen Förderung der Resilienz und Vitalität der Bestände das Einbringen von Misch- und Begleitbaumarten. Soweit möglich sollte an zuträglichen Standorten die Bodenvegetation gefördert werden. Dichte Bodenvegetation verschlechtert durch ihre kühl-feuchte Abschattung die Lebensbedingung der Überwinterungsstadien der Forleule (vgl. OTTO 1994). Des Weiteren trägt eine vielfältige Bodenvegetation zum Lebensraum von Parasitoiden und Prädatoren bei.

8.4.1.3 *Gemeine Kiefernbuschhornblattwespe*

Die gesellig fressenden Afterraupen der gemeinen Kiefernbuschhornblattwespe (*Diprion pini*) leben in Kolonien zusammen, ihr Massenaufreten im Bestand wird meist erst im Spätsommer bei Ausbildung einer zweiten Generation bemerkt (s. Abb. 51). Der Frühjahrsfraß bleibt in den meisten Fällen in den Beständen unentdeckt. Insgesamt ist die Populationsentwicklung sehr komplex und unübersichtlich, sodass eine Prognose hinsichtlich des Auftretens einer Massenvermehrung erschwert wird.



Abbildung 51: Kronenverlichtung in einem Kiefernbestand (links) durch Nadelfraß der Afterraupen der gemeinen Kiefernbuschhornblattwespe (rechts) (Fotos: NW-FVA)

Die gemeine Kiefernbuschhornblattwespe befällt neben der Waldkiefer auch Schwarzkiefer und Strobe. Ihr bevorzugtes Auftreten findet in Stangenhölzern, an Bestandesrändern sowie in lückigen Beständen und exponierten Lagen statt (ALTENKIRCH et al. 2002). Auch zukünftig ist in Sachsen-Anhalt v. a. im Tiefland in den kieferdominierten Beständen mit dem (Massen-)Auftreten der Kiefernbuschhornblattwespen zu rechnen. Bei Massenvermehrungen sind auch eher ungeeignet

erscheinende Flächen wie geschlossene Bestände und Dickungen gefährdet (vgl. ALTENKIRCH et al. 2002).

Die Gradationen der Blattwespe sind kurz andauernd und oft eruptiv, sodass der auffällige starke Fraß im Herbst oft überraschend erscheint. Die Massenvermehrungen brechen oft nach einem Fraßjahr ohne Gegenmaßnahmen zusammen, sodass die Kiefer sich wieder regenerieren kann. Zur Erholung der Kiefer ist eine milde, feuchte Witterung nach erfolgtem Fraß notwendig. Fehlt diese und tritt zeitgleich eine zusätzliche Belastung des Baumes durch Sekundärschädlinge bzw. Pilze auf, ist ein Absterben der Bäume möglich. Aufgrund dessen ist trotz der oft kurzen Fraßzeit, bei der die Knospen der Kiefer verschont werden, eine einzelfallbezogene Bewertung des Fraßgeschehens nötig. Warme, milde Frühjahre sind der Raupenentwicklung der Blattwespe zuträglich. Langtagbedingungen im Juli/August begünstigen des Weiteren das Auftreten einer zweiten Generation.

Als präventive Maßnahmen können neben der generellen Anlage von Mischbeständen auch die Förderung einer artenreichen Bodenvegetation zur Förderung der Parasitoide und Prädatoren gelten.

Neben der gemeinen Kiefernbuschhornblattwespe (*Diprion pini*) kommen an Kiefer eine Reihe weiterer Blattwespen wie *Gilpinia frutetorum*, *Gilpinia pallida*, *Diprion similis* und *Neodiprion sertifer* vor, die sich i. d. R. forstlich indifferent verhalten.

8.4.1.4 Nonne

Neben dem Kiefernspinner ist die Nonne (*Lymantria monacha*) ein gefürchteter Schaderreger an Kiefer. Nach OTTO (1994) ist die Nonne im Vergleich zur Forleule, Blattwespen und Kiefernspinner als einziger Schaderreger in der auch in feuchten und schattigen Kiefernbeständen eine Gradation aufzubauen. Vor allem die warm-trockenen Sommerbedingungen begünstigen die Progradation von Nonnenpopulationen (WELLENSTEIN 1942, 1978).

Typische Nonnen-Gradationsgebiete befinden sich im Flachland bei Jahresniederschlägen von 400 bis 700 mm (ALTENKIRCH et al. 2002). Optimale Bedingungen für eine Gradation bieten dicht bestockte Kiefernstangen- und Baumhölzer im Alter von 30 bis 60 Jahren bei mittlerer bis geringer Bonität (KRUEL 1951).

Die Nonne ist ein Polyphag, d. h. außer an Kiefer ist sie auch in der Lage an anderen Baumarten (Laub- und Nadelholz) wie Douglasie, Fichte, Lärche und an Rotbuche Fraßschäden zu verursachen. Kahlfraß an Fichte führt i. d. R. zum Absterben. Von Kalamitäten betroffen sind in erster Linie Nadelholzrein- und Mischbestände, Bestandesränder werden üblicherweise nicht befallen. Bei Massenvermehrungen in der Kiefer werden die Mainadeln weitgehend verschont (HABERMANN 1995, 1996), sodass ein großflächiges Absterben der Bestände nach einem einjährigen Kahlfraß nicht zwingend zu erwarten ist.

Gradationen enden oft abrupt, neben dem Rückgang der Fertilität, der Wirkung von Räufern und Parasitoiden sowie ggf. aufgrund von Nahrungsmangel tritt bei

Massenvermehrungen oft eine Virus-Erkrankung (Schlaffsucht) auf, die die Raupen massenhaft absterben lässt.

Als präventive Maßnahmen sind neben der Förderung der Bodenvegetation hauptsächlich die frühzeitige Durchforstung dichter Kiefernreinbestände zu nennen, sodass die Vitalität des Einzelbaumes erhöht wird und zudem auch die von der Nonne geschätzte Windruhe im Bestand unterbrochen wird (ALTENKIRCH et al. 2002). Die Förderung von Bestandesrändern bzw. kleinparzelliert strukturierten Beständen sind von Nachteil für eine Gradation der Nonne.

8.4.2 Laubfressende Schaderreger an Eiche

Zukünftig ist in Sachsen-Anhalt in den eichendominierten Bestandeszieltypen (wie BZT 40, 41, 42, 43, 44, 47) weiterhin mit dem regelmäßigen Auftreten von Mitgliedern der Eichenfraßgesellschaft, wie dem Kleinen Frostspanner (*Operophtera brumata*), dem Großen Frostspanner (*Erannis defoliaria*), dem Eichenwickler (*Tortrix viridana*), dem Eichenprozessionsspinner (*Thaumetopoea processionea*) sowie dem Schwammspinner (*Lymantria dispar*) zu rechnen. In der Vergangenheit wurden hauptsächlich in älteren Eichenbeständen örtlich, meistens in bestimmten Zeitabständen wiederkehrende hohe Blattverluste durch auch mehrjährigen Blattfraß der Raupen der Eichenfraßgesellschaft beobachtet. Eine Besonderheit der Eiche ist, dass sie diese Blattverluste im Regelfall gut durch Ausbildung von Johannis- und Regenerationstrieben kompensieren kann. Insgesamt leben an und von der Eiche zahlreiche Insekten und bilden ein eigenes Ökosystem aus. HEYDEMANN (1981) beschreibt beispielsweise 298 Artenzahlen phytophager Insekten, die auf Eichen spezialisiert sind. Bei der Buche werden im Vergleich nur 96 Arten angegeben (HEYDEMANN 1981).

Allerdings verursacht wiederkehrender Blattfraß durch die Eichenfraßgesellschaft als primärer Schadfaktor in Kombination mit weiteren schadensauslösenden Faktoren das bekannte Eichensterben (*oak decline*), das in Mitteleuropa in Zyklen auch schon in der Vergangenheit beobachtet wurde. Die Regeneration des Ersatzlaub erfolgt bei der Eiche über ihre Reservestoffe (ALTENKIRCH et al. 2002). Werden diese aufgrund von anhaltenden und/oder wiederkehrenden biotischen (Blattfraß, Mehltau) sowie abiotischen Stressfaktoren (Trockenheit, starke Frostperioden und Überschwemmungen) oder weiteren Belastungen durch sekundäre Schaderreger (z. B. Eichenprachtkäfer) verbraucht, kann ein Absterben akut auftreten oder über mehrere Jahre chronisch verlaufen (BLOCK et al. 1995, HARTMANN 1996, THOMAS et al. 1996, BLANK 1997). Das Absterben erfolgt in den meisten Fällen aufgrund einer schwachen bzw. nicht mehr gewährleisteten Wasserversorgung durch die alljährlich neu auszubildenden Frühholzgefäße. Für eine Frühholzneubildung ist die Eiche ebenfalls auf Reservestoffe des Vorjahres angewiesen (BLANK 1997).

Es ist denkbar, dass die Schaderreger durch die Effekte des Klimawandels verstärkt bzw. in intensiverer Form und kürzeren Abständen auftreten können. Dies würde die benötigten Erholungszeiten der Eiche drastisch verkürzen und neben dem prognostizierten Trockenstressrisiko ihre Vitalität zusätzlich vermindern. Um die Populationsentwicklung der Mitglieder der Eichenfraßgesellschaft bestmöglich bestimmen zu können, empfiehlt es sich, die bereits etablierten Verfahren der stufigen Überwachung anzuwenden (s. Tab. 27).

Tabelle 27: *Gestaffelte Überwachungsmaßnahmen für eine Untersuchung der Populationsentwicklung bzw. -dichte der Eichenfraßgesellschaft*

Schaderreger	Reguläre Überwachungsmaßnahmen	Weiterführende Überwachungsmaßnahmen
Kleiner und Großer Frostspanner	Fraßbonitur vor Ausbildung des Johannistriebes Leimringmonitoring als Dauerüberwachung (aufbaumende Weibchen im Herbst)	Leimringmonitoring nach Kahlfraßereignissen (aufbaumende Weibchen im Herbst)
Eichenwickler	Fraßbonitur vor Ausbildung des Johannistriebs	Probezweiguntersuchung (Winter)
Eichenprozessionsspinner	Fraßbonitur vor Ausbildung des Johannistriebes	Nesterzählung (Sommer) Eigelegezählung Probezweige (Winter)
Schwammspanner	Fraßbonitur vor Ausbildung des Johannistriebes Pheromonfallen (Falterflug: Juli bis August)	Eispiegelzählung (Winter)

Einsatz von Pflanzenschutzmitteln: Bei einer existenziellen Bestandesgefährdung durch wiederholten Kahlfraß der Eichenbestände wird die aviochemische Behandlung mit Pflanzenschutzmitteln als *ultima ratio* angesehen. Die Liste derjenigen Pflanzenschutzmittel, die für die Anwendung mit Luftfahrzeugen zugelassen sind, ihre Anwendungsbestimmungen und Auflagen sind auf der Homepage des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit abrufbar⁵.

⁵ https://www.bvl.bund.de/DE/Arbeitsbereiche/04_Pflanzenschutzmittel/01_Aufgaben/02_ZulassungPSM/01_ZugelPSM/psm_ZugelPSM_node.html

8.4.2.1 Kleiner und Großer Frostspanner

Die beiden Frostspannerarten (Kleiner Frostspanner (*Operophtera brumata*) und Großer Frostspanner (*Erannis defoliaria*)) gehören zu der Eichenfraßgesellschaft und neigen zu Massenvermehrungen mit einhergehendem Kahlfraß der Eichen. Die Eichenfraßgesellschaft ist unter normalen Umständen eine gut an die Eiche angepasste, artenreiche Blattfresser-Gesellschaft der natürlichen Eichenhabitats (vgl. ALTENKIRCH et al. 2002). Regional und lokal durchlaufen die Frostspannerarten immer wieder zahlreiche Gradationen, die Fraßschäden sind i. d. R. nur von kurzer Dauer und auf ein Zeitfenster von wenigen Wochen nach dem Austrieb der Eichen begrenzt. Die Frostspanner gehören nicht zu den reinen Eichenspezialisten, sie sind polyphag (Laubholz). Oft ist zu beobachten, dass sie auch im Unterstand aus Hainbuchen Fraßschäden verursachen. Rotbuche ist in den meisten Fällen nicht betroffen (ALTENKIRCH et al. 2002). In Norddeutschland sind wiederkehrende zyklische Fluktuationen alle 8 bis 10 Jahre mit zwei- bis dreijährigen Schadphasen bekannt (ALTENKIRCH 1991).

Als präventive waldbauliche Maßnahme ist die Förderung der Bestandes- und Einzelbaumvitalität von Bedeutung. Des Weiteren ist auf eine Förderung der Kraut- und Strauchschicht sowie von Nebenbaumarten zu achten, sodass Prädatoren und Parasitoide günstige Lebensbedingungen vorfinden.

8.4.2.2 Grüner Eichenwickler

Der Grüne Eichenwickler (*Tortrix viridana*) ist ebenfalls in der Lage, in Eichenbeständen Massenvermehrungen aufzubauen und Kahlfraß an den Eichen zu verursachen. In manchen Regionen Deutschlands zählt er mit lang anhaltenden Gradationen als Dauerschädling. Er ist als reiner Eichenspezialist allerdings auf Koinzidenz zum Eichenaustrieb angewiesen. Durch wechselnde Koinzidenzverhältnisse unterliegt seine Populationsdichte unvermittelt starken Schwankungen (SCHÜTTE 1957, SCHWERDTFEGER 1961, ALTENKIRCH et al. 2002). Fraßschäden an Roteiche durch Eichenwickler wurden bisher nicht beobachtet (GÖHRE u. WAGENKNECHT 1955, SCHWENKE 1978, WEHRMAKER 1990, GLAUCHE 1991). Sind Frostspanner und Eichenwickler zusammen am Fraßgeschehen beteiligt, findet der Fraß des Eichenwicklers immer in der Oberkrone und der Fraß der Frostspannerarten dagegen im unteren Kronenbereich statt (ALTENKIRCH et al. 2002).

Zu den forstlich präventiven Maßnahmen, die Massenvermehrungen des Eichenwicklers erschweren können, ist wiederum die Erhöhung der Resilienz der Bestände sowie der Einzelbäume zu zählen. Darüber hinaus sollte die Begleitflora im Bestand gefördert und geschützt werden, um das Ansiedeln der natürlichen Gegenspieler zu ermöglichen. Des Weiteren sollte in bekannten Eichenwickler-Schadgebieten darauf geachtet werden, dass bei einer Neuanpflanzung spätreibende Eichenherkünfte bzw. Provenienzen mit in die Planung einbezogen werden.

8.4.2.3 *Eichenprozessionsspinner*

Der Eichenprozessionsspinner (*Thaumetopoea processionea*) ist ein Gewinner des Klimawandels, der seit den 1990er-Jahren vor allem in warm-trockenen Regionen Sachsen-Anhalts. Seine Fraßzeit dauert im Vergleich zum Eichenwickler und den Frostspannerarten länger. Unter Umständen frisst der Eichenprozessionsspinner noch nach Ausbildung des Ersatzlaubes (Johannistrieb), was eine bedeutende weitere Schwächung der Eichen verursacht. Von großer Bedeutung sind gesundheitliche Probleme, die er durch seine Brennhaare mit dem Nesselgift *Thaumetopoein* ab dem dritten Larvenstadium verursacht.

Der Eichenprozessionsspinner ist ein reiner Eichenspezialist (HEYDECK u. MAJUNKE 2002). Er besiedelt bevorzugt solitärstehende Bäume, Alleen, Waldränder und stark aufgelichtete Waldbestände. Die Raupen des Eichenprozessionsspinners schlüpfen in der ersten Aprilhälfte, vor dem Eichenaustrieb. Im Gegensatz zu dem Eichenwickler können die Raupen des Eichenprozessionsspinners über mehrere Wochen ohne Nahrung überstehen, und sind nicht an die Koinzidenz mit dem Eichenlaubaustrieb angewiesen.

Als präventive Maßnahme sollte neben der Förderung der Einzelbaum- und Bestandesresilienz sowie der Förderung der natürlichen Antagonisten erfolgen. Eine Auflichtung von Eichenbeständen im Vorkommensgebiet des Eichenprozessionsspinners sollte möglichst unterbleiben.

8.4.2.4 *Schwammspinner*

Der Schwammspinner (*Lymantria dispar*) ist eine wärmeliebende Art mit traditionellen Schadgebieten in Süd- und v. a. Südosteuropa. Er kann nach mehreren überdurchschnittlich warmen Vegetationsperioden auch in Massenvermehrung auftreten (vgl. Anfang 90er-Jahre; vgl. ALTENKIRCH et al. 2002). Der Schwammspinner ist wie die Nonne und der Frostspanner ebenso polyphag und auch in der Lage, neben weiteren Laubbaumarten auch an Nadelbaumarten, wie z. B. Douglasie und Lärche zu fressen. Einmaliger Kahlfraß an Nadelholzarten führt meistens zum Absterben der Bäume.

Massenvermehrungen können aber aufgrund einer Kombination schlechter Witterung bzw. dem Auftreten von Krankheiten (v. a. Kernpolyederviren) oder Antagonisten sehr schnell wieder zusammenbrechen. NÄSSIG u. ZUB (1994) stellten in den 90er-Jahren nach der Untersuchung von Gradationen des Schwammsspinners in Hessen fest, dass eine Massenvermehrung durch natürliche Faktoren zusammenbrechen kann und eine Bekämpfung im Regelfall nicht notwendig ist.

Massenvermehrungen finden i. d. R. in aufgelichteten, warmen, oft südexpozierten Eichenbeständen statt (s. Abb. 52). Besonders gefährlich ist die lange Fraßzeit der Raupen des Schwammsspinners, die sich bis zur Ausbildung des Johannistriebes hinziehen kann. Wenn dies eintritt, verliert die Eiche ihr frisch gebildetes Ersatzlaub und wird weiter geschwächt.



Abbildung 52: Kahlfräse in einem Eichenbestand (links) verursacht durch Raupen des Schwammspinners (rechts) (Fotos: Steffen Marx, Stadtwald Halle)

Um Massenvermehrungen des Schwammspinners nicht weiter zu fördern, sollten Eichenbestände nicht unnötig aufgelichtet werden. Des Weiteren empfiehlt es sich, die allgemeine Resilienz der Bestände sowie der Einzelbäume zu erhöhen und die Antagonisten des Schwammspinners, die auch aktuell schon in zahlreicher Zahl vorhanden sind, weiter durch eine artenreiche Kraut- und Strauchschicht zu fördern.

8.5 Pilze und Komplexkrankheiten

Infolge der klimawandelbedingten besonderen Witterungsverhältnisse sind verstärkt Vitalitätseinbußen bei vielen unserer Waldbaumarten und ein flächenhaftes Auftreten von komplexen oder pilzlichen Erkrankungen in Sachsen-Anhalt zu erwarten (z. B. das Diplodia-Triebsterben der Kiefer). Es werden neuartige pilzliche Schaderreger (z. B. Diplodia-Arten) in Erscheinung treten, über deren Verbreitung und Risikopotenzial in Deutschland und Sachsen-Anhalt keine ausreichende Kenntnis besteht. Vier ausgewählte Erkrankungen, die in Sachsen-Anhalt zu schwerwiegenden Schäden führen bzw. führen können, werden im Folgenden kurz vorgestellt. In Tabelle 28 wird basierend auf den bisherigen Erkenntnissen eine Risikoeinstufung pilzlicher Schaderreger und komplexer Erkrankungen bezüglich der wichtigsten Baumarten in Sachsen-Anhalt vorgestellt.

Tabelle 28: *Einstufung pilzlicher Schaderreger und komplexer Erkrankungen hinsichtlich ihres Risikopotenzials bezüglich der wichtigsten Baumarten in Sachsen-Anhalt. Die Risikoeinstufung ist nicht nur auf den einzelnen betroffenen Baum bezogen, sondern stellt auch das Risiko für eine Baumart bzw. den betroffenen Bestand dar. Gelb: am betroffenen Baum entstehen Schäden, aber es besteht geringes Risiko, dass der Baum bzw. der Bestand nur durch diesen Schaderreger allein abstirbt oder Schaderreger ist meist flächig vorhanden und führt über einen längeren Zeitraum zu Schäden (Wurzelfäule, Holzentwertung), bei denen der Baum abstirbt. Orange: wenn der Erreger am Einzelbaum auftritt führt es in der Regel zu schweren Schäden, die auch zum Absterben oder Holzentwertung führen. Rot: wenn der Erreger / die Erkrankung auftritt führt es in der Regel zu schweren Schäden, die auch zum Absterben oder Holzentwertung ganzer Bestände bzw. Jungpflanzen führen können. PQS = Potenzieller Quarantäneschaderreger; QS = Quarantäneschaderreger; IS = Invasive Spezies.*

Schaderreger / Komplexe Erkrankung	KI	ELÄ	JLÄ	FI	DGL	WTA	KTA	SEI	TEI	REI	BU	BAH
<i>Einheimische bzw. in Deutschland etablierte Schaderreger / vorkommende komplexe Erkrankungen</i>												
<i>Allantophomopsiella pseudotsugae</i> (syn. <i>Phacidium coniferarum</i> , <i>Phomopsis pseudotsugae</i>) (Rindenschildkrankheit der Douglasie)					■							
<i>Amylostereum chailletii</i> (Tannen-Schichtpilz)					■	■						
<i>Apiognomonia quercina/ errabunda</i> (Eichenanthraknose)								■	■		■	
<i>Armillaria spp.</i> (Hallimasch)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Bjerkandera adusta</i> (Angebrannter Rauchporling)											■	
<i>Botryosphaeria / Diplodia corticola</i>								■	■	■		
<i>Botryosphaeria dothidea</i>											■	
<i>Botryosphaeria stevensii / Diplodia mutila s.l.</i>								■	■	■		
<i>Botrytis cinerea</i> (Graufäule)	■		■	■	■	■						
Buchen-Rindennekrose											■	
Buchen-Vitalitätsschwäche												■
<i>Calocera viscosa</i> (Klebriger Hörnling, Stamm- und Wurzelfäule)					■							
<i>Cenangium ferruginosum</i> (Triebsschwinden)				■	■							
<i>Cronartium flaccidum</i> o. <i>Endocronartium pini</i> (Kienzopf oder Kiefernridenblasenrost)	■											
<i>Cryptostroma corticale</i> (Rußrindenerkrankung) (IS)												■
<i>Daedalea quercin</i> (Eichenwirrling)								■	■			
<i>Dendropolyporus umbellatus</i> (Eichhase)								■	■			
<i>Erysiphe alphitoides</i> (Eichenmehltau)								■	■			

(Fortsetzung Tabelle 28)

Schaderreger / Komplexe Erkrankung	KI	ELÄ	JLÄ	FI	DGL	WTA	KTA	SEI	TEI	REI	BU	BAH
<i>Fistulina hepatica</i> (Leberreischling)								■	■		■	
<i>Fomes fomentarius</i> (Zunderschwamm)											■	
<i>Fomitopsis pinicola</i> (Rotrandiger Baumschwamm)					■	■					■	
<i>Ganoderma applanatum</i> (Flacher Lackporling)						■					■	
<i>Grifola frondosa</i> (Klapperschwamm)								■	■			
<i>Gymnopus</i> = <i>Collybia fusipes</i> (Spindeliger Rübling)								■	■	■		
<i>Heterobasidion abietinum</i> (Tannen-Wurzelschwamm)						■	■					
<i>Heterobasidion annosum s.str.</i> (Kiefern-Wurzelschwamm)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■
<i>Heterobasidion parviporum</i> (Fichten-Wurzelschwamm)				■								
<i>Ilyonectria</i> / <i>Cylindrocarpon</i> spp.								■	■			
<i>Inonotus dryadeus</i> (Tropfender Schillerporling)								■	■			
Komplexe Eichenerkrankungen (Beteiligung von Eichenfraßgesellschaft und Pilzen)								■	■			
<i>Kretschmaria deusta</i> (Brandkrustenpilz)								■	■		■	■
<i>Lachnellula willkommii</i> (Lärchenkrebs)			■									
<i>Laetiporus sulphureus</i> (Schwefelporling)								■	■			
<i>Lirula nerviseqnia</i> (Tannennadelritzenschorf)						■						
<i>Lophodermella sulcifera</i> (Kiefern-Nadelschütte)	■											
<i>Lophodermium seditiosum</i> (Kiefern-Nadelschütte)	■											
<i>Melampsorella caryophyllacearum</i> (Tannenkrebs)						■						
<i>Meripilus giganteus</i> (Riesenporling)								■	■		■	
<i>Mycosphaerella laricina</i> (Lärchenschütte)			■									
<i>Nectria cinnabarina s.l.</i> (Rotpustelkrankheit)											■	■
<i>Neonectria coccinea</i> (u. a. Buchen-Vitalitätsschwäche)											■	■
<i>Neonectria ditissima</i> (Buchen-, Eschenkrebs)											■	
<i>Neonectria neomacropora</i> (Tannen-Rinden-Nekrose)						■	■					
<i>Nothophaeocryptopus gaeumannii</i> (Rußige Douglasienschütte)					■							
<i>Petrakia echinata</i> (Petrakia-Blattbräune)												■
<i>Pezizula cinnamomea</i> (Rindennekrosen)												■
<i>Phacidium infestans</i> = <i>Gremmenia infestans</i> (Weißer Schneeschimmel)				■								
<i>Phaeolus schweinitzii</i> (Kiefernbraunporling)	■				■							

(Fortsetzung Tabelle 28)

Schaderreger / Komplexe Erkrankung	KI	ELÄ	JLÄ	FI	DGL	WTA	KTA	SEI	TEI	REI	BU	BAH
<i>Phaeolus schweinitzii</i> (Kiefern-Braunporling, Stammfäule)					■							
<i>Phellinus robustus</i> (Eichenfeuerschwamm)								■	■			
<i>Pholiota squarrosa</i> (Sparriger Schüppling)											■	■
<i>Phytophthora cambivora</i>											■	
<i>Phytophthora plurivora</i> (IS)											■	■
<i>Phytophthora quercina</i>								■	■			
<i>Phytophthora</i> spp.					■			■	■	■	■	■
<i>Phytophthora</i> -Befall u. Folgeerscheinungen											■	
<i>Pleurotus ostreatus</i> (Austernseitling)											■	
<i>Polyporus squamosus</i> (Schuppiger Porling)												■
<i>Pucciniastrum epilobii</i> (Tannennadelrost oder Weißtannen-Säulenrost)						■						
<i>Rhabdocline pseudotsugae</i> (Rostige Douglasienschütte)					■							
<i>Rhizinia undulata</i> (Wurzelloch)	■											
<i>Rhizoctonia butinii</i> (Rhizoctonia-Nadelbräune)						■						
<i>Rhizoctonia solani</i> (Umfallkrankheit von Sämlingen)			■									
<i>Rhizosphaera</i> spp. z. B. <i>Rhizosphaera pini</i> (<i>Rhizosphaera</i> -Nadelschütte/-bräune)						■						
<i>Rosellinia mycophila</i> (<i>Rosellinia</i> -Nadelschütte, Nadel- u. Zweigschimmel)						■						
<i>Schizophyllum commune</i> (Gemeiner Spaltblättling)												■
<i>Sclerophoma xenomeria</i> (<i>Sclerophoma xenomeria</i> -Nadelbräune)						■						
<i>Sirococcus conigenus</i> (Triebsterben)				■	■							
<i>Sparassis brevipes</i> (Breitblättrige Glucke)						■						
<i>Sparassis crispa</i> (Krause Glucke, Stockfäule)	■				■							
<i>Sphaeropsis sapinea</i> (Diplodia-Triebsterben)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Stereum sanguinolentum</i> (Blutender Nadelholz-Schichtpilz)	■		■	■	■	■						
<i>Sydowia polyspora</i> (<i>Kabatina</i> -Nadelbräune)						■						
<i>Trametes</i> spp.								■	■		■	
<i>Verticillium dahliae</i> , <i>V. alboatrum</i> (<i>Verticillium</i> -Welke)												■

(Fortsetzung Tabelle 28)

Schaderreger / Komplexe Erkrankung	KI	ELÄ	JLÄ	FI	DGL	WTA	KTA	SEI	TEI	REI	BU	BAH
<i>Meldepflichtige PQS oder QS, teilweise noch nicht in der EU oder Deutschland aufgetreten</i>												
Akute Eichen-Komplexerkrankung (PQS, <i>Acute oak decline</i> , Mitverursacher <i>Brenneria goodwinii</i>)								■	■	■		
<i>Atropellis piniphila</i> (QS, <i>twig blight of pine</i> , <i>Atropellis canker</i>)	■											
<i>Bretziella fagacearum</i> (QS Eichenwelke)								■	■	■		
<i>Chrysomyxa arctostaphyli</i> (QS, Fichtenbesenrost o. Gelber Hexenbesenrost)				■								
<i>Coniferiporia sulphurascens</i> (QS, <i>laminated butt rot of conifers</i>)					■	■						
<i>Davidsoniella virescens</i> (QS, <i>sapstreak disease of sugar maple</i>)												■
<i>Fusarium circinatum</i> (Pechkrebs QS, (EU) 2019/2072; Anhang II B)	■				■							
<i>Gaiguardia loricata</i> (QS, <i>shoot blight disease</i>)		■	■	■	■	■						
Kiefernholznematode (QS)	■											
<i>Mycodiella laricis-leptolepidis</i> (QS, <i>needle cast of Japanese larch</i>)			■									
<i>Mycosphaerella dearnessii</i> (= <i>Lecanosticta acicula</i>) (RNQP, <i>Brown spot needle disease</i>)	■											
<i>Mycosphaerella pini</i> u. <i>D. septosporum</i> (RNQP <i>Dothistroma</i> -Nadelbräune der Kiefer)	■	■		■	■							
<i>Phytophthora kernoviae</i> (QS)								■			■	
<i>Phytophthora ramorum</i> (QS) (non-EU isolates, Plötzlicher Eichtend - SOD)			■		■			■	■	■		■
<i>Pseudocercospora pini-densiflorae</i> (QS, <i>Cercospora blight of pines</i> or <i>Cercospora needle blight</i>)	■											

8.5.1 Buchen-Vitalitätsschwäche

Infolge von Hitze und Dürre ist damit zu rechnen, dass in Sachsen-Anhalt Schäden an Rotbuche auftreten, die sich dem Schadbild der so genannten Buchen-Vitalitätsschwäche zuordnen lassen. Dabei können pilzliche Rindennekrosen bzw. -branderreger, wie *Neonectria coccinea*, *Botryosphaeria dothidea*, *Botryosphaeria corticola* oder Holzfäulepilze wie z. B. Spaltblättling (*Schizophyllum commune*), Zunderschwamm (*Fomes fomentarius*) oder Hallimasch (*Armillaria spp.*) beteiligt sein.

8.5.2 *Diplodia*-Triebsterben

Ein großes Risikopotenzial für Waldkiefern, andere Kieferarten und seltener Koniferen stellt das *Diplodia*-Triebsterben, ausgelöst durch *Sphaeropsis sapinea* (Synonym: *Diplodia sapinea*) dar. Dieser wärmeliebende Schlauchpilz ist bundesweit endophytisch in allen Kiefernbeständen sehr verbreitet. Schaden löst er erst aus, wenn der Pilz bei vorgeschädigten oder geschwächten Wirtspflanzen in seine parasitische Phase übergeht und das *Diplodia*-Triebsterben verursacht. Dem Auftreten des *Diplodia*-Triebsterbens geht in der Regel eine Schwächung der Kiefer voraus. Auslösende Faktoren können nach derzeitiger Einschätzung sein: Wasserdefizite durch Trockenheit, Hitze und starke Besonnung oder Verletzungen der Triebe durch Hagelschlag. Prädisponierende Faktoren können unter anderem ein Befall mit Misteln, der ebenfalls Trockenstress hervorruft oder verstärkt sowie ein Befall mit Wurzelschwamm (*Heterobasidion annosum* sl.) sein. Ferner wird angenommen, dass anhaltende Wärmephasen im Winter im Wechsel mit Kälteperioden zu einer physiologischen Schwächung der Kiefer beitragen. Vermutlich führt eine Kombination mehrerer schwächender Faktoren eher zu Krankheitsfällen als ein einzelner der genannten Faktoren. Douglasien im Voranbau unter Kiefernaltbeständen sind besonders für einen Befall mit dem *Diplodia*-Triebsterben prädestiniert.

Nach der Julius Kühn-Institut „Alert List“ spielen folgende pilzliche oder pilzähnliche Organismen in Sachsen-Anhalt aktuell eine Rolle als potenzielle Quarantäneschadorganismen (PQS): *Sirococcus tsugae* (Wirtspflanzen: *Cedrus atlantica*, *C. deodara*, *Tsuga heterophylla*, *T. canadensis*, *T. mertensiana*). Mögliche Risikofaktoren für Sachsen-Anhalts Wälder zeigen sich zudem durch folgende Quarantäneschadorganismen (QS): *Fusarium circinatum* (*Pinus* spp., *Pseudotsuga menziesii*), *Apiosporina morbosus* (*Prunus* spp.), *Atropellis piniphila* (*Pinus* spp.), *Bretziella fagacearum* (*Quercus* sp.), *Chrysomyxa arctostaphyli* (*Picea* spp.), *Davidsoniella virescens* (*Acer* spp.), *Guignardia laricina* (*Larix* spp., *Pseudotsuga menziesii*, *Picea abies*), *Coniferiporia sulphurascens* (*Abies grandis*, *P. menziesii*), *Melampsora medusae* f. sp. *tremuloidis* (*Populus* spp.), *Mycodiella laricis-leptolepidis* (*Larix kaempferi*), *Pseudocercospora pini-densiflorae* (*Pinus* spp.), *Sphaerulina musiva* (*Populus* spp.) sowie die *Thousand-Canker*-Krankheit (*Geosmithia morbida*) (*Juglans* spp.).

8.5.3 *Eschentriebsterben*

Das Eschentriebsterben ist in den noch erhalten eschenhaltigen Beständen Sachsen-Anhalts weitverbreitet. Diese Erkrankung wird durch den invasiven, aggressiven Schlauchpilz *Hymenoscyphus fraxineus* hervorgerufen. Die Erkrankung hat schwerwiegende Folgen für die aktuellen heimischen, meist hochanfalligen Eschenpopulationen und führt meist im Zusammenhang mit Stammfußnekrosen und Folgeschadenerregern zum Absterben von Eschen und der Auflösung von gesamten Bestandteilen. Auf längere Sicht stellt das wahrscheinliche Einwandern des Asiatischen Eschenprachtkäfers (*Agrilus planipennis*) einen Risikofaktor für den Eschenanbau dar.

8.5.4 Befall mit *Phytophthora*-Arten

Der Befall mit *Phytophthora*-Arten in Wäldern Sachsen-Anhalts wurde der NW-FVA seit ihrer Gründung, abgesehen von Erlen-*Phytophthora*, bisher noch nicht gemeldet. Da ein Befall mit *Phytophthora*-Arten meist durch feuchte Böden und humide Umweltbedingungen gefördert wird, ist die Wahrscheinlichkeit eines Neubefalls ohne menschlichen Einfluss in grundwasserfernen bzw. nicht von Flussablagerungen beeinflussten Standorten als weniger hoch zu betrachten.

9 Fortschreibung der Klimafolgenforschung

Hans Hamkens, Johannes Suttmöller

9.1 ReKliEs-De-Kernensemble

Im Rahmen des ReKliEs-De-Projektvorhabens (*Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland*) wurden erstmalig für Deutschland und die großen nach Deutschland entwässernden Flüsse belastbare Klimaprojektionen mit einer hohen regionalen räumlichen Auflösung bereitgestellt. Die Datenbasis ergänzt die Ergebnisse des europäischen Klimaforschungsprojektes EURO-CORDEX. Damit stehen umfassende Ensembles regionaler Klimaprojektionen der aktuellen RCP-Klimaszenarien (*Representative Concentration Pathway*) des IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) zur Verfügung (HÜBENER et al. 2017), die als Entscheidungsgrundlage für die Klimafolgenforschung und mögliche Anpassungsmaßnahmen genutzt werden können.

Die Daten wurden für verschiedene Klimavariablen nach einen einheitlichen Format ausgewertet und aufbereitet. Aus dem Gesamtensemble mit 26 verschiedenen Modellkombinationen für das RCP8.5-Klimaszenario (*Weiter-wie-bisher-Szenario*) wurde für Anwender von Wirkmodellen im Rahmen des Bund-Länder-Fachgespräches ein sogenanntes Kernensemble ausgewählt, das nach vorgegeben Qualitätskriterien die Bandbreite des Gesamtensembles repräsentiert (DALELANE et al. 2018). Das Kernensemble umfasst 7 Klimaläufe des RCP8.5-Klimaszenarios und besteht aus 5 Simulationen mit dynamischen Regionalmodellen und 2 Simulationen mit einem statistischen Regionalmodell.

Für die Jahresmitteltemperatur zeigen alle Modellergebnisse einen einheitlichen Trend zu einer deutlichen Temperaturerhöhung zum Ende des Jahrhunderts im Flächenmittel von Deutschland (s. Abb. 53). Im Vergleich zum Mittelwert der Periode 1971 bis 2000 wird die Jahresmitteltemperatur in der Periode 2071 bis 2100 um 2.8 K bis 4.7 K ansteigen. Die stärkste Erwärmung wird in den 2 Simulationen mit dem statistischen Modell WETTREG2013 berechnet. Weiterhin wird erwartet, dass beim RCP8.5-Szenario die Intensität und Andauer von Witterungsextremen wie Starkregen, Hitze- und Trockenperiode sowie Dürren deutlich zunehmen wird.

Bei den Niederschlägen zeigen die Modellergebnisse bei den Jahressummen keinen einheitlichen Trend (s. Abb. 53). Während einige Modelle im dreißigjährigen Mittel bis zum Ende des Jahrhunderts eine leichte Zunahme von bis zu 10 % erwarten lassen, berechnet ein Teil der Modelle langfristig im Flächenmittel von Deutschland eine leichte Abnahme von bis zu 10 % der Jahresniederschlagssumme im Vergleich zur Periode 1971 bis 2000. Zwischen den Jahreszeiten kommt es nach den Modellergebnissen jedoch zu deutlichen Verschiebungen. Nach den meisten

Simulationen muss in den Wintermonaten mit einer signifikanten Erhöhung der Niederschläge gerechnet werden. Im Sommer wird es dagegen trockener und infolge der höheren Temperaturen steigt auch der Verdunstungsanspruch der Atmosphäre erheblich an. Erste Auswertungen zur Klimatischen Wasserbilanz in der Vegetationszeit (KWB_{VZ}) zeigen für Sachsen-Anhalt eine Abnahme bis zum Ende des Jahrhunderts um bis zu 250 mm. Die KWB_{VZ} wird im dreißigjährigen Flächenmittel von Sachsen-Anhalt von derzeit rund -200 mm auf rund -450 mm im pessimistischsten Klimalauf abnehmen.

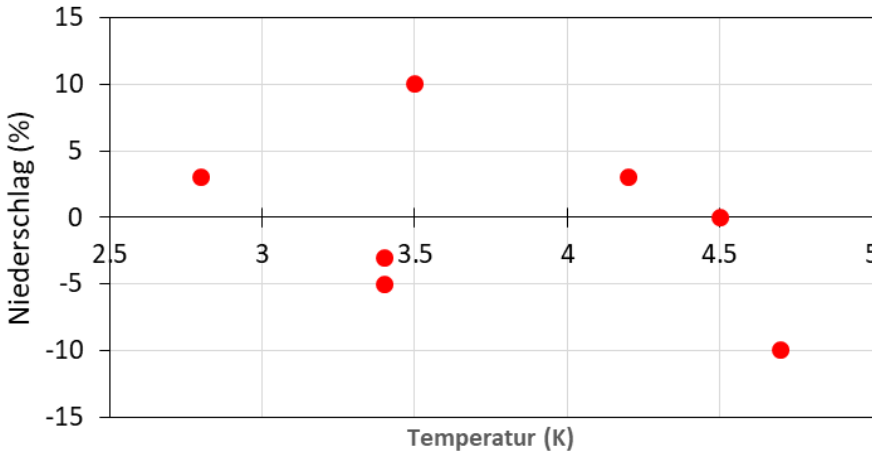


Abbildung 53: Änderungssignale Temperatur und Niederschlag für das ReKliEs-De-Kernensemble für Deutschland; 2071 bis 2100 versus 1971 bis 2000 (Jahreswerte)

9.2 Anpassung des waldbaulichen Entscheidungsalgorithmus

Die neueren Entwicklungen der Klimafolgenforschung in Deutschland (s. Kap. 9.1) machen eine Anpassung des waldbaulichen Entscheidungsalgorithmus *baklava* (s. Kap. 4.3) notwendig. Da die bisherige klimaangepasste Baumartenempfehlung einzig auf dem regionalisierten STARS II-Modell mit dem Globalmodell ECHAM6 beruht, wurde der Fokus der Weiterentwicklung des Algorithmus auf die Einbindung von Ensembles regionaler Klimaprojektionen gelegt. Explizit ist hier das ReKliEs-De-Kernensemble des vorhergehenden Abschnitts gemeint, welches sieben Klimamodelle beinhaltet. Die Herausforderung bestand dabei auf den Verzicht der Bildung von Mittelwert oder Median und einer daraus abgeleiteten Baumartenempfehlung, da die Eintrittswahrscheinlichkeit der einzelnen Klimamodelle als gleich anzusehen ist. Die Nutzung von Lageparametern würde diese Aussage verwischen.

In der Weiterentwicklung von *baklava* wird daher für jede Klimaprojektion des Ensembles eine eigene Baumartenempfehlung berechnet. Durch Bildung von absoluten Häufigkeiten (H_7) für die jeweiligen Mischbestandstypen kann somit über die

gesamte Bandbreite des Ensembles die Empfehlung mit Robustheitsgraden angegeben werden. Vereinfacht gesagt bedeutet dies, dass je höher der Robustheitsgrad ist, desto mehr Klimamodelle empfehlen einen bestimmten Mischbestandstyp.

Für eine übersichtliche und nachvollziehbare Darstellung der Robustheitsgrade wurden diese in vier Gruppen unterteilt (s. Tab. 29). Die Schwellenwerte der jeweiligen Gruppen wurden auf Basis der Zusammensetzung des ReKliEs-De-Kernensembles getätigt, um die darin enthaltenen Modellfamilien (statistisch oder dynamisch) angemessen berücksichtigen zu können. Wie bereits in Kapitel 9.2 beschrieben, besteht das Kernensemble aus sieben Klimäläufen mit zwei statistischen und fünf dynamischen Regionalmodellen, wobei die statistischen Regionalmodelle grundsätzlich zu einer pessimistischeren Einschätzung des Klimas kommen. Eine *sehr klimarobuste* Baumartenempfehlung mit einer absoluten Häufigkeit ≥ 6 beinhaltet somit immer mindestens ein statistisches Modell, während dies bei der *klimarobusten* und *bedingt klimarobusten* Empfehlung nicht zwingend der Fall ist. Bei einer absoluten Häufigkeit von ≤ 2 wird die Robustheit als zu gering angesehen, um sie in eine Empfehlung aufnehmen zu können.

Tabelle 29: Schwellenwerte der Robustheitsgrade zur Diskretisierung von absoluten Häufigkeiten

Robustheitsgrad	Schwellenwerte von H_7
sehr klimarobust	≥ 6
klimarobust	$= 5$
bedingt klimarobust	$\geq 3 \ \& \ \leq 4$
ausgeschlossen	≤ 2

Es muss darüber hinaus beachtet werden, dass die Mischbestandstypen in den meisten Fällen durch Alternativen in der Zusammensetzung geprägt sind. Ein BZT 32 kann beispielsweise entweder mit der Buche oder mit den Alternativen Roteiche, Winterlinde und Hainbuche empfohlen werden. Jede dieser Baumarten hat jedoch eine eigene Einordnung des Trockenstressrisikos. Das hat zur Folge das eindeutige Baumartenkombinationen innerhalb der Mischbestandstypen unterschiedliche Robustheitsgrade aufweisen können. Für den Wissenstransfer ist daher eine Anpassung der verschiedenen Anwendungen (s. Kap. 6) notwendig.

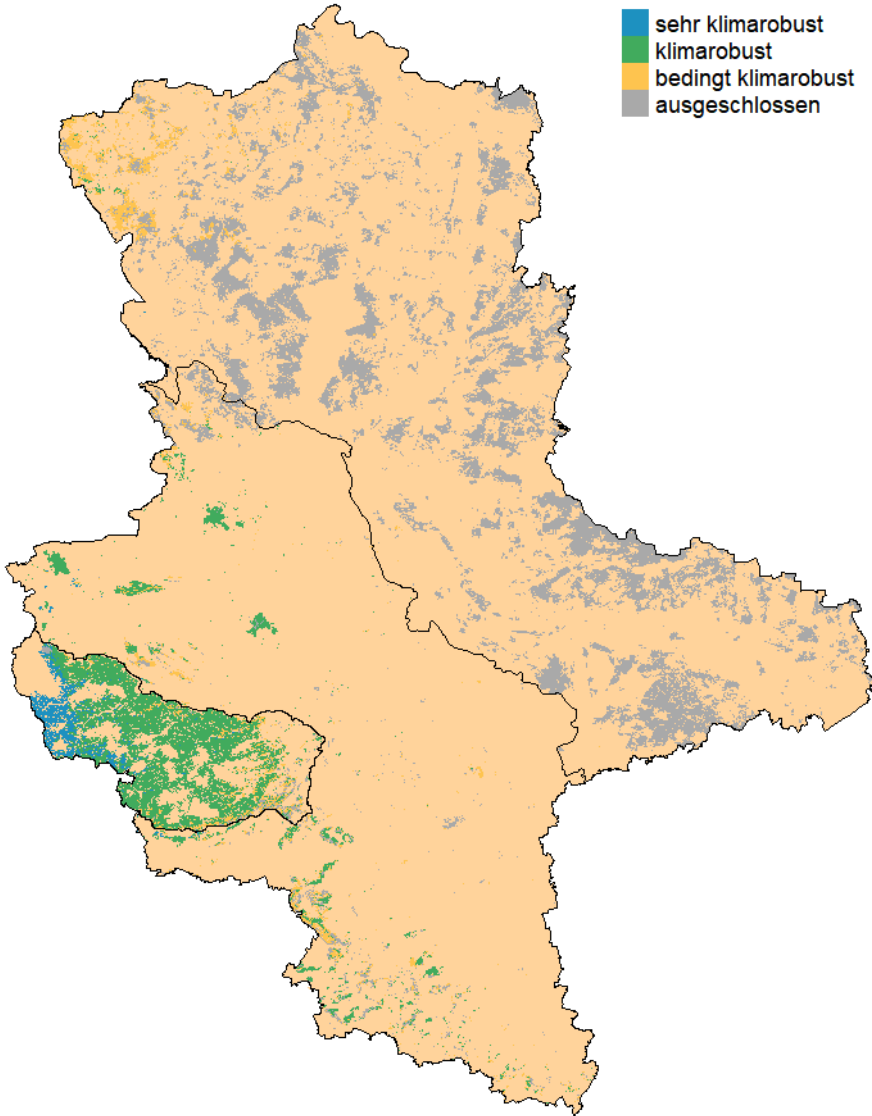


Abbildung 54: Karte der Robustheitsgrade des ReKliEs-De-Kernensembles für den BZT 50 (Buche) in Sachsen-Anhalt

Einen beispielhaften Überblick der Anwendung von *baklava* mit der Berücksichtigung von Klimaensembles wird in Abbildung 54 für den BZT 50 (Buche) dargestellt. Da die anderen Buchen-BZT den gleichen Planungsbereich in Abhängigkeit von Trophie und Standortwasserbilanz haben, kann daraus die Robustheit von Standorten mit führender Buche abgelesen werden. Nicht daraus ablesbar sind Standorte

mit der Buchenempfehlung als Misch- oder Begleitbaumart. Grundsätzlich lässt sich im Vergleich zur Empfehlung gemäß dem Klimamodell ECHAM6/STARS II (s. Abb. 27) ein größeres Flächenpotenzial für führende Buche ablesen. Bezogen auf die Robustheit zeigt sich aber auch hier ein deutlicher Abwärtstrend von den höheren Lagen bis ins Tiefland ab. Im Bereich des bisherigen feuchten Tieflandes im Nordwesten des Landes hat die Empfehlung von Buchen-BZT nur noch eine bedingte Robustheit vorzuweisen. Dementsprechend hoch ist das Risiko auf solchen Standorten einzuschätzen.

Der hier vorgestellte Ansatz beseitigt weitestgehend das Problem scharfer räumlicher Übergänge von Baumartenempfehlungen auf kleinstem Raum. Diese kamen bisher in Gebieten vor, in denen sich die Standortwasserbilanz (gemäß ECHAM6/STARS II) um die Schwellenwerte des Trockenstressrisikos (s. Tab. 6) bewegt. Die Nutzung von Ensembles bietet nun eine räumliche Verdichtung von klimasensitiven Informationen. Dadurch ist es entsprechend der Robustheitsgrade möglich eine Reihenfolge von BZT-Empfehlungen auf einem Standort zu geben, um eine strategische Priorisierung zu unterstützen. Die Einschätzung des Trockenstressrisikos ist allerdings nur ein Indikator von vielen, der in der waldbaulichen Realität die Baumartenwahl beeinflusst. Für eine verbesserte Baumartenempfehlung ist deshalb die Einbindung weiterer Indikatoren geplant. Als nächster Schritt hierfür ist eine Anpassung des Algorithmus an ein multikriterielles Entscheidungsmodell notwendig.

Ein weiterer Vorteil der Nutzung von Klimaensembles ist die hohe Anpassungsfähigkeit des Algorithmus an neue Modellgenerationen der Klimafolgenforschung. Nach Bereitstellung und Regionalisierung neuer Ensembles wird lediglich eine Neu-einschätzung der Robustheitsgrade notwendig, um *baklawa* anwenden zu können. Damit ist die methodische Grundlage für eine schnelle Anpassung der klimasensitiven Baumartenempfehlung an der NW-FVA grundsätzlich gegeben. Ein kurzer Überblick zum aktuellsten Sachstandsbericht und der darin verwendeten Modellgeneration wird im nächsten Kapitel kurz umrissen.

9.3 IPCC-Bericht 2021

Im Jahr 2021 wurde der erste Teil des Sechsten Sachstandsberichtes des IPCC der Öffentlichkeit vorgestellt (IPCC 2021). Der Bericht der Arbeitsgruppe I befasst sich mit dem aktuellen Kenntnisstand zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels. In dem Bericht werden die Ursachen und Folgen der beobachteten Klimaveränderung dokumentiert. Demnach ist es wissenschaftlich erwiesen, dass infolge der menschlichen Aktivitäten der globale Temperaturanstieg im Vergleich zur vorindustriellen Zeit bereits rund 1 K beträgt. Ursache sind die anthropogenen Treibhausgasemissionen. So ist die CO₂-Konzentration seit Ende des 19. Jahrhunderts von rund 300 ppm auf mittlerweile 420 ppm (Stand 2022) angestiegen. Die aktuellen Forschungsergebnisse belegen, dass infolge der menschlichen Emissionen

die globale Oberflächentemperatur um rund 0,2 K pro Jahrzehnt zunimmt. Die globale Erwärmung wird unter den getroffenen Annahmen zur Emissionsentwicklung bis spätestens zum Jahr 2050 das 1,5 °C-Ziel des Pariser Klimaabkommens überschreiten. Die beobachtete Zunahme extremer Witterungsereignisse wie Starkregen und Dürren können ebenfalls mit einer hohen Wahrscheinlichkeit auf die erhöhten Treibhausgasemissionen zurückgeführt werden.

Im sechsten Sachstandsbericht werden fünf Hauptemissionsszenarien betrachtet, die unterschiedliche Treibhausgas- und Landnutzungspfade beschreiben. Diese Projektionen weisen auf mögliche zukünftige Entwicklungspfade hin und dienen als Antrieb für globale Klimamodelle. Die neue Generation von Szenarien lehnt sich an die RCP-Emissionspfade (*Representative Concentration Pathways*, s. Kap. 3.3.2) an. Entsprechend wurde die Bezeichnung der SSP-Szenarien (*Shared Socioeconomic Pathways*) für den zusätzlichen Strahlungsantrieb aus der Vorgängergeneration übernommen. Das RCP2.6-Szenario (2 °C-Ziel) ist mit dem neuen SSP1-2.6 zu vergleichen. Die SSP-Szenarien stellen die sozioökonomischen Veränderungen in den Mittelpunkt der Betrachtungen. Dabei wird für jeden Emissionspfad ein Budget von zukünftigen Treibhausgasemissionen geschätzt, die im aktuellen CMIP6 (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 6*, EYRING et al. 2016) verwendet werden.

Die Projektionen beginnen im Jahr 2015 und schreiben die Emissionsentwicklung bis zum Jahr 2100 fort. Bei den Szenarien mit hohen bis sehr hohen Treibhausgasemissionen (SSP3-7.0 und SSP5-8.5) wird es zur keiner Reduktion der Emissionen kommen. Im Gegenteil ist bis zum Jahr 2050 (SSP5-8.5) bzw. 2100 (SSP3-7.0) mit einer Verdoppelung der Treibhausgasemissionen zu rechnen. Beim mittleren Szenario SSP2-4.5 verbleiben die Emissionen in etwa auf dem heutigen Niveau und nehmen ab dem Jahr 2050 langsam ab. Die niedrigen bis sehr niedrigen Szenarien (SSP1-2.6 und SSP1-1.9) verfügen nur noch über ein geringes Restbudget an Emissionen. In beiden Szenarien würde der Treibhausgasausstoß bis zum Jahr 2050 auf null reduziert. In der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts wären dann negative Netto-Emissionen auf unterschiedlichen Niveaus notwendig, um den Erwärmungstrend zu stoppen bzw. eine Abnahme der globalen Erdoberflächentemperatur zu bewirken.

Die globale Erwärmung würde bei allen Szenarien zunächst ähnlich verlaufen. In der nahen Zukunft (2021 bis 2040) liegt der beste Schätzwert der Temperaturzunahme bei 1,5 K im Vergleich zur vorindustriellen Zeit. Mittelfristig (2041 bis 2060) würde die Erwärmung zwischen 1,6 K (SSP1-1.9) und 2,4 K (SSP5-8.5) betragen. Zum Ende des Jahrhunderts (2081 bis 2100) würde die globale Mitteltemperatur um 1,4 K (SSP1-1.9) bis 4,4 K (SSP5-8.5) über dem Wert der vorindustriellen Zeit liegen (s. Abb. 55, IPCC 2021). Da die Bandbreite in jedem Szenario relativ groß ist, könnte im ungünstigsten Fall sogar eine noch stärkere Temperaturzunahme im globalen Mittel eintreten. Da sich die Landmassen deutlich stärker im Vergleich zu den Ozeanen erwärmen, wäre die Erwärmung in Mitteleuropa deutlich höher als dies durch die Mittelwerte induziert wird.

In Abhängigkeit vom Entwicklungspfad, den die Menschheit einschlagen wird, ist aufgrund der bereits beobachteten Klimaveränderung mit hohen Anpassungsanforderungen zu rechnen. Sollten die pessimistischen Szenarien (SSP3-7.0, SSP5-8.5) eintreten, würde in weiten Teilen der Erde eine Anpassung nicht oder nur eingeschränkt möglich sein. Welcher Entwicklungspfad wahrscheinlich ist, wird in der wissenschaftlichen Community kontrovers diskutiert. Im Kontext der Risikovor-sorge und der aktuellen Emissionsentwicklung ist die Forstwirtschaft jedoch gut beraten, sich an den pessimistischen Szenarien zu orientieren.

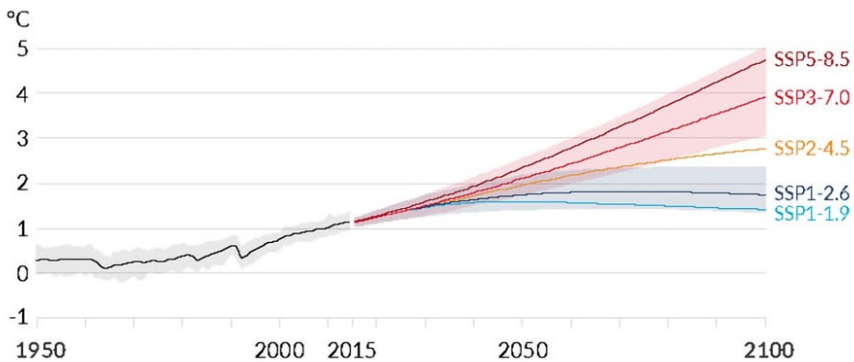


Abbildung 55: Globale Erwärmung für die neuen SSP-Hauptszenarien (IPCC 2021)

10 Projektion des Wachstums ausgewählter Baumarten

Matthias Schmidt, Jan Schick, Thorsten Zeppenfeld

10.1 Methodik

Die klimaadaptive Baumartenwahl für terrestrische Waldstandorte basiert aktuell auf dem klimasensitiven Parameter Standortwasserbilanz (SWB) und dem statischen Parameter Nährkraftstufe (NKS). Während die SWB primär der Einschätzung der Trockenstressgefährdung dient, werden über die NKS Nährstoffansprüche der Baumarten, Risiken wie z. B. Rotfäule der Fichte auf Kalkstandorten und die Wuchsleistung subsummiert. Auf grund- und stauwasserbeeinflussten Standorten ist die SWB wenig aussagekräftig und die Baumartenwahl orientiert sich hier an der Feuchtestufe. Die Wuchsleistung der Baumarten wird über die NKS allerdings nur unzureichend erfasst, da sie von weiteren Faktoren wie der Temperatur- und Niederschlagssumme in der Vegetationszeit, der Stickstoffdeposition und dem Bodenwasserhaushalt bestimmt wird. Für eine optimale Baumartenwahl unter Berücksichtigung der Multifunktionalität des Waldes ist somit eine standortsensitive Projektion des Waldwachstums notwendig. Insbesondere für die Erfüllung der Nutzfunktion und damit einer wichtigen Komponente des Klimaschutzes sind derartige Abschätzungen eine wichtige Entscheidungshilfe. Die nächste Ausbaustufe der Baumarten- bzw. BZT-Empfehlungen für die Trägerländer der NW-FVA wird daher um eine Komponente zur Einschätzung der Wuchsleistung ergänzt werden. Die Grundlage dieser Projektionen sind Standort-Leistungs-Modelle (SLM), die an der NW-FVA für Kiefer, Buche, Fichte, Eiche, Europäische Lärche, Douglasie und Weißtanne entwickelt wurden. Diese SLM stellen eine wichtige Ergänzung zu Modellen zur Gefährdungseinschätzung durch Trockenstress, Stürme oder Borkenkäfer dar. Letztere ermöglichen die Abschätzung des Totalverlustes von Bäumen und Beständen, die SLM erlauben die Abschätzung des Risikos von Zuwachsverlusten.

Die SLM sind als standortssensitive Bonitätsfächer konzipiert, mit denen sich die Entwicklung der Mittelhöhe (H_g) über dem Alter in Abhängigkeit von wichtigen Standortfaktoren einschätzen lässt (SCHMIDT 2020). Diese Faktoren sind die Temperatur- (T_{sum}) und Niederschlagssumme (N_{sum}) in der Vegetationszeit, die jährliche Stickstoffdeposition (N_{dep}) sowie die Wasserhaushalts- (WHZ) und Nährstoffziffer (NZ) entsprechend der forstlichen Standortkartierung. Die edaphischen Standortfaktoren WHZ und NZ gehen statisch und die Klima- und Depositionsparameter dynamisch in die Leistungsschätzung ein. Dynamisch bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Standortfaktoren T_{sum} , N_{sum} und N_{dep} als Mittelwerte für den Zeitraum berechnet werden, der für die Projektion der Mittelhöhe relevant ist. Soll beispielsweise die Mittelhöhe im Alter 100 (absolute Mittelhöhenbonität) im

Jahr 2050 projiziert werden, so werden die 100 jahresspezifischen Werte für T_{sum} , N_{sum} und N_{dep} von 1950 bis 2050 gemittelt und als Prädiktoren im Modell verwendet. Durch diese Vorgehensweise werden exakt die Klima- bzw. Depositionsbedingungen berücksichtigt, die für die spezifische Mittelhöhen-Entwicklung auf einem gegebenen Standort im betreffenden Zeitraum relevant sind. Bei den Klimaparametern handelt es sich bis 2019 um aggregierte und regionalisierte (räumlich interpolierte) Messdaten der Stationen des Deutschen Wetterdienstes. Für Projektionen in die Zukunft werden ab 2020 regionalisierte Werte aus Klimaprojektionen genutzt, wobei an der NW-FVA derzeit die 7 Klimäläufe des *ReKliEs-De*-Kernensembles auf Basis des RCP8.5-Klimaszenarios verwendet werden (HÜBENER et al. 2017). Die Grundlage für die Regionalisierung der N_{dep} bilden flächendeckende Berechnungen mit dem prozessorientierten *LOTUS-EUROS* Modell (SCHAAP et al. 2015), auf deren Basis Zeitreihen der retrospektiven Deposition generiert werden (WELLBROCK et al. 2019). Die ertragskundliche Datengrundlage der SLM umfasst die Bundeswaldinventur I, II und III (RIEDEL et al. 2017) sowie Daten der Landeswaldinventur Brandenburg und von Betriebsinventuren der Niedersächsischen Landesforsten und von HessenForst. Durch diese sehr umfangreiche Datenbasis werden sowohl große Gradienten der dynamischen Standortfaktoren als auch edaphische Extremstandorte abgedeckt. Aufgrund der sehr viel umfangreicheren Datengrundlagen für Kiefer, Buche, Fichte und Eiche sind die Gradienten für diese Baumarten allerdings sehr viel besser abgedeckt als für Europäische Lärche, Douglasie und Weißtanne. Insbesondere die Erfassung der unter den aktuellen Klimabedingungen wärmsten und niederschlagsärmsten Standorte in Deutschland ist von großer Bedeutung, um möglichst realistische Projektionen unter den Bedingungen eines veränderten Klimas zu ermöglichen. Bei diesem Analogieschluss wird angenommen, dass Wälder in Nordwestdeutschland zukünftig ähnliche Wuchsleistungen zeigen wie derzeitige Wälder auf den aktuell wärmsten und niederschlagsärmsten Standorten, wenn sich das Klima in Richtung dieser Standorte verändert.

10.2 Ergebnisse

Im Folgenden werden Projektionen der absoluten Mittelhöhenbonität und der Leistungsklasse ($LKL = dGZ_{\text{max}}$) für die Jahre 2000 und 2100 entlang eines Transektes vom Salzwedeler Forst über den Klötzer Forst, den Truppenübungsplatz Altmark, den Hohen Fläming über Dessau, Halle (Saale), das obere Selketal (Harz) bis zum Brocken für die Baumarten Eiche, Buche, Kiefer, Fichte und Douglasie dargestellt (s. Abb. 56). Um die klimaabhängigen Trends entlang des Transektes klarer erkennen zu können, wurde die tlw. starke, durch kleinräumige Standortunterschiede bedingte Streuung der projizierten Bonitäten durch einen Glättungsalgorithmus reduziert. Zusätzlich werden die Veränderungen zwischen dem Jahr 2000 und 2100 abgebildet, um die unterschiedlichen Reaktionen der Baumarten auf den projizierten Klimawandel bzgl. der Wuchsleistung zu analysieren. Hier werden

nur die Höhenbonitäten detaillierter analysiert. Bei einer Analyse der Leistungsklassen wäre zu beachten, dass die Volumenzuwächse der Baumarten bei gleicher Höhenbonität deutliche Unterschiede aufweisen.

Der Transekt stellt eine erweiterte und leicht veränderte Variante des Transektes dar, der im WZE-Bericht Sachsen-Anhalt 2021 beschrieben wurde. Zusätzlich werden hier auch Projektionen für Douglasie dargestellt und beschrieben. Aufgrund der sehr viel geringeren Datenbasis in den Waldinventuren weisen die Projektionen für die Douglasie im Vergleich zu den Hauptbaumarten sehr viel größere Unsicherheiten und geringere Sensitivitäten insbesondere gegenüber den Bodenparametern auf. Insbesondere für die Eiche, aber auch für Kiefer, Buche und Douglasie sind die Schätzungen für das Jahr 2000 in den Hochlagen des Oberharzes unsicher, da sie im Randbereich der Datengrundlagen der SLM liegen. In den Gebieten mit aktuell schon hohen Temperatur- und niedrigen Niederschlagssummen liegen die Projektionen für das Jahr 2100 in Abhängigkeit von den verschiedenen Klimäläufen und baumartenspezifischen Datengrundlagen mehr oder weniger stark im Extrapolationsbereich, sodass die Modellvorhersagen auch in diesem Bereich weniger sicher sind.

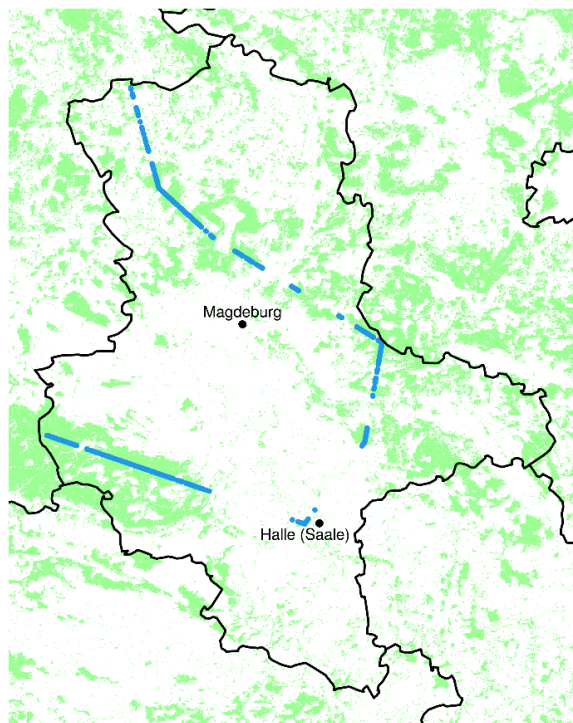


Abbildung 56: Transekt vom Salzwedeler Forst über den Hohen Fläming, Dessau, Halle (Saale) und das obere Selketal (Harz) bis zum Brocken. Für diesen Transekt wird die Wuchsleistung für die Jahre 2000 und 2100 projiziert. Der Transekt beinhaltet ausschließlich standortskartierte Waldflächen.

Für das Jahr 2000 zeigen die Modellschätzungen für Eiche im Tiefland und am Harzrand etwas höhere Bonitäten als im Harz (s. Abb. 57a). Im Mittel beträgt die Bonität im Tiefland etwa 24 m. Schwach ausgeprägte Maximalwerte sind im Bereich von Salzwedel und Klütze zu erkennen. Ab einer Seehöhe von ca. 450 m ü. NHN sinken die Bonitäten dann zum Brocken hin immer stärker ab. Der Vergleich mit den Projektionen für das Jahr 2100 zeigt für die Eiche ausnahmslos Bonitätsverbesserungen, wobei zwischen Salzwedel, Fläming und Harzrand eine Zunahme von etwa 0,1–2 m projiziert wird (s. Abb. 57b). Ab dem Harzrand nehmen die Bonitätsverbesserungen bis zu einer Seehöhe von 450 m weiter leicht zu, um in Richtung Brocken deutlich auf Werte von bis zu 5,2 m anzusteigen. Im Vergleich mit den anderen Baumarten zeigt die Eiche die geringste Variabilität zwischen den verschiedenen Klimäläufen.

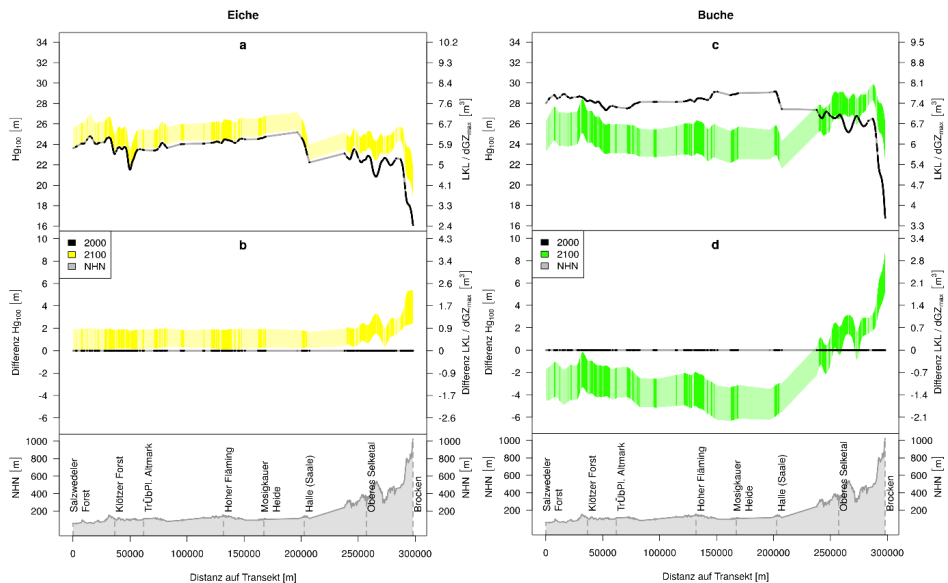


Abbildung 57: Projektionen der absoluten Mittelböhenbonität ($H_{gs,100}$) und der Leistungs-klasse (LKL/ dGZ_{max}) für Eiche (a) und Buche (c) für das Jahr 2000 (schwarze Linien) und für das Jahr 2100 und die 7 Klimäläufe des ReKlEs-De-Kernensembles auf Basis des RCP 8.5-Klimaszenarios (farbige Bänder) entlang des in Abbildung 56 dargestellten Transektes vom Salzwedeler Forst über den Hohen Fläming und Halle (Saale) bis zum Brocken. Die Veränderungen zwischen den Projektionen für 2000 und 2100 zeigen die Diagramme b (Eiche) und d (Buche). Für Punkte außerhalb der Waldfläche, die am helleren Farbton erkennbar sind, wurde zwischen den Projektionen benachbarter Waldflächen interpoliert. Die unteren Graphiken beschreiben das Profil der Seehöhe (NHN) entlang des Transektes.

Für die Buche weisen die Schätzungen für das Jahr 2000 ein ähnliches Muster wie bei Eiche auf. Allerdings liegen die Bonitäten erwartungsgemäß deutlich höher (s. Abb. 57c). So liegt die mittlere Bonität im Tiefland bei etwa 28 m. Bei den Projektionen für das Jahr 2100 zeigen sich jedoch große Unterschiede zwischen den beiden

Laubholzarten, da für das Tiefland und den Harzrand für alle Klimäläufe Bonitätsverschlechterungen von 1–6,5 m auftreten (s. Abb. 57d). Eine Ausnahme sind einzelne Bereiche im Klötzer Forst, wo auch zukünftig etwas günstigere Bedingungen herrschen werden und die Bonitätsverschlechterungen nur zwischen 0,1–3,4 m liegen. In den tieferen Lagen des Harzes werden sowohl geringe Verschlechterungen als auch geringe Verbesserungen projiziert. Ab ca. 400 m treten dann ausnahmslos Bonitätsverbesserungen auf, die am Brocken einen Maximalwert von 9 m erreichen. Aufgrund der deutlich negativen Reaktion der Buche und der leicht positiven Reaktion der Eiche weisen Buche und Eiche im Tiefland im Jahr 2100 relativ ähnliche absolute Bonitäten auf. Dabei liegt die Buche im Nordwesten noch über der Eiche, ab der Altmark und vor allem im Bereich südlich des Fläming bleibt sie aber immer deutlicher zurück. Im Harz bleibt der absolute Bonitätsvorsprung der Buche bis 500 m in etwa gleich, während die Buche im Oberharz gegenüber der Eiche mit zunehmender Höhenlage deutlich stärker vom projizierten Klimawandel profitiert. Im Vergleich mit den anderen Baumarten zeigt die Buche die stärkste Sensitivität gegenüber den Klimaparametern und somit die höchste Variabilität zwischen den verschiedenen Klimäläufen.

Für das Jahr 2000 werden für die Fichte wie bei Buche und Eiche im Bereich von Salzwedel und Klötze die besten Bonitäten des Tieflandes geschätzt. Dieses Muster ist deutlicher ausgeprägt als bei Buche und Eiche. Im Bereich von der Altmark über den Fläming bis zu Seehöhen von 200 m im Harz werden einheitlich Bonitäten von etwa 28–29 m geschätzt (s. Abb. 58a). Ab dieser Höhenlage nehmen die Bonitäten erst etwas zu um ab ca. 500 m erst langsam und in Richtung des Brockens stark abzunehmen. Aufgrund ihrer geringen Ansprüche bzgl. der Temperatursumme sind die relativen Bonitätsveränderungen zwischen den mittleren Höhenlagen und den Hochlagen allerdings geringer als bei Buche und Eiche. Das Bonitätsniveau der Fichte liegt im Tiefland in etwa auf dem der Buche, im Harz deutlich darüber, wobei ihr Vorsprung mit steigender Seehöhe zunimmt. Die Fichte ist die einzige Baumart bei der die aktuellen Bonitäten im Harz zwischen ca. 200 und 500 m über den Bonitäten im Tiefland liegen. In den Projektionen für das Jahr 2100 zeigt die Fichte ein ähnliches Muster wie die Buche. Im Tiefland treten fast ausnahmslos Bonitätsverschlechterung von bis zu 4 m auf. Eine Ausnahme ist auch hier der Klötzer Forst in dem die maximalen Bonitätsverschlechterungen weniger als 2 m betragen und im günstigsten Klimalauf punktuell sogar geringe Bonitätsverbesserungen projiziert werden. Im Harz werden bis 500 m Bonitätsverbesserungen zwischen 0,5–3,5 m projiziert, die mit weiter steigender Seehöhe auf 2,5–6 m ansteigen (s. Abb. 58b). Allerdings sind weder die Bonitätsverschlechterungen im Tiefland noch die Verbesserungen ab 500 m so stark ausgeprägt wie bei der Buche. Daher liegen die Bonitäten der Fichte in den Projektionen im Tiefland im Schnitt etwa 2,5 m über denen der Buche. Im Harz bleibt der Abstand zwischen Fichte und Buche bis 500 m in etwa gleich, wobei größere Unterschiede zwischen den einzelnen Standorten auftreten. Ab 500 m holt die Buche gegenüber der Fichte auf.

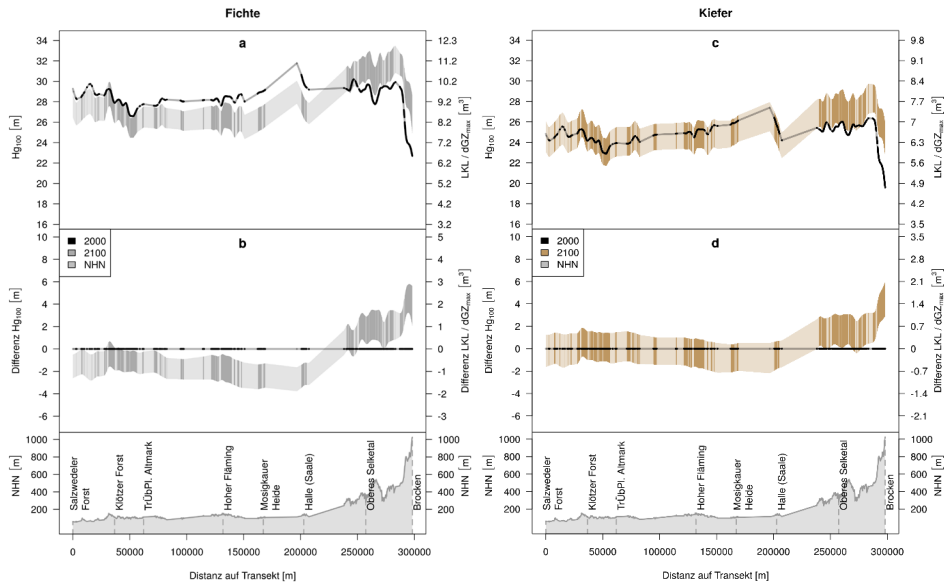


Abbildung 58: Projektionen der absoluten Mittelhöhenbonität ($H_{g,100}$) und der Leistungsklasse (LKL/dGZ_{max}) für Fichte (a) und Kiefer (c) für das Jahr 2000 (schwarze Linien) und für das Jahr 2100 und die 7 Klimaläufe des ReKliEs-De-Kernensembles auf Basis des RCP8.5-Klimaszenarios (farbige Bänder) entlang des in Abbildung 56 dargestellten Transektes vom Salzwedeler Forst über den Hohen Fläming und Halle (Saale) bis zum Brocken. Die Veränderungen zwischen den Projektionen für 2000 und 2100 zeigen die Diagramme b (Fichte) und d (Kiefer). Für Punkte außerhalb der Waldfläche, die am belleren Farbton erkennbar sind, wurde zwischen den Projektionen benachbarter Waldflächen interpoliert. Die unteren Graphiken beschreiben das Profil der Seehöhe (NHN) entlang des Transektes.

Die Bonitätsschätzungen für die Kiefer weisen für das Jahr 2000 im Tiefland und bis zu Seehöhen von 450 m (Harz) ein einheitliches Niveau von etwa 25 m auf und nehmen zum Brocken hin deutlich ab (s. Abb. 58c). Auch hier fallen die etwas höheren Schätzungen im Salzwedeler und Klötzer Forst auf. Allerdings sind die Unterschiede zum übrigen Tiefland viel weniger deutlich als bei der Fichte. Beim Vergleich mit den Projektionen für das Jahr 2100 weist die Kiefer im Tiefland und am Harzrand ein Muster auf, das zwischen dem von Eiche und Fichte liegt (s. Abb. 58d). So treten sowohl Klimäläufe mit Bonitätsverbesserungen als auch mit -verschlechterungen auf. Bereits ab dem Harzrand zeigen sich fast ausnahmslos Bonitätsverbesserungen, die wie bei Buche und Fichte ab 500 m deutlich ansteigen. Das Bonitätsniveau der Kiefer liegt im Tiefland aktuell etwas über dem der Eiche. Für das Jahr 2100 werden für beide Baumarten ähnliche Bonitäten mit leichten Vorteilen für die Eiche projiziert. Im Harz liegen die aktuellen Bonitäten der Kiefer bis 500 m etwas unterhalb der Werte für die Buche. In den Hochlagen werden für beide Baumarten sehr ähnliche Bonitäten geschätzt. Für das Jahr 2100 werden im Harz für

Kiefer im Schnitt etwas geringere Bonitäten als für die Buche projiziert, wobei auch hier Unterschiede zwischen den einzelnen Standorten auftreten.

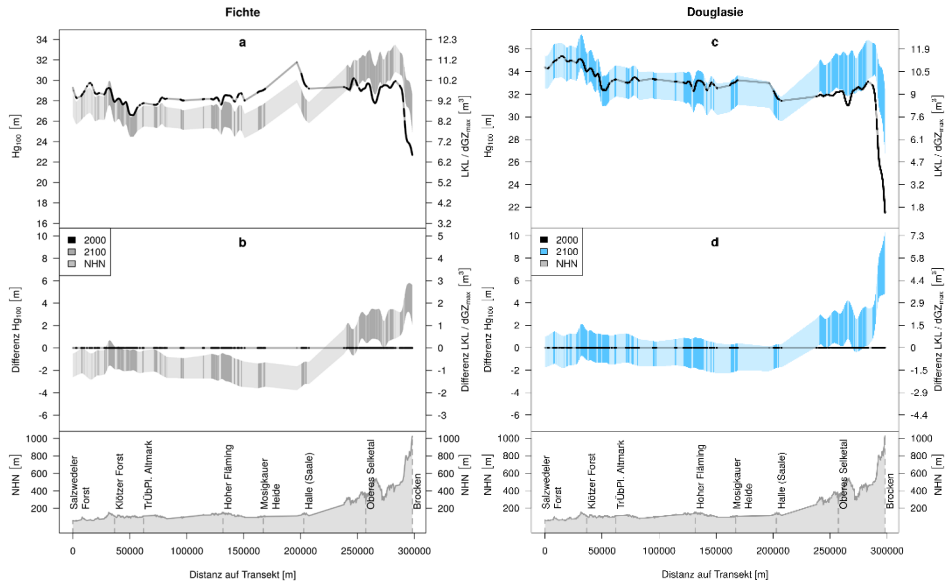


Abbildung 59: Projektionen der absoluten Mittelhöhenbonität (H_{g100}) und der Leistungsklasse (LKL/dGZ_{max}) für Fichte (a) und Douglasie (c) für das Jahr 2000 (schwarze Linien) und für das Jahr 2100 (farbige Bänder) entlang des in Abbildung 56 dargestellten Transektes vom Salzwedeler Forst über den Hohen Fläming und Halle (Saale) bis zum Brocken. Die Veränderungen zwischen den Projektionen für 2000 und 2100 zeigen die Diagramme b (Fichte) und d (Douglasie). Für Punkte außerhalb der Waldfläche, die am helleren Farbton erkennbar sind, wurde zwischen den Projektionen benachbarter Waldflächen interpoliert. Die unteren Graphiken beschreiben das Profil der Seehöhe (NHN) entlang des Transektes.

Für die Douglasie werden in weiten Teilen des Tieflands aktuell Bonitäten von ca. 33 m geschätzt womit sie die Fichte um etwa 4 – 5 m übertrifft. Im Bereich von Salzwedel und Klötze liegen die Schätzungen mit 35 m noch einmal deutlich höher, sodass sich dieser Bereich ähnlich wie bei der Fichte klarer vom restlichen Tiefland abhebt als bei den übrigen Baumarten. Im Harz werden bis ca. 500 m ähnlich wie bei Buche und Eiche etwas niedrigere Bonitäten geschätzt als im Tiefland. Mit weiterer Zunahme der Höhe nehmen die Bonitäten dann sehr deutlich ab, sodass für die höchsten Lagen geringere Bonitäten als für die Fichte geschätzt werden. Das Muster der Projektionen für 2100 ähnelt im Tiefland dem der Kiefer. So werden ausnahmslos sowohl Bonitätsverbesserungen als auch -verschlechterungen geschätzt. Die günstigsten Standorte im Tiefland befinden sich auch zukünftig im

Bereich von Klötze. Im Harz werden bis ca. 500 m mit wenigen Ausnahmen ausschließlich Bonitätsverbesserungen von bis zu 4,3 m erreicht, in den Hochlagen steigen diese auf bis zu 10 m an.

Als allgemeines Muster lässt sich für alle Baumarten festhalten, dass für die Standorte des Oberharzes, auf denen aktuell die Temperatursumme der begrenzende Wachstumsfaktor ist, deutliche Bonitätsverbesserungen projiziert werden. In den tieferen Lagen des Harzes werden je nach Baumart nur geringere Verbesserungen und teilweise Verschlechterungen projiziert. Im Tiefland werden für die Eiche nur relativ geringe Bonitätsverbesserungen und für Kiefer und Douglasie sowohl Verbesserungen als auch Verschlechterungen projiziert. In den ungünstigeren Bereichen sind die Verschlechterungen allerdings deutlicher ausgeprägt als die Verbesserungen. Für Fichte und Buche werden im Tiefland ausnahmslos Verschlechterungen projiziert. Als Ursache sind sehr hohe zukünftige Temperatursummen oberhalb der Optimalbereiche und vor allem sehr geringe zukünftige Niederschlagssummen zu nennen, die das Wachstum begrenzen. Als Folge dieser Trends werden die Bonitäten von Buche, Fichte, Kiefer und Douglasie im Jahr 2100 im Harz (mit Ausnahme der Hochlagen) im Mittel über den Werten im Tiefland liegen. Allerdings werden im Bereich von Salzwedel und Klötze bei der Douglasie verbreitet und bei Buche und Kiefer vereinzelt ähnliche Bonitäten erreicht. Bei Eiche weisen die Tieflandstandorte im Jahr 2100 weiterhin etwas höhere Bonitäten als im Harz auf, wobei sich diese Unterschiede aber verringern werden.

Die dargestellten Projektionen entlang des Transektes erlauben eine Sensitivitätsanalyse wie sich der Klimawandel auf die Wuchsleistung der Baumarten in verschiedenen Regionen und unter unterschiedlichen Standortbedingungen auswirken wird. Zusätzliche Projektionen für die gesamte Waldfläche ermöglichen eine Bewertung der zu erwartenden summarischen Veränderungen. Zu diesem Zweck wurde für die vier Hauptbaumarten bestimmt, auf wieviel Prozent der Waldflächen ausschließlich Bonitätsverschlechterungen, -verbesserungen bzw. sowohl Verbesserungen als auch Verschlechterungen (s. Tab. 30: Spalte Indifferent) projiziert werden. Um die Veränderungen für Sachsen-Anhalt besser einordnen zu können, werden zum Vergleich die Ergebnisse für alle Trägerländer der NW-FVA aufgeführt (s. Tab. 30).

Die große Sensitivität der Buche und in etwas geringerem Ausmaß der Fichte wird auch in den Flächenstatistiken deutlich. So werden für 78 % der Waldfläche Sachsen-Anhalts aber nur 1 % der Waldfläche Schleswig-Holsteins Bonitätsverschlechterungen in allen Klimäläufen projiziert. Bei der Fichte betragen diese Werte 66 % für Sachsen-Anhalt und 0 % für Schleswig-Holstein. Die projizierten Klimaprojektionen führen somit für Buche und Fichte in Sachsen-Anhalt in Summe zu viel ungünstigeren Produktionsbedingungen als in Schleswig-Holstein, wo Buche auf 26 % und Fichte auf 78 % sogar in allen Klimäläufen profitieren. Dabei haben die Transektanalysen allerdings gezeigt, dass im Tiefland und Harz sehr unterschiedliche Entwicklungen projiziert werden. Hessen und Niedersachsen liegen bei der

summarischen Betrachtung der Waldfläche mit einheitlichen Bonitätsverschlechterungen bei 36 bzw. 45 % für die Buche und 29 bzw. 26% für die Fichte zwischen Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein. Allerdings werden auch in Hessen und Niedersachsen regional und höhenzonal sehr unterschiedliche Entwicklungen projiziert (SCHMIDT et al. 2021a, 2021b).

Tabelle 30: Anteile an der Gesamtwaldfläche für die Trägerländer der NW-FVA mit ausschließlich Bonitätsverbesserungen bzw. -verschlechterungen in allen 7 Klimäläufen bzw. mit indifferenter Entwicklung für die Hauptbaumarten

Baumart	Bonitätsverbesserungen [%]				Bonitätsverschlechterungen [%]				Indifferent [%]			
	ST	SH	NI	HE	ST	SH	NI	HE	ST	SH	NI	HE
Eiche	91,2	100	98,5	84	0	0	0	0	8,8	0	1,5	16
Buche	13,1	26,4	13,1	23,8	77,6	0,6	44,6	36	9,3	73	42,3	40,2
Fichte	16,7	78,3	21,4	37,3	66	0	26,1	29	17,3	21,7	52,5	33,7
Kiefer	16,1	99,9	69,4	63,7	5,3	0	0	16,1	78,6	0,1	30,6	20,2

Im Gegensatz zu Buche und Fichte weist die Eiche trotz der unterschiedlichen aktuellen und zukünftigen Bedingungen ein sehr einheitliches Muster in den vier Trägerländern der NW-FVA auf. So werden auf 84 (Hessen) bis 100 % der Waldfläche (Schleswig-Holstein) ausschließlich Bonitätsverbesserungen projiziert. Auch auf der restlichen Waldfläche tritt noch in mindestens einem Klimalauf eine Bonitätsverbesserung auf. Bei der Analyse des Transektes war bereits deutlich geworden, dass die Eiche im Gegensatz zu insbesondere Buche und Fichte auf einem Großteil der Waldfläche vom Klimawandel profitiert. Dieses Muster wird auch bei der summarischen Analyse für die gesamte Waldfläche deutlich. Die Kiefer nimmt auch bei der summarischen Analyse eine Zwischenstellung ein. So ist in Sachsen-Anhalt die Gruppe mit indifferenter Projektionen mit 79 % dominierend. In den übrigen Bundesländern dominieren die Standorte mit Bonitätsverbesserungen in allen Klimäläufen mit Anteilen zwischen 100 (Schleswig-Holstein) und 64 % (Hessen).

Die Projektion der Wuchsleistung der Hauptbaumarten ist eine wichtige Entscheidungsgrundlage für die standortsensitive Baumartenwahl im Klimawandel. Für eine umfassende Bewertung des Anpassungspotenzials der Baumarten im Rahmen einer multifunktionale Waldwirtschaft müssen die Projektionen der Wuchsleistung jedoch zwingend mit der Einschätzung wichtiger abiotischer und biotischer Risiken wie Trockenstress-, Sturm- und Borkenkäferschäden im Klimawandel kombiniert werden. So kann eine deutliche Zunahme der Risiken dazu führen, dass unveränderte oder sogar verbesserte Wuchsleistungen, die sich nach den hier vorgestellten Modellen theoretisch ergeben müssten, nicht realisiert werden.

11 Alternative Baumarten – ein Lösungsbeitrag für die Klimaanpassung?

Stefan Lieven, Franziska Fasse, Ralf-Volker Nagel

11.1 Einleitung

Die sich vollziehende Klimaveränderung und insbesondere die gravierenden Waldschäden durch die Witterungsextreme der Jahre 2018 bis 2020 waren der maßgebliche Anlass der Überarbeitung der Waldbauplanung für Sachsen-Anhalt und haben gleichzeitig das Interesse der forstlichen Praxis an sogenannten alternativen Baumarten stark gesteigert. Darunter verstanden werden sollen in diesem Beitrag Baumarten, die bisher keine größere Bedeutung als Haupt- und Mischbaumarten erlangt haben. Teilweise handelt es sich um bisher forstlich kaum verwendete fremdländische Baumarten, es sollen aber auch bisher sehr seltene heimische Baumarten eingeschlossen werden. Nachdruck verleiht dem Anliegen der Forstpraxis, dass unter den projizierten Klimaänderungen, die auf Deutschland bezogen Sachsen-Anhalt besonders treffen, bei einigen der derzeit bedeutendsten heimischen Baumarten mit einer erhöhten Absterberate zu rechnen ist (SCHMIEDINGER et al. 2009). So belegen die Ergebnisse der Waldzustandserhebungen der vergangenen Jahre schlechte Kronenzustände und ein verstärktes Absterben, wovon neben der am stärksten geschädigten Fichte auch Buche sowie Eiche und Kiefer betroffen sind (NW-FVA u. MWLF 2021). Diese vier Baumarten nahmen 2012 noch 72 % der Waldfläche in Sachsen-Anhalt ein (BMEL 2016). Angesichts dessen verbindet sich das Interesse an Alternativbaumarten mit der Hoffnung auf eine bessere Anpassungsfähigkeit an ein künftig wärmeres und trockeneres Klima. Neben Dürren werden außerdem häufiger Stürme erwartet, Massenvermehrungen von Borkenkäfern und blattfressenden Insekten nehmen zu und Pilzkrankungen werden vermehrt die Bäume schädigen. Eine „Wunderbaumart“, die all dem gewachsen wäre, gibt es nicht, denn keine Baumart ist gleichermaßen widerstandsfähig gegen alle Gefährdungen. Umgekehrt sind bestimmte Risikofaktoren wie der Fichtenborkenkäfer regelrecht auf einzelne Baumarten, mitunter sogar in einem ganz bestimmten Altersbereich spezialisiert. Besteht ein Wald also nur aus gleichaltrigen Bäumen einer einzigen Baumart, kann schnell der gesamte Bestand vernichtet werden. Fällt dagegen in artenreichen Beständen, am besten noch mit unterschiedlichen Baumaltern, eine Art aus, stirbt nicht gleich der gesamte Waldbestand. Entstehende Lücken können durch die anderen Baumarten wieder geschlossen werden oder bieten Platz für natürliche Verjüngung. Und selbst nach katastrophalen Stürmen oder Bränden bleibt von gemischten Wäldern oft ein vielfältigeres Potenzial für die Neubesiedlung. So erhöhen Mischungen von Pionier- sowie mittel- und spät-

sukzessionalen Baumarten die Resilienz der Wälder gegen Störungsereignisse (LÜPKE 2004, 2009). Die Empfehlungen der Waldbauplanung Sachsen-Anhalt zum Waldumbau und zur Wiederbewaldung basieren deshalb ausschließlich auf Mischbestandstypen, die als Bestandeszieltypen (BZT) bezeichnet werden. Beschrieben sind sie durch Mischungsanteile und Mischungsformen beteiligter Haupt-, Misch- und Begleitbaumarten und ihre standörtliche Zuordnung, neuerdings unter Berücksichtigung für die Zukunft projizierter Klimaverhältnisse.

Scheinbar im Widerspruch zu diesem „Vorteil durch Vielfalt“ werden bisher nur wenige Baumarten aus anderen Ländern und Klimabereichen für den Einsatz in unseren Wäldern empfohlen. Warum ist das so und wie ist die weitere Perspektive?

11.2 Frühere Anbauten fremdländischer Baumarten

Bereits zu Zeiten der Römer wurden die Baumarten Esskastanie, Walnuss und Speierling nach Deutschland eingeführt. Diese Baumarten werden aufgrund ihrer sehr frühen Einführung nach Deutschland als Archäophyten bezeichnet. Aufgrund der bisherigen klimatischen Verhältnisse haben sie jedoch als Waldbäume in Sachsen-Anhalt bisher kaum eine Bedeutung erlangt. Neben der Holznutzung hat zu dieser Zeit vor allem auch die Versorgung von Mensch und Nutztieren mit Nahrung eine Rolle bei der Artenauswahl gespielt (NYSSSEN et al. 2016). Der jüngere forstliche Anbau eingeführter Baumarten in Deutschland begann Mitte des 18. Jahrhunderts. Teilweise war dem eine Einführung von Baumarten der „Neuen Welt“ als Ziergehölze in herrschaftliche Gärten und Parks vorausgegangen. Der enorme Anstieg der Bevölkerung in der frühen Neuzeit, nicht nachhaltige Landnutzung und der steigende Energiebedarf einer beginnenden Industrialisierung, der vor der massenhaften Nutzung fossiler Energieträger zu großen Teilen durch Holzkohle gedeckt wurde, führten zu einer Degradierung großer Waldgebiete, der Entwaldung und einer Holzknappheit (NYSSSEN et al. 2016). Eingeführte Arten sollten auch dazu beitragen die Leistungsfähigkeit und die Stabilität der Wälder wieder zu erhöhen. Bei einem unsystematischen Anbau erlittene Fehlschläge führten jedoch dazu, dass 1880 die Anlage systematischer Anbauversuche durch den Verein Deutscher Forstlicher Versuchsanstalten gefordert wurde. Bereits ein Jahr später, 1881, wurde der „Arbeitsplan für die Anbauversuche mit ausländischen Holzarten“ beschlossen und in ganz Deutschland umgesetzt. Von den ca. 50 seit dieser Zeit untersuchten Baumarten stammten die meisten aus Nordamerika und einige aus Ostasien. Dagegen waren Baumarten aus Südeuropa und Kleinasien in kaum vertreten, da klimatische Veränderungen damals noch keine Rolle spielten.

Mit Hilfe koordinierter Anbauversuche wurden Kriterien wie Standortansprüche, Massen- und Wertleistung, Verwendbarkeit als Mischbaumarten, Widerstandsfähigkeit gegen Witterungsextreme und biotische Schäden sowie die Holzqualität wissenschaftlich untersucht. Noch heute gelten die damals als wichtig erach-

teten Kriterien zur Beurteilung der Anbaueignung eingeführter Baumarten. Mit steigendem Verständnis der komplexen Wirkungsgefüge unserer Waldökosysteme wurden die Anforderungen für eine Anbaueignung aber deutlich umfangreicher. Berücksichtigt werden nunmehr auch Kriterien wie die Durchwurzelung des Mineralbodens, Effekte der Baumart auf die Humusbildung und -umsetzung und die Integration der eingeführten Arten in die heimische Flora und Fauna (OTTO 1993, VOR et al. 2015). Invasive Arten nach § 7 BNatSchG werden auch von der Forstwirtschaft als ein ernst zu nehmendes Problem für die biologische Vielfalt angesehen. Bei einer drohenden Gefährdung natürlich vorkommender Ökosystemen, Biotopen oder Arten beispielweise durch eine unkontrollierte Ausbreitung einer eingeführten Baumart, wird diese als nicht anbauwürdig eingestuft. Ein Beispiel einer solchen invasiven Baumart, die auch in den Wäldern Sachsen-Anhalts Probleme bereitet, ist die Spätblühende Traubenkirsche (*Prunus serotina* EHRH.).

11.3 Anbauwürdig, ökologisch zuträglich und nicht invasiv

Nach dem umfangreichen, aber berechtigten Katalog der Anforderungen, der einer „wahllosen“ Vielfalt entgegen steht, haben sich in den nunmehr 140-jährigen Untersuchungen nur Douglasie, Küstentanne und Roteiche als uneingeschränkt anbauwürdig (DANCKELMANN 1884, SCHWAPPACH 1911, PENSCHUCK 1935, STRATMANN 1988, SPELLMANN 1994), ökologisch zuträglich (OTTO 1993) und nicht invasiv (VOR et al. 2015) erwiesen. Für ein engeres Standortspektrum und einen speziellen Einsatzbereich kommt noch die Japanlärche hinzu. Die wissenschaftliche Langzeitbeobachtung gibt diesem Urteil Sicherheit. Außerdem ist es für diese Baumarten inzwischen gelungen, weitere Fragen der waldbaulichen Behandlung, zu verwendender Herkünfte und ihrer Gefährdungen und Umweltauswirkungen differenziert zu beantworten. Für die Einschätzung ihrer Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel besteht damit bereits eine breite Datengrundlage. Die drei erstgenannten Baumarten werden in Mischung mit heimischen Baumarten übrigens auch unter wärmeren und trockeneren Verhältnissen in Sachsen-Anhalt noch empfohlen. Folgerichtig sind sie als Haupt- bzw. Mischbaumarten Bestandteil in etlichen Bestandeszieltypen der aktuellen Waldbauplanung. Nachfolgend werden wichtige Erkenntnisse zu diesen Baumarten in Kurzzusammenfassungen dargestellt.

11.3.1 *Douglasie*

(*Pseudotsuga menziesii* (MIRBEL) FRANCO)

Die langjährigen wissenschaftlichen Anbauversuche und umfangreiche praktische Erfahrungen belegen die Anbauwürdigkeit der Douglasie (SCHWAPPACH 1901, 1911, MÜNCH 1923, PENSCHUCK 1935, KANZOW 1937, ZIMMERLE 1950, WIEDEMANN 1951, LEMBCKE 1973, STRATMANN 1988, LOCKOW 2002). Sie ist

nicht nur leistungsstark und ertragreich, sondern auch standortgemäß, bodenpfleglich, nicht über ein Normalmaß hinaus gefährdet, natürlich zu verjüngen, gut waldbaulich zu führen und leicht als Mischbaumart in heimische Ökosysteme zu integrieren (OTTO 1993). Die Douglasie zeigt auf einem breiten standörtlichen und klimatischen Spektrum durchgängig hohe Wuchsleistungen und eine gute Standortsanpassung (WELLER 2018). Ergebnisse von MARINGER et al. (2021), die auf Basis baden-württembergischer Versuchsflächen für Douglasie deutlich niedrigere Überlebenswahrscheinlichkeiten modelliert hatten, als für Fichte, können nach einer aktuellen Untersuchung von WELLER et al. (2021) für Nordwestdeutschland nicht bestätigt werden. Hier lag das Mortalitätsrisiko der Douglasie um ein Vielfaches unter dem der Fichte und sie erwies sich ähnlich stabil wie Eiche und Kiefer (s. Abb. 60). Aufgrund ihrer Verjüngungsökologie und der Kontrollierbarkeit der Naturverjüngung ist die Douglasie nicht invasiv und stellt für natürlich vorkommende Ökosysteme, Biotope und Arten keine Gefährdung dar. Vereinzelt Einwanderungstendenzen auf Sonderstandorten wie lichte und warme, blocküberlagerte Waldstandorte lassen sich mit geringem Aufwand kontrollieren bzw. verhindern. Naturschutzfachliche Vorrangflächen und Sonderstandorte gefährdeter Waldgesellschaften können zusätzlich durch Einhaltung eines ausreichenden Puffers absichert werden.



Abbildung 60: 139-jährige Douglasien-Versuchsfläche im Harz, links: Bestandesansicht, rechts: Luftbild von 2019. Im Gegensatz zu allen älteren Fichtenbeständen der Umgebung hat sie Sturm und Trockenheit der vergangenen Jahre vital überstanden. (Fotos: M. Wilke; Nds. Landesforsten)

11.3.2 Große Küstentanne

(*Abies grandis* (DOUGLAS ex D.DON) LINDL.)

Für die waldbauliche Verwendung der Küstentanne spricht ähnlich wie für die Douglasie, dass sie standortgemäß, bodenpfleglich, nicht über ein Normalmaß hinaus gefährdet, natürlich zu verjüngen, gut waldbaulich zu führen und als Mischbaumart zu integrieren ist (vgl. OTTO 1993). Wie die Douglasie hat sie sich auch im Voranbau unter dem Schirm von Lichtbaumarten bewährt. Gleichzeitig überzeugt sie durch Trockenheitstoleranz und eine hervorragende Wuchsleistung, die auf guten Standorten sogar die Douglasie übertrifft, auf schwachen Standorten aber etwas hinter dieser zurückbleibt (WELLER 2018). Gerade vor dem Hintergrund des Klimawandels ist sie eine interessante Mischbaumart, die im kontinentaler getönten Tiefland die Palette der standortgemäßen Baumarten erweitern und im Bergland in begrenztem Flächenumfang nicht mehr standortgemäße Fichtenreinbestände ablösen kann. Die Küstentanne ist nicht invasiv und aus heutiger Sicht uneingeschränkt anbauwürdig. Aufgrund eines positiven Standorteinflusses, ihres begrenzten Reproduktions- und Ausbreitungspotenzials, moderaten Konkurrenzverhaltens und guter waldbaulicher Steuerungsmöglichkeiten liegen derzeit keine Anhaltspunkte für ein invasives Verhalten der Küstentanne in Deutschland vor.

11.3.3 Roteiche

(*Quercus rubra* L.)

Die Roteiche hat sich bisher als einzige eingeführte Laubbaumart auf einem sehr breiten Standortspektrum als anbauwürdig erwiesen. Sie zeigt nicht nur eine höhere Massen- und Wertleistung als die meisten heimischen Laubbaumarten einschließlich der heimischen Eichen (s. Abb. 61), sondern ist auch gegenüber abiotischen und biotischen Schadeinflüssen sehr widerstandsfähig und hat viele positive waldbauliche Eigenschaften (NAGEL 2018). Dazu gehören die Integration in strukturreiche Bestände auch mit Schattbaumarten wie Rotbuche, Hainbuche und Winterlinde, die Möglichkeit der natürlichen Verjüngung und des Voranbaus unter Lichtbaumarten sowie Kultursicherheit aus Pflanzung und Saat mit einem raschen Jugendwachstum. Die Roteiche wird als nicht invasiv eingestuft. Aus ineffektiven Vektoren, der fehlenden vegetativen Vermehrung durch Wurzelbrut und einer hohen Verbisspräferenz resultiert ein vergleichsweise geringes Potenzial natürlicher Fernverbreitung. Außerdem lässt die Konkurrenzkraft gegenüber heimischen Schattbaumarten in höherem Alter nach. Negative Auswirkungen auf den Standort waren bisher nicht nachweisbar. Eine ökologische Integration wird vor allem durch die Besiedlung des Totholzes mit zahlreichen Pilzen erzielt, die am Anfang von Nahrungsketten stehen und geeignete Strukturen für zahlreiche heimische Lebensgemeinschaften schaffen. Punktuelle Konflikte mit naturschutzfachlichen Zielen in lichten und warmen Sonderbiotopen, die vor allem aus einer beschattenden Wirkung resultieren, lassen

sich durch die einfache Beseitigung von Verjüngungspflanzen und die Berücksichtigung potenzieller Ausbreitungsentfernungen beim Anbau lösen.

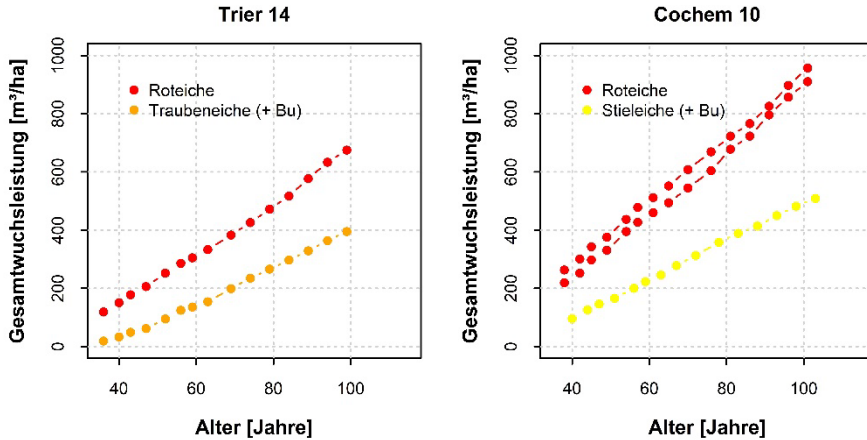


Abbildung 61: Gesamtwuchsleistung von Roteiche und gleichalter Trauben- bzw. Stieleiche bei gleicher waldbaulicher Behandlung auf einem mäßig frischen, basenarmen Standort (links) und einem frischen, ziemlich gut nährstoffversorgten Standort (rechts)

11.3.4 Japanlärche

(*Larix kaempferi* (LAMB.) CARRIÈRE)

Die Anbauwürdigkeit der Japanlärche ist in Sachsen-Anhalt aufgrund ihrer Resistenz gegen den Lärchenkrebs auf einem sehr eingeschränkten Standortspektrum in den verbleibenden auch künftig noch kühl-feuchteren Lagen des Harzes gegeben. Sie ist in ihren Ansprüchen an den Bodennährstoffhaushalt genügsam, biotisch und abiotisch relativ wenig gefährdet und bei Beachtung ihrer lichtökologischen Ansprüche und ihres Wachstumsganges leicht in waldbauliche Entwicklungskonzepte zu integrieren. In Mischung mit einheimischen Baumarten entstehen strukturreiche Wälder, die einen vielfältigen Lebensraum bieten und dazu beitragen, die ungünstigen Humuseigenschaften auszugleichen. Als Reinbestand kann die schlecht abbaubare Streu zur Rohhumusbildung und Versauerung beitragen. Ihre Ansprüche an eine ausreichende Wasserversorgung schließen bei fortschreitenden Klimaänderungen eine Ausweitung des Japanlärchenanbaus weitgehend aus. Frosthärte und rasantes Jugendwachstum machen sie aber zu einer guten Vorwaldbaumart bei der Etablierung stärker frost- und strahlungsgefährdeter Baumarten auf nährstoffschwächeren Standorten. Die Japanlärche ist nicht invasiv und ein begrenztes Ausbreitungspotenzial sowie die mittelfristig geringe Konkurrenzkraft gegenüber einheimischen Baumarten ermöglichen eine leichte waldbauliche Kontrolle (SCHMIEDINGER et al. 2009).

11.4 Der Blick nach vorn: Neue Baumarten unter der Lupe

Der Klimawandel lässt für Nordwestdeutschland einen deutlichen Temperaturanstieg bei veränderter saisonaler Niederschlagsverteilung erwarten. Neben trockeneren und wärmeren Sommern und milderem Winter ist mit verlängerten Vegetationsperioden und mit häufigeren und stärkeren Dürren, Extremniederschlägen und Stürmen zu rechnen. Ausmaß und Geschwindigkeit des Klimawandels werden die Anpassungsfähigkeit wichtiger heimischer Baumarten vielerorts überschreiten (LÜPKE 2009) und Waldökosystemgrenzen verschieben. Erhöhte Verdunstungsansprüche führen vermehrt zu Trockenstress, der physiologische Prozesse einschränkt oder die Pflanzenstruktur direkt schädigt (VAN HEERDEN u. YANAI 1995). Die Folgen sind Zuwachsverluste und erhöhte Mortalität.

Angesichts dieser projizierten Entwicklungen und vor dem Hintergrund der katastrophalen Auswirkungen der vergangenen Extremjahre wird von der forstlichen Praxis die schnelle Erweiterung der Empfehlungen für alternative Baumarten gefordert, was auch den wissenschaftlichen Diskurs über die Einführung neuer alternativer Baumarten intensiviert hat (BRANG et al. 2016, FRISCHBIER et al. 2019, DE AVILA et al. 2021, LIESEBACH et al. 2021, SCHROEDER et al. 2021). Nachdem in der Vergangenheit wie beschrieben der Schwerpunkt bei nordamerikanischen Baumarten lag, rücken nach dem Ansatz der Klimaanalogie über Artverbreitungsmodelle jetzt vor allem südeuropäische und vorderasiatische Nadel- und Laubbaumarten in den Fokus. Ihr geografischer Ursprung verspricht am ehesten die Anpassung an erwartete mildere Winter und trocken-heiße Sommer. Umfassende Anbauversuche dieser Baumarten waren bis vor kurzem für Nord- und Ostdeutschland nicht verfügbar. Eine allererste Orientierung können deshalb bislang nur umfangreiche Literaturrecherchen bieten (vgl. DE AVILA et al. 2021, LWF 2019, 2020). Dies birgt größere Unsicherheiten, da die Informationen zu vielen Baumarten unvollständig sind, insbesondere im Hinblick auf Anbauerfahrungen außerhalb des natürlichen Verbreitungsgebietes, und eine Übertragbarkeit auf die hiesigen Verhältnisse deshalb nicht einfach vorausgesetzt werden kann. Daraus erwachsende Risiken gilt es zwingend zu vermeiden, denn mit dem Anbau eingeführter Baumarten verbindet sich eine hohe Verantwortung. Sie schließt im Rahmen einer nachhaltigen, multifunktionalen Forstwirtschaft das Teilziel „Naturschutz im Wald“ mit ein und leitet sich aus der Verpflichtung ab, die „Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes und die Nutzungsfähigkeit der Naturgüter nachhaltig zu sichern und die Pflanzen- und Tierwelt sowie die Vielfalt, Eigenart und Schönheit von Natur und Landschaft zu schützen (§ 1 BNatSchG)“. (VOR et al. 2015, RIGLING et al. 2016, GOSSNER et al. 2016). Die Auswirkungen eingeführter Baumarten auf Lebensgemeinschaften, Standorte und natürliche Prozesse können sehr vielfältig sein und sind bisher für viele der „neuen“ fremdländischen Alternativbaumarten kaum erforscht. Schadorganismen, sowohl Pilze als auch Insekten, werden häufig bereits mit dem Saatgut importiert (FRANIĆ et al. 2019). Jüngste Erfahrungen mit eingeschleppten Krank-

heiten und Schädlingen (z. B. das Eschentriebsterben oder der Asiatische Laubholzböckkäfer (*Anoplophora glabripennis*)) geben den Hinweis, dass auch heimische und gut angepasste Baumarten davon plötzlich existenziell bedroht sein können.

Ein Blick auf die weit zurückreichenden Anbauerfahrungen mit Douglasie und Roteiche zeigt, welch langer Weg bei neuen Alternativbaumarten zurückzulegen ist, um einen entsprechenden Wissensstand über systematisch angelegte Versuchsflächen zu erlangen. Um dennoch möglichst schnell durch eigene Untersuchungen belastbare erste Empfehlungen geben zu können, arbeiten laufende Forschungsprojekte der NW-FVA an einer schnelleren Schließung der größten Wissenslücken. Die Vorauswahl dabei näher zu untersuchender Kandidaten erfolgte nach einer bundesländerübergreifenden Abstimmung (vgl. LIESEBACH et al. 2021), anhand von Literaturrecherchen sowie orientiert am vorrangigen Bedarf an Alternativen hinsichtlich standörtlicher und waldbaulicher Einsatzbereiche. Im Ergebnis dessen konzentrieren sich die derzeitigen Forschungen auf Arten aus dem Mittelmeerraum, Vorderasien und dem Kaukasusgebiet: Esskastanie, Orient-Buche, Baumhasel, Walnuss, Türkische Tanne, Troja- und Nordmantanne, Atlas- und Libanonzeder. Gleichrangig mit einbezogen werden bisher seltene heimische Baumarten besonderer Standorte wie Winter- und Sommerlinde, Elsbeere, Spitzahorn, Speierling und die anderen *Sorbus*-Arten, Eibe, Feldahorn, Hainbuche und Vogelkirsche, die in der Vergangenheit weniger beachtet und erforscht wurden. Ein Vorteil ist, dass von der Ausweitung ihrer Flächenanteile keine ökologischen Risiken zu erwarten sind. Im Hinblick auf die Holznutzung sind unter ihnen jedoch keine Nadelbaumarten, die für wichtige Bauholzverwendung geeignet sind, abgesehen von der Weißtanne, die bisher aber nur als mäßig trocken tolerant gilt.

Eine zügige Bereitstellung von Entscheidungshilfen, die auf eigenen Untersuchungen mit vertretbarer wissenschaftlicher Belastbarkeit basieren, soll durch ein mehrstufiges Vorgehen ermöglicht werden.

Durch die Eigeninitiative früherer und heutiger Forstleute, in jüngerer Zeit insbesondere im Zusammenhang mit der Wiederbewaldung bereits entstandener Schadflächen, sind neben den wenigen wissenschaftlichen Anbauten fremdländischer Baumarten in der Praxis immer wieder Flächen mit bisher wenig erforschten Baumarten bepflanzt worden. Diese in den Wäldern vorhandenen etablierten Anbauten (s. Abb. 62) besitzen, trotz fehlenden wissenschaftlichen Anspruchs bei ihrer Anlage, dennoch eine gewisse Aussagekraft zum Wachstum und der Standortanpassung der betreffenden Arten. Dies gilt insbesondere, wenn mehrere Flächen einer Art auf verschiedenen Standorten und von jungen bis in höhere Alter gemeinsam betrachtet und ausgewertet werden können.



Abbildung 62: Alternativbaumarten in etablierten Praxisanbauten; links: mehrjährige Esskastanienkultur nach Zurücksterben mit vieltriebigen Stockausschlägen; rechts: Nordmanntanne zeigt u. a. in durchgewachsenen Weihnachtsbaumkulturen hohe Wuchsleistungen (Fotos: S. Lieven)

In einer ersten Untersuchungsphase werden solche etablierten Praxisanbauten der zu untersuchenden Zielarten durch vorhandene Unterlagen, z. B. Forsteinrichtungsdaten und systematische Abfragen bei den Forstbetrieben, aufgefunden gemacht und in einer Datenbank erfasst. Eine erste Sichtung vorhandener Bestände seltener Baumarten ergab für Sachsen-Anhalt ein beachtliches Potenzial an Vorkommen seltener Baumarten mit mindestens 0,1 ha Flächengröße und ausreichender Bestandesdichte (s. Tab. 31) von ca. 800 Beständen. Diese sollen im Rahmen eines demnächst startenden Forschungsprojektes gesichtet und inventarisiert werden sollen.

Tabelle 31: *Flächenpotenzial seltener heimischer und eingeführter Baumarten mit erwartetem Anpassungspotenzial an die klimatischen Veränderungen in den Wäldern Sachsen-Anhalts (Datenspeicher Wald, Stand 2021)*

Baumarten		Anzahl Bestände	
Laubbaumarten	Linde / Winterlinde	112	
	Sommerlinde	10	
	Vogelkirsche	52	
	Hainbuche	46	
	Spitzahorn	58	
	heimisch	Feldahorn	48
	Flatterulme	46	
	Eberesche	53	
	Elsbeere	17	
	Speierling	6	
	Echte Mehlbeere	5	
	Archäophyten	Esskastanie	29
		Nussbaum / Walnuss	7
	Südeuropa / Vorderasien	Baumhasel	50
Zerreiche		9	
Nordamerika	Robinie	54	
	Schwarznuß	17	
	Hickory	14	
Nadelbaumarten	heimisch	Weißtanne	40
		Eibe	12
	Südeuropa / Vorderasien	Schwarzkiefer	51
		Nordmantanne	28
	Nordamerika	Lebensbaum	25
Hemlocktanne		14	

Inbesondere seltenere heimische Laubbaumarten sind in dem Flächenpotenzial so zahlreich vertreten, dass verschiedene Standorte und Baumalter voraussichtlich gut abgedeckt werden können. Bei etlichen Baumarten mit einem Ursprung in Südeuropa und Kleinasien sind dagegen bisher nur sehr wenige etablierte Bestände vorhanden.

In einer ersten Untersuchungsphase werden die identifizierten Potenzialflächen bereist und ihre ökologischen Eigenschaften und Merkmale der Vitalität anhand ordinalskalierteter Kriterien bewertet.

Im zweiten Schritt und nach Vorauswertung der ersten Untersuchungsphase werden für eine repräsentative Auswahl der Bestände auch Daten zum Wachstum gemessen, wobei das Wachstum ebenfalls ein Ausdruck der Vitalität ist. Zu beachten ist, dass ein Vorgehen, welches sich nur auf die etablierten Praxisanbauten beschränkt, hinsichtlich der abschließenden Beurteilung der Anbauwürdigkeit unvollständig bleibt, da Misserfolge, insbesondere nicht dokumentierte Totalausfälle, überhaupt nicht erfasst und in die Auswertung einbezogen werden können.

Daher wurden von der NW-FVA parallel zu den Untersuchungsvorhaben etablierter Praxisbestände zuletzt Anbauversuche mit Alternativbaumarten auf verschiedenen Standorten neu angelegt. Als Referenz enthalten diese Versuche auch die heimische Winterlinde und die bewährte Douglasie, um die Standortanpassung, Mortalität und Wuchsleistung zu der Untersuchungsbaumart besser einordnen zu können. Ein Problem besteht darin, dass wissenschaftliche Versuche als wesentliche Grundlage fundierter Anbauempfehlungen sich normalerweise über Zeiträume von mindestens mehreren Jahrzehnten erstrecken. Nur in einer solch langen Testphase lassen sich neben Wuchsleistungen auch die Auswirkungen, positive sowie negative, auf das heimische Ökosystem ausreichend überprüfen. Immerhin können die Versuche bereits nach wenigen Jahren Erkenntnisse zu geeigneten Pflanzensortimenten und Verfahren der Bestandesbegründung, artspezifischen Jugendgefahren und Überlebenswahrscheinlichkeiten sowie zum Jugendwachstum liefern. Bereits hier sind Überraschungen möglich. So zeigte ein Anbauversuch in der trocken-warmen Rhein-Main-Ebene die höchsten, v. a. durch Spätfröste bedingten Ausfälle von bis zu über 70 % an den mediterranen Eichenarten gegenüber sehr hohen Überlebensanteilen von Roteiche, Kiefer und Douglasie. Auch im Höhenwachstum blieben Stein-, Ungarische und Flaumeiche nach 11 Jahren sehr weit hinter Roteiche und Kiefer zurück (s. Abb. 63).

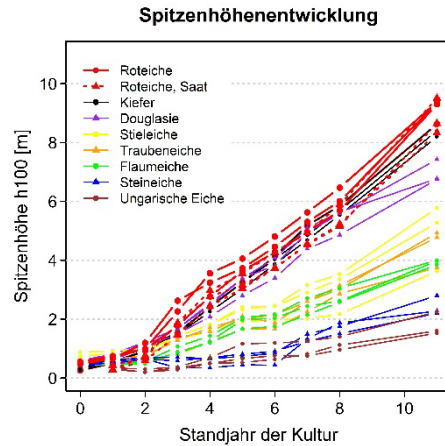


Abbildung 63: Anbauversuch mit mediterranen und heimischen Eichenarten sowie Roteiche, Kiefer und Douglasie im hessischen Forstamt Lambertheim; links: Der Versuch im Juli 2019 (Foto: R. Merten) und rechts: Höhenwachstum nach 11 Jahren

Erste Ergebnisse der Untersuchungen der der NW-FVA zu den neuen Alternativbaumarten, die neben Sachsen-Anhalt auch Hessen, Niedersachsen und im Rahmen eines Kooperationsprojektes zusätzlich Mecklenburg-Vorpommern einschließen, sind Ende 2023 zu erwarten. Darauf aufbauend sollen mit den aussichtsreichsten vorausgewählten Kandidaten, von denen gleichzeitig geringe ökologische Risiken erwartet werden, umfangreichere wissenschaftlich begleitete Praxisanbauversuche gestartet werden sowie die Aufnahme bestimmter Baumarten als Begleitbaumarten in passende Bestandeszieltypen erfolgen. Die Projektergebnisse werden der Praxis in Form von handlungsorientierten Entscheidungshilfen zur Verfügung gestellt. Diese soll neben einer fundierten Abschätzung von Potenzialen und Risiken auch eine möglichst genaue Eingrenzung des standörtlichen Einsatzbereiches klimaangepasster Baumarten in Mischung mit heimischen Baumarten enthalten. Da von einer kurzfristigen Beantwortung aller Fragen nicht auszugehen ist, wird sich die Erweiterung der Baumartenpalette als ein dynamischer Prozess darstellen. Die Bewertung der Baumarten wird dabei laufend den fortschreitenden Erkenntnissen anzupassen sein. Keinesfalls können neue Alternativbaumarten allein die Probleme der Folgen des Klimawandels für Wälder und Forstbetriebe kurz- bis mittelfristig lösen. Vielmehr bleiben sie ein einzelner Baustein bei der gebotenen Ausschöpfung aller Anpassungsmaßnahmen.

Literatur

- AG FORSTEINRICHTUNG (Hrsg.) (2016): Forstliche Standortsaufnahme – Begriffe, Definitionen, Einteilungen, Kennzeichnungen, Erläuterungen. 7. Aufl. IHW-Verlag, 400 S.
- AHREND, B.; HAFNER, S.; EVERS, J.; STEINICKE, C.; SCHMIDT, W.; MEESENBERG, H. (2016): Regionalisierung bodenphysikalischer Parameter für Waldstandorte in Sachsen-Anhalt - Unsicherheitsbetrachtung an Standorten verschiedener Umweltmessnetze. In: NORDWESTDEUTSCHE FORSTLICHE VERSUCHSANSTALT (Hrsg.): Gefährdungen der Ökosystemdienstleistungen von Wäldern. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 14: 2–13
- ALBERT, M.; NAGEL, R.-V.; NUSKE, R. S.; SUTMÖLLER, J.; SPELLMANN, H. (2017): Tree species selection in the face of drought risk – uncertainty in forest planning. *Forests* 8(10): 363. <https://doi.org/10.3390/f8100363>
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. (1998): Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 327 S.
- ALTENKIRCH, W. (1991): Zyklische Fluktuationen beim Kleinen Frostspanner (*Operophtera brumata* L.). *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 162: 2–7
- ALTENKIRCH, W.; MAJUNKE, C.; OHNESORGE, B. (2002): Waldschutz auf ökologischer Grundlage. Verlag Eugen Ulmer, 434 S.
- APPLE (2022): Swift (Version 5.6.1). Apple Inc.: <https://www.swift.org>
- BARTSCH, N.; LÜPKE, B. VON; RÖHRIG, E. (2020): Waldbau auf ökologischer Grundlage. 8. vollst. überarb. u. erw. Aufl. utb GmbH, 676 S.
- BLANK, R. (1997): Ringporigkeit des Holzes und häufige Entlaubung durch Insekten als spezifische Risikofaktoren der Eiche. *Forst und Holz* 52: 235–242
- BLOCK, J.; DELB, H.; HARTMANN, G.; SEEMANN, D.; SCHRÖCK, H. W. (1995): Schwere Folgeschäden nach Kahlfraß durch Schwammspinner (*Lymantria dispar*) im Bienwald. *AFZ* 50: 1278–1281
- BMEL (Hrsg.) (2016): Ergebnisse der Bundeswaldinventur 2012. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), 280 S.
- 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.; SUTMÖLLER, J.; WOLLBORN, P. (2019): Klimaangepasste Baumartenwahl in den Niedersächsischen Landesforsten. Aus dem Walde – Schriftenreihe Waldentwicklung in Niedersachsen, Band 61, 170 S.
- BRANG, P.; PLUESS, A. R.; BÜRGI, A.; BORN, J. (2016): Potenzial von Gastbaumarten bei der Anpassung an den Klimawandel. In: PLUESS, A. R.; AUGUSTIN, S.; BRANG, P. (Hrsg.): Wald im Klimawandel – Grundlagen für Adaptationsstrategien: 385–405
- BURSCHEL, P.; HUSS, J. (1997): Grundriss des Waldbaus – ein Leitfaden für Studium und Praxis. Parey, 487 S.
- BURZYNSKI, J. (1969): The increase in bird numbers on areas of the application of complex-centre method of the biological forest protection. *Sylwan* 113: 59–64
- CH2018 (Hrsg.) (2018): CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland – Technical Report. National Centre for Climate Services, 271 S.
- DALELANE, C.; FRÜH, B.; STEGER, C.; WALTER, A. (2018): A pragmatic approach to build a reduced regional climate projection ensemble for Germany using the EURO-CORDEX 8.5 ensemble. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 57(3): 477–491. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-17-0141.1>

- DANCKELMANN, B. (1884): Anbauversuche mit ausländischen Holzarten in den Preußischen Staatsforsten. *Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen* 16: 289–315, 345–371
- DE AVILA, A. L.; HÄRING, B.; RHEINBAY, B.; BRÜCHERT, F.; HIRSCH, M.; ALBRECHT, A. (2021): Artensteckbriefe 2.0 – Alternative Baumarten im Klimawandel. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA), 248 S.
- DEHNER, U.; RENGER, M.; BRÄUNIG, A.; LAMPARTER, A.; BAURIEGEL, A.; BURBAUM, B.; HARTMANN, K.-J.; HENNING, V.; IDLER, F.; KRONE, F.; MARTIN, W.; MEYER, K.; WALDMANN, F. (2015): Neue Kennwerte für die Wasserbindung in Böden – Ergebnisse der Abstimmung zwischen dem Personenkreis Wasserhaushaltstabellen der Ad-hoc-AG Boden und dem DWA. In: Jahrestagung der DBG 2015 – Unsere Böden - Unser Leben. Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft (DBG), München
- DONÁZAR, J. A.; CORTÉS-AVIZANDA, A.; FARGALLO, J. A.; MARGALIDA, A.; MOLEÓN, M.; MORALES-REYES, Z.; MORENO-ORO, R.; PÉREZ-GARCÍA, J. M.; SÁNCHEZ-ZAPATA, J. A.; ZUBEROGOITIA, I.; SERRANO, D. (2016): Roles of raptors in a changing world: from flagships to providers of key ecosystem services. *Ardeola* 63(1): 181–234. <https://doi.org/10.13157/arla.63.1.2016.rp8>
- DVFFA (Hrsg.) (2019): Anpassung der Wälder an den Klimawandel. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten (DVFFA), 7 S.
- ESCHERICH, K. (1921): Die Forstinsekten Mitteleuropas. Band 2. Paul Parey, 633 S.
- EVERS, J.; DAMMANN, I.; PAAR, U.; SCHMIDT, W.; AHREND, B.; SCHELER, B.; KÖNIG, N.; SCHÖNFELDER, E.; SCHMIDT, M.; HAFNER, A.; EICHHORN, J. (2022): Waldbodenzustandsbericht für Sachsen-Anhalt – Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II). Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 20. Universitätsdrucke Göttingen, 450 S. <https://doi.org/10.17875/gup2022-2005>
- EYRING, V.; BONY, S.; MEEHL, G. A.; SENIOR, C. A.; STEVENS, B.; STOUFFER, R. J.; TAYLOR, K. E. (2016): Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development* 9(5): 1937–1958. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>
- FEIGENWINTER, I.; KOILARSKI, S.; CASANUEVA, A.; SCHWIERZ, C.; LINIGER, M. (2018): Exploring quantile mapping as a tool to produce user-tailored climate scenarios for Switzerland. Technical Report MeteoSwiss 270. Federal Office of Meteorology and Climatology MeteoSwiss, 44 S.
- FISCHER, H. S.; MICHLER, B.; FISCHER, A. (2019): High resolution predictive modelling of potential natural vegetation under recent site conditions and future climate scenarios: Case study Bavaria. *Tuexenia* 39: 9–40. <https://doi.org/10.14471/2018.39.001>
- FRANIĆ, I.; PROSPERO, S.; HARTMANN, M.; ALLAN, E.; AUGER ROZENBERG, M.; GRÜNWARD, N. J.; KENIS, M.; ROQUES, A.; SCHNEIDER, S.; SNIETKO, R.; WILLIAMS, W.; ESCHEN, R. (2019): Are traded forest tree seeds a potential source of nonnative pests? *Ecological Applications* 29(7). <https://doi.org/10.1002/eap.1971>
- FRISCHBIER, N.; NIKOLOVA, P. S.; BRANG, P.; KLUMPP, R.; AAS, G.; BINDER, F. (2019): Climate change adaptation with non-native tree species in Central European forests: early tree survival in a multi-site field trial. *European Journal of Forest Research* 138(6): 1015–1032. <https://doi.org/10.1007/s10342-019-01222-1>
- FUELLING, O.; WALTHER, B.; NENTWIG, W.; AIROLDI, J.-P. (2010): Barriers, traps and predators – an integrated approach to avoid vole damage. *Proceedings of the Vertebrate Pest Conference* 24(24). <https://doi.org/10.5070/V424110631>
- FÜRST, C.; PIETZSCH, K.; MAKESCHIN, F. (2009): ENFORCHANGE – Wälder von heute für die Umwelt von morgen. *Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz* 8: 5–7
- GLAUCHE, M. (1991): Bedeutung neophytischer Gehölze für den Artenreichtum städtischer und siedlungsnaher Biozöosen. *Berliner Naturschutzblätter* 35: 5–15
- GÖHRE, K.; WAGENKNECHT, E. (1955): Die Roteiche und ihr Holz. Deutscher Bauernverlag, 300 S.

- GOSSNER, M. M.; WENDE, B.; LEVICK, S.; SCHALL, P.; FLOREN, A.; LINSENMAIR, K. E.; STEFFAN-DEWENTER, I.; SCHULZE, E.-D.; WEISSER, W. W. (2016): Deadwood enrichment in European forests – Which tree species should be used to promote saproxylic beetle diversity? *Biological Conservation* 201: 92–102. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.06.032>
- GRÄBER, J.; ZIESCHE, T.; MÖLLER, K.; KÄTZEL, R. (2012): Gradationsverlauf der Kieferschadinsekten im Norddeutschen Tiefland. *AFZ/Der Wald* 9: 35–38
- GRIER, C. G.; RUNNING, S. W. (1977): Leaf area of mature northwestern coniferous forests: relation to site water balance. *Ecology* 58(4): 893–899. <https://doi.org/10.2307/1936225>
- HABERMANN, M. (1995): Zur Massenvermehrung der Nonne (*Lymantria monacha* L.) in Kiefernbeständen des nordöstlichen Niedersachsens. *Forst und Holz* 50: 558–564
- HABERMANN, M. (1996): Zur Bekämpfungsentscheidung bei Nonnenbefall (*Lymantria monacha* L.) in Kiefernbeständen (*Pinus sylvestris* L.) des Niedersächsischen Flachlandes. In: WULF, A.; KEHR, R. (Hrsg.): Massenvermehrungen von Forstschmetterlingen. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft: 137–144
- HAMKENS, H.; SPELLMANN, H.; NAGEL, R.-V.; BURESCH, M. (2020): Entscheidungshilfen zur klimaangepassten Baumartenwahl im Land Sachsen-Anhalt. Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie des Landes Sachsen-Anhalt; Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, 69 S.
- HANSEN, J. (2020): Baumartenempfehlungen Hessen – NW-FVA. <https://www.nw-fva.de/unterstuetzen/software/baem/hessen> (Zugriff am 07.11.2022)
- HANSEN, J. (2021): Klimaangepasste BaumartenEmpfehlungen (Version 1.0.3). Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt: <https://www.nw-fva.de/veroeffentlichen/software/#c894>
- HARTMANN, G. (1996): Ursachenanalyse des „Eichensterbens“ in Deutschland – Versuch einer Synthese bisheriger Befunde. In: WULF, A.; KEHR, R. (Hrsg.): Eichensterben in Deutschland – Situation, Ursachenforschung und Bewertung. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft: 125–151
- HAYNES, K. J.; ALLSTADT, A. J.; KLIMETZEK, D. (2014): Forest defoliator outbreaks under climate change: effects on the frequency and severity of outbreaks of five pine insect pests. *Global Change Biology* 20(6): 2004–2018. <https://doi.org/10.1111/gcb.12506>
- HENTSCHEL, R.; MÖLLER, K.; WENNING, A.; DEGENHARDT, A.; SCHRÖDER, J. (2018): Importance of ecological variables in explaining population dynamics of three important pine pest insects. *Frontiers in Plant Science* 9
- HEYDECK, P.; MAJUNKE, C. (2002): Gefährdung ausgewählter ausländischer Baumarten durch biotische und abiotische Schadeinwirkungen. In: LANDESFORSTANSTALT EBERSWALDE (Hrsg.): Ausländische Baumarten in Brandenburgs Wäldern: 172–180
- HEYDEMANN, B. (1981): Die Bedeutung von Tier- und Pflanzenarten in Ökosystemen, ihre Gefährdung und ihr Schutz. *Jahrbuch für Naturschutz und Landschaftspflege* 30: 15–83
- HOFFMANN, K. (1955): Erfahrungen bei der Anlage von Samenplantagen. *Forst und Jagd* 5: 185–192
- HOFFMANN, K. (1959): Ertragssteigerung des Waldes durch die Anlage von Samenplantagen. *Forst und Jagd Sonderheft Forstliche Samenplantagen*: 3–6
- HÜBENER, H.; BÜLOW, K.; FOOKEN, C.; FRÜH, B.; HOFFMANN, P.; HÖPP, S.; KEULER, K.; MENZ, C.; MOHR, V.; RADTKE, K.; RAMTHUN, H.; SPEKAT, A.; STEGER, C.; TOUSSAINT, F.; WARRACH-SAGI, K.; WOLDT, M. (2017): ReKliEs-De Ergebnisbericht, 76 S. https://doi.org/10.2312/WDCC/ReKliEsDe_Ergebnisbericht
- IMHOLT, C.; REIL, D.; PLAŠIL, P.; RÖDIGER, K.; JACOB, J. (2017): Long-term population patterns of rodents and associated damage in German forestry. *Pest Management Science* 73(2): 332–340. <https://doi.org/10.1002/ps.4325>
- IPCC (Hrsg.) (2013): *Climate Change 2013: The Physical Science Basis – Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 1535 S. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>

- IPCC (Hrsg.) (2021): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2391 S. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- JACOB, D.; PETERSEN, J.; EGGERT, B.; ALIAS, A.; CHRISTENSEN, O. B.; BOUWER, L. M.; BRAUN, A.; COLETTE, A.; DÉQUÉ, M.; GEORGIEVSKI, G.; GEORGOPOULOU, E.; GOBIET, A.; MENUT, L.; NIKULIN, G.; HAENSLER, A.; HEMPELMANN, N.; JONES, C.; KEULER, K.; KOVACS, S.; KRÖNER, N.; KOTLARSKI, S.; KRIEGSMANN, A.; MARTIN, E.; VAN MEIJGAARD, E.; MOSELEY, C.; PFEIFER, S.; PREUSCHMANN, S.; RADERMACHER, C.; RADTKE, K.; RECHID, D.; ROUNSEVELL, M.; SAMUELSSON, P.; SOMOT, S.; SOUSSANA, J.-F.; TEICHMANN, C.; VALENTINI, R.; VAUTARD, R.; WEBER, B.; YIOU, P. (2014): EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change* 14(2): 563–578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
- JUNGCLAUS, J. H.; LORENZ, S. J.; TIMMRECK, C.; REICK, C. H.; BROVKIN, V.; SIX, K.; SEGSCHEIDER, 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. *Climate of the Past* 6(5): 723–737. <https://doi.org/10.5194/cp-6-723-2010>
- KADAMBI, K. (1932): Physiologische und experimentelle Untersuchungen über die Wirkung des Eulenfraßes auf die Gesundheit der Kiefer (*Pinus sylvestris*) sowie die Möglichkeit der Erholung der Bestände. Dissertation, Universität München
- KANZOW, H. (1937): Die Douglasie. *Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen* 69: 65–93, 113–139, 242–271
- KÄTZEL, R.; KRAMER, W.; TRÖBER, U. (2007): Erfassung und Dokumentation genetischer Ressourcen der Schwarz-Pappel und der Ulmenarten in Deutschland – Teillos 1: „Erfassung und Dokumentation genetischer Ressourcen der Schwarz-Pappel (*Populus nigra*) in Deutschland“. Landesforstanstalt Eberswalde, 112 S.
- KLAEHN, F. U. (1953): Über die Methodik der Anlage von Samenplantagen. *Allgemein Forstzeitschrift* 8: 291–294
- KOEHLER, W. (1968): About a assumption of the complex-centre biological method of forest protection. *Sylvan* 7: 43–51
- KOPP, D.; SCHWANECKE, W. (1994): Standortlich-naturräumliche Grundlagen ökologiegerechter Forstwirtschaft – Grundzüge von Verfahren und Ergebnissen der forstlichen Standortserkundung in den fünf ostdeutschen Bundesländern. Dt. Landwirtschaftsverlag, 248 S.
- KORCZYNSKI, I. (2001): Effects of forest plots with different tree and shrub species on the number of Carabidae (Coleoptera) in pine (*Pinus sylvestris* L.) stands. *Forest Sci Pap Agric Univ Poznan* 4: 87–93
- KROPP, J.; ROITHMEIER, O.; HÄTTERMANN, F.; RACHIMOW, C.; LÜTTGER, A.; WECHUNG, F.; LASCH, P.; CHRISTIANSEN, E.; REYER, C.; SUCKOW, F.; GUTSCH, M.; HOLSTEN, A.; KARTSCHALL, T.; WODISNKI, M.; HAUF, Y.; CONRADT, T.; ÖSTERLE, H.; WALTHER, C.; LISSNER, T.; LUX, N.; TEKKEN, V.; RITSCHIE, S.; KOSSAK, J.; KLAUS, M.; VETTER, L. C. L. T.; KLOSE, M. (2009): Klimawandel in Sachsen-Anhalt – Verletzlichkeiten gegenüber den Folgen des Klimawandels. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, 183 S.
- KRUEL, W. (1951): Das Schadauftreten der Nonne im ostdeutschen Kiefernggebiet 1947–50. In: *Verhandlungen der Deutschen Gesellschaft für angewandte Entomologie*: 157–171
- KRÜGER, F. (1996): Steckhölzer für die Abundanz- und Schadprognose oberirdisch fressender Kurzschwanzmäuse (Microtinae), eine Alternative zum Fallenfang. *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz* 69(6): 130–135
- LABUSCHAGNE, L.; SWANEPOEL, L. H.; TAYLOR, P. J.; BELMAIN, S. R.; KEITH, M. (2016): Are avian predators effective biological control agents for rodent pest management in agricultural systems? *Biological Control* 101: 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.07.003>

- LAGB (2020): Vorläufige Bodenkarte von Sachsen-Anhalt (VBK50). Maßstab 1:50000. Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB). <https://gdk.gdi-de.org/geonetwork/srv/api/records/841cc2f3-5c07-4f19-a4e8-002e51ab6a39>
- LANG, J. (2014): Die Katze lässt das Mäusen nicht – Aktuelle Ergebnisse einer Nahrungsanalyse an Europäischen Wildkatzen aus dem Zentrum ihrer Verbreitung. In: ARBEITSKREIS WILDBIOLOGIE AN DER JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIEßEN (Hrsg.): FELIS-Symposium – Der aktuelle Stand der Wildkatzenforschung in Deutschland. Schriften des Arbeitskreis Wildbiologie an der Justus-Liebig-Universität Gießen e.V., Band 26: 119–127
- LEMBCKE, G. (1973): Der gegenwärtige Stand des unter Schwappach begründeten Freienwalder Anbauversuchs mit ausländischen Baumarten. Beiträge für die Forstwirtschaft 7: 24–37
- LEX, P. (1996): Bekämpfung von Waldbränden, Moorbränden, Heidebränden. 4. Auflage. Die Roten Hefte 26. Kohlhammer, 164 S.
- LIESEBACH, M.; WOLF, H.; BEEZ, J.; DEGEN, B.; ERLEY, M.; HAVERKAMP, M.; JANßen, A.; KÄTZEL, R.; KAHLERT, K.; KLEINSCHMIT, J.; PAUL, M.; VOTH, W. (2021): Identifizierung von für Deutschland relevanten Baumarten im Klimawandel und länderübergreifendes Konzept zur Anlage von Vergleichsanbauten – Empfehlungen der Bund-Länder-Arbeitsgruppe „Forstliche Genressourcen und Forstsaatgutrecht“ zu den Arbeitsaufträgen der Waldbaureferenten. Thünen Working Paper 172. Johann Heinrich von Thünen-Institut, 51 S. <https://doi.org/10.3220/WP1617712541000>
- LINDGREN, D. (2014): Seed Orchards and Aspects on Supporting Tree Breeding. In: FENNING, T. (Hrsg.): Challenges and Opportunities for the World's Forests in the 21st Century. Forestry Sciences: 481–487. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7076-8_20
- LOCKOW, K.-W. (2002): Ergebnisse der Anbauversuche mit amerikanischen und japanischen Baumarten. In: LANDESFORSTANSTALT EBERSWALDE; MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELTSCHUTZ UND RAUMORDNUNG DES LANDES BRANDENBURG (Hrsg.): Ausländische Baumarten in Brandenburgs Wäldern: 41–101
- LÜPKE, B. VON (2004): Risikominderung durch Mischwälder und naturnaher Waldbau: Ein Spannungsfeld. Forstarchiv 75: 43–50
- LÜPKE, B. VON (2009): Überlegungen zu Baumartenwahl und Verjüngungsverfahren bei fortschreitender Klimaänderung in Deutschland. Forstarchiv 80: 67–75
- LWF (Hrsg.) (2019): Klima-Boden-Baumartenwahl. Praxishilfe, Band 1. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), 109 S.
- LWF (Hrsg.) (2020): Klima-Boden-Baumartenwahl. Praxishilfe, Band 2. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), 126 S.
- MAJUNKE, C.; MÖLLER, K.; FUNKE, M. (2000): Zur Massenvermehrung der Forleule in Brandenburg. Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie 34: 127–132
- MARINGER, J.; STELZER, A.-S.; PAUL, C.; ALBRECHT, A. T. (2021): Ninety-five years of observed disturbance-based tree mortality modeled with climate-sensitive accelerated failure time models. European Journal of Forest Research 140(1): 255–272. <https://doi.org/10.1007/s10342-020-01328-x>
- MEBS, TH. (1964): Zur Biologie und Populationsdynamik des Mäusebussards (*Buteo buteo*) (Unter besonderer Berücksichtigung der Abhängigkeit vom Massenwechsel der Feldmaus (*Microtus arvalis*). Journal für Ornithologie 105(3): 247–306. <https://doi.org/10.1007/BF01672243>
- MENZEL, A.; FABIAN, P. (1999): Growing season extended in Europe. Nature 397(6721): 659–659. <https://doi.org/10.1038/17709>
- MLU (Hrsg.) (2012): Waldbauempfehlungen für Sachsen-Anhalt – RdErl. des MLU vom 27.12.2011 - 42.2-64210/2. Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt (MLU)
- MULE (Hrsg.) (2020): Leitlinie Wald 2014 zur Erhaltung und weiteren nachhaltigen Entwicklung des Waldes im Land Sachsen-Anhalt. 2. Aufl. Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie (MULE), 29 S.
- MÜNCH, E. (1923): Anbauversuch mit Douglasfichten verschiedener Herkunft und anderen Holzarten. Mitteilung der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft 61: 61–79

- NAGEL, R.-V. (2018): Die Roteiche in Norddeutschland. Mitteilung 5/2018. Gesellschaft zur Förderung schnell- wachsender Baumarten in Norddeutschland, 16 S.
- NÄSSIG, W. A.; ZUB, P. (1994): Die Schwammspinnergradation 1991-1993 im Raum Frankfurt am Main: Erste Kommentare (Lepidoptera, Lymantriidae). Nachrichten des Entomologischen Vereins Apollo 14: 301–324
- NIEMEYER, H. (1997): Totalschaden durch Erdmäuse. Forst und Holz 52: 633–634
- NW-FVA (2014): Mäuse in forstlichen Verjüngungen. Praxisinformation der NW-FVA 10/2014. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), 7 S.
- NW-FVA; MWLF (Hrsg.) (2021): Waldzustandsbericht 2021 für Sachsen-Anhalt. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA); Ministerium für Wirtschaft, Tourismus, Landwirtschaft und Forsten des Landes Sachsen-Anhalt (MWLF) <https://doi.org/10.5281/ZENODO.5588321>
- NYSSSEN, B.; SCHMIDT, U. E.; MUYS, B.; VAN DER LEI, P. B.; PYTTEL, P. (2016): Überblick über die Geschichte eingeführter Baumarten in Europa. In: KRUMM, F.; VÍTKOVÁ, L. (Hrsg.): Eingeführte Baumarten in europäischen Wäldern: Chancen und Herausforderungen: 46–57
- 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 92(3): 209–223. <https://doi.org/10.1007/s00704-007-0352-y>
- OTTO, H. J. (1993): Fremdländische Baumarten in der Waldbauplanung. Forst und Holz 48: 454–456
- OTTO, H. J. (1994): Waldökologie. Eugen Ulmer Verlag, 383 S.
- OVERBECK, M.; SCHMIDT, M. (2012): Modelling infestation risk of Norway spruce by *Ips typographus* (L.) in the Lower Saxon Harz Mountains (Germany). Forest Ecology and Management 266: 115–125. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.11.011>
- OVERBECK, M.; SCHMIDT, M.; NAGEL, R.-V.; HANSEN, J. (2012): Modellbasierte Simulation waldbaulicher Anpassungsstrategien am Beispiel des niedersächsischen Harzes. AFJZ 183: 208–224
- PAAR, U.; GUCKLAND, A.; DAMMANN, I.; ALBRECHT, M.; EICHHORN, J. (2011): Häufigkeit und Intensität der Fruktifikation der Buche. AFZ/Der Wald 6: 26–29
- PAUL, M.; STEINER, W.; SCHLEICH, S.; LAU, M.; LEISTEN, D.; MOOS, M.; SCHMIDT, C. (2020): Samenplantagen und Mutterquartiere als Beitrag zur Biologischen Vielfalt. In: NORDWESTDEUTSCHE FORSTLICHE VERSUCHSANSTALT; MINISTERIUM FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND ENERGIE (Hrsg.): Waldzustandsbericht 2020 für Sachsen-Anhalt: 32–36
- PEBESMA, E. (2018): Simple Features for R: standardized support for spatial vector data. The R Journal 10(1): 439–446. <https://doi.org/10.32614/RJ-2018-009>
- PENSCHUCK, H. (1935): Die Anbauversuche mit ausländischen Holzarten unter Berücksichtigung ihrer Ertragsleistung. Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen 67: 113–137
- PETERS, G. P.; ANDREW, R. M.; BODEN, T.; CANADELL, J. G.; CIAIS, P.; LE QUÉRÉ, C.; MARLAND, G.; RAUPACH, M. R.; WILSON, C. (2013): The challenge to keep global warming below 2 °C. Nature Climate Change 3(1): 4–6. <https://doi.org/10.1038/nclimate1783>
- PETZOLD, R.; BURSE, K.; BENNING, R.; GEMBALLA, R. (2016): Die Lokalbodenform im System der forstlichen Standortserkundung im Mittelgebirge/Hügelland und deren bodenphysikalischer Informationsgehalt. Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz 16: 29–33
- PFEIL, W. (Hrsg.) (1841): Insektensachen. In: . Kritische Blätter für Forst- und Jagdwissenschaft, Band 15: 124–176
- R CORE TEAM (2021): R: A language and environment for statistical computing (Version 4.1.0). R Foundation for Statistical Computing: <https://www.R-project.org/>
- REINECKE, H. (1988): Entwicklungen zur integrierten Jungwuchspflege in Niedersachsen. Allgemeine Forstzeitschrift 43: 215–217
- REINECKE, H. (1993): Begleitwuchsregulierung – Hinweise zur Pflege von Jungwüchsen in der Forstwirtschaft. 2. Auflage

- RIEDEL, T.; HENNIG, P.; KROIHER, F.; POLLEY, H.; SCHMITZ, F.; SCHWITZGEBEL, F. (2017): Die dritte Bundeswaldinventur (BWI 2012) – Inventur- und Auswertemethoden. Johann Heinrich von Thünen-Institut, 124 S.
- RIEK, W.; RUSS, A.; MARX, M. (2021): Concentrations of inorganic and organic pollutants in forest soils as an archive of anthropogenic inputs in the state of Brandenburg, Germany. *Applied Sciences* 11(3): 1189. <https://doi.org/10.3390/app11031189>
- RIGLING, A.; GESSLER, A.; FEICHTINGER, L.; QUELOZ, V.; WOHLGEMUTH, T. (2016): Können Ökosystemleistungen in einer heißeren und trockeneren Zukunft durch eingeführte oder heimische Baumarten gewährleistet werden? In: KRUMM, F.; VÍTKOVÁ, L. (Hrsg.): *Eingeführte Baumarten in europäischen Wäldern*. European Forest Institute
- ROHMEDER, E. (1972): *Das Saatgut in der Forstwirtschaft*. Parey, 273 S.
- ROSVALL, O.; JANSSON, G.; ANDERSSON, B.; ERICSSON, T.; KARLSSON, B.; SONESSON, J.; STENER, L. G. (2001): Genetiska vinster i nuvarande och framtida fröplantager och klonblandningar. Redogörelse – Skogforsk. Skogforsk, 41 S.
- SAUER, J. (2021): *Klimaangepasste Baumartenwahl mobil (Version 1.23)*. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt. <https://www.nw-fva.de/veroeffentlichen/software/#c894>
- SCHAAP, M.; KRUTT, R. W.; HENDRIKS, C.; KRANENBURG, R.; SEGERS, A.; BUILTJES, P. (2015): Atmospheric deposition to German natural and semi-natural ecosystems during 2009. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUV)
- SCHINDLER, U. (1962): Forstlich wichtige Kleinsäuger – Merkmale und Feststellung ihrer Besatzdichte. *Forstschutz-Merkblätter der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt*, Band 12, 16 S.
- SCHMIDT, M. (2020): Standortssensitive und kalibrierbare Bonitätsfächer: Wachstumspotenziale wichtiger Baumarten unter Klimawandel. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* 190(3–4): 136–160. <https://doi.org/10.23765/afz0002043>
- 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. *Canadian Journal of Forest Research* 40(8): 1636–1652. <https://doi.org/10.1139/X10-099>
- SCHMIDT, M.; SCHICK, J.; ZEPPENFELD, T. (2021a): Wachstum von Eiche, Buche, Fichte und Kiefer im Klimawandel. In: NORDWESTDEUTSCHE FORSTLICHE VERSUCHSANSTALT; HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMASCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (Hrsg.): *Waldzustandsbericht 2021 für Hessen*: 34–37. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5569190>
- SCHMIDT, M.; SCHICK, J.; ZEPPENFELD, T. (2021b): Wachstum von Eiche, Buche, Fichte und Kiefer im Klimawandel. In: NORDWESTDEUTSCHE FORSTLICHE VERSUCHSANSTALT; MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, ENERGIE UND VERBRAUCHERSCHUTZ (Hrsg.): *Waldzustandsbericht 2021 für Niedersachsen*: 34–37. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5636098>
- SCHMIDT, W. (2006): Zeitliche Veränderung der Fruktifikation bei der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) in einem Kalkbuchenwald (1981–2004). *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* 177: 9–19
- SCHMIDT, W.; HAFNER, S. (2014): *Merkmalsspiegel zur Kennzeichnung der wichtigsten forstlichen Lokalbodenformen Sachsen-Anhalts (unveröffentlicht)*
- SCHMIDT, W.; STÜBER, V.; ULLRICH, T.; PAAR, U.; EVERS, J.; DAMMANN, K.; HÖVELMANN, T.; SCHMIDT, M. (2015): *Synopse der Hauptmerkmale der forstlichen Standortskartierung der Nordwestdeutschen Bundesländer*. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 12. Universitätsdrucke Göttingen, 136 S.
- SCHMIEDINGER, A.; BACHMANN, M.; KÖLLING, C.; SCHIRMER, R. (2009): Verfahren zur Auswahl von Baumarten für Anbauversuche vor dem Hintergrund des Klimawandels. *Forstarchiv* 80(1): 15–22. <https://doi.org/10.237603004112-80-15>
- SCHMITZ, K.-H. (1995): Systematische Mischung von Klonen in Samenplantagen. *Silvae Genetica* 44: 229–243
- SCHÖNBACH, H. (1952): Fragen der Forstpflanzenzüchtung, insbesondere Anlage von Saatzuchtplantagen. *Der Wald* 2: 342–360

- SCHÖNBACH, H. (1953): Fragen der Forstpflanzenzüchtung, insbesondere Anlage von Saatzuchtplantagen. *Der Wald* 3: 26–27
- SCHÖNTHALER, K.; VON ANDRIAN-WERBURG, S.; PIECK, S.; TRÖLTZSCH, J.; NICKEL, D.; LANGE, M.; LUKAT, E.; STEIN, U.; SUKOPP, U.; DRÖSCHMEISTER, R.; HEILAND, S.; RADTKE, L.; SCHLIEP, R.; BARTZ, R.; KOWARIK, I.; DZIOCK, F.; DZIOCK, S.; SCHÄFFLER, L.; SIEDENTOP, S.; FRIEDRICH, K. (2015): Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Umweltbundesamt, 285 S. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3008.7928>
- SCHRÖCK, O.; HOFFMANN, K. (1960): Die Anlage Forstlicher Samenplantagen als eine Gemeinschaftsarbeit von Wissenschaft und Praxis. *Forst und Jagd Sonderheft Forstliche Samenplantagen* 2: 1–8
- SCHROEDER, J.; PANKA, S.; DEGENHARDT, A. (2021): Exoten wieder im Fokus – Erkenntnisse zu seltenen und nichtheimischen Baumarten von langfristigen Versuchsflächen. In: MLUK; LFB (Hrsg.): *Wissenstransfer in die Praxis: Tagungsband zum Jubiläumskolloquium „150 Jahre Waldforschung in Brandenburg“ am 09. Juni 2021*. Aufl. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Band 70: 13–24
- SCHULLA, J. (2015): Model Description WaSiM – completely revised version of 2012 with 2013 to 2015 extensions. Hydrology Software Consulting J. Schulla, 332 S.
- SCHULZE, G.; KOOP, D. (2009): Anleitung für die forstliche Standortserkundung im nordostdeutschen Tiefland (Standortserkundungsanleitung / SEA 95). 3. Änderung der SEA 95
- SCHÜTTE, F. (1957): Untersuchungen über die Populationsdynamik des Eichenwicklers (*Tortrix viridana* L.). *Zeitschrift für angewandte Entomologie* 40: 285–331
- SCHWANECKE, W. (1970): Richtlinie für die Bildung und Kartierung der Standortseinheiten im Hügelland und Mittelgebirge der DDR. VEB Forstprojektierung Potsdam
- SCHWANECKE, W.; KOPP, D. (1994): Forstliche Wuchsgebiete und Wuchsbezirke des Landes Sachsen-Anhalt, 203 S.
- SCHWAPPACH, A. (1901): Die Ergebnisse der in den Preußischen Staatsforsten ausgeführten Anbauversuche mit fremdländischen Holzarten. *Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen* 33: 137–169, 195–225, 261–292
- SCHWAPPACH, A. (1911): Die weitere Entwicklung der Versuche mit fremdländischen Holzarten in Preußen. *Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen* 43: 591–611, 757–782
- SCHWENKE, W. (Hrsg.) (1978): Schmetterlinge. Die Forstschädlinge Europas, Band 3. Paul Parey, 467 S.
- SCHWERDTFEGER, F. (1961): Das Eichenwickler-Problem – Auftreten, Schaden, Massenwechsel und Möglichkeiten der Bekämpfung von *Tortrix viridana* L. in Nordwestdeutschland. *Forschung und Beratung – Reihe C, Heft 1*. Landwirtschaftsverlag, 174 S.
- SCHWERDTFEGER, F. (1970): Die Waldkrankheiten – Ein Lehrbuch der Forstpathologie und des Forstschutzes. Parey, 509 S.
- SIERPINSKA, A. (1998): Towards an integrated management of *Dendrolimus pini* L. In: MCMANUS, M. L.; LIEBHOLD, A. M. (Hrsg.): *Proceedings: population dynamics, impacts, and integrated management of forest defoliating insects – Gen. Tech. Rep. NE-247*: 129–142
- SKRZECZ, I.; ŚLUSARSKI, S.; TKACZYK, M. (2020): Integration of science and practice for *Dendrolimus pini* (L.) management – A review with special reference to Central Europe. *Forest Ecology and Management* 455: 117697. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117697>
- SPELLMANN, H. (1994): Ertragskundliche Aspekte des Fremdländeranbaus. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 165: 27–34
- SPELLMANN, H.; ALBERT, M.; SCHMIDT, M.; SUTMÖLLER, J.; OVERBECK, M. (2011): Waldbauliche Anpassungsstrategien für veränderte Klimaverhältnisse. *AFZ/Der Wald* 66(11): 19–23
- SPELLMANN, H.; SUTMÖLLER, J.; MEESENBERG, H. (2007): Risikovorsorge im Zeichen des Klimawandels. *AFZ/Der Wald* 23: 1246–1249

- STEVENS, B.; GIORGETTA, M.; ESCH, M.; MAURITSEN, T.; CRUEGER, T.; RAST, S.; SALZMANN, M.; SCHMIDT, H.; BADER, J.; BLOCK, K.; BROKOPF, R.; FAST, I.; KINNE, S.; KORNBLUEH, L.; LOHMANN, U.; PINCUS, R.; REICHLER, T.; ROECKNER, E. (2013): Atmospheric component of the MPI-M Earth System Model: ECHAM6. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems* 5(2): 146–172. <https://doi.org/10.1002/jame.20015>
- STRATMANN, J. (1988): Ausländeranbau in Niedersachsen und den angrenzenden Gebieten – Inventur und waldbaulich-ertragskundliche Untersuchungen. Sauerländer
- SUKOVATA, L. (2013): Outbreaks of *Dendrolimus pini* in a warming environment. In: *Proceedings of IUFRO 7.03.05 and 7.03.07 – Forest insect disturbance in a warming environment*: 25
- SULLIVAN, T. P.; SULLIVAN, D. S.; REID, D. G.; LEUNG, M. C. (2004): Weasels, voles, and trees: influence of mustelid semiochemicals on vole populations and feeding damage. *Ecological Applications* 14(4): 999–1015. <https://doi.org/10.1890/02-5284>
- SUTMÖLLER, J.; AHRENDTS, B.; SCHMIDT, M.; ALBERT, M.; FLECK, S.; PLASIL, P.; HANSEN, J.; OVERBECK, M.; NAGEL, R.-V.; SPELLMANN, H.; MEESENBERG, H. (2013): Klimafolgenstudie 2012 – Forstwirtschaft. Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Heft 8/2013. Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (LAU)
- SUTMÖLLER, J.; SCHÖNFELDER, E.; MEESENBERG, H. (2021): Perspektiven der Anwendung von Klimaprojektionen in der Forstwirtschaft. *promet* 104: 47–53. https://doi.org/10.5676/DWD_PUB/PROMET_104_07
- SUTMÖLLER, J.; SPELLMANN, H.; FIEBIGER, C.; ALBERT, M. (2008): Der Klimawandel und seine Auswirkungen auf die Buchenwälder in Deutschland. In: *NORDWESTDEUTSCHE FORSTLICHE VERSUCHSANSTALT (Hrsg.): Ergebnisse angewandter Forschung zur Buche. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 3*: 135–158
- TARWACKI, G. (2012): Ecological-indicator characteristics of Carabidae communities in centre-complex method of forest protection. *Sylvan* 9: 684–694
- TAYLOR, K. E.; STOFFER, R. J.; MEEHL, G. A. (2012): An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American meteorological Society* 93(4): 485–498. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>
- TENNEKES, M. (2018): tmap: thematic maps in R. *Journal of Statistical Software* 84(6). <https://doi.org/10.18637/jss.v084.i06>
- THIEL, J.; OHLMEYER, L. (2003): Aussehen und Lebensweise der forstlich wichtigen Mäuse. *AFZ/Der Wald* 21: 1070–1072
- THOMAS, F. M.; BLANK, R.; HARMANN, G. (1996): Der Einfluss von Stammexposition, Stickstoff-Status und Blattfraß auf die Frosthärte des Bastes von Alteichen. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* 26: 153–160
- TRIEBENBACHER, C. (2020): Mäuse in Forstkulturen. LWF-Merkblatt 24. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), 6 S.
- UBA (2022): Abweichung der globalen Lufttemperatur vom Durchschnitt der Jahre 1850 bis 1900. <https://www.umweltbundesamt.de/bild/abweichung-der-globalen-lufttemperatur-vom> (Zugriff am 09.11.2022)
- VAN HEERDEN, K.; YANAI, R. D. (1995): Effects of stresses on forest growth in models applied to the Solling spruce site. *Ecological Modelling* 83(1–2): 273–282. [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(95\)00105-5](https://doi.org/10.1016/0304-3800(95)00105-5)
- VAN VUUREN, D. P.; EDMONDS, J.; KAINUMA, M.; RIAHI, K.; THOMSON, A.; HIBBARD, K.; HURTT, G. C.; KRAM, T.; KREY, V.; LAMARQUE, J.-F.; MASUI, T.; MEINSHAUSEN, M.; NAKICENOVIC, N.; SMITH, S. J.; ROSE, S. K. (2011): The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109(1): 5. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>
- VEB FORSTPROJEKTIERUNG POTSDAM (Hrsg.) (1974): Anweisung für die forstliche Standortserkundung in der DDR (Standortserkundungsanweisung / SEA74)

- VOR, T.; SPELLMANN, H.; BOLTE, A.; AMMER, C. (Hrsg.) (2015): Potenziale und Risiken eingeführter Baumarten: Baumartenportraits mit naturschutzfachlicher Bewertung. Göttinger Forstwissenschaften, Band 7. Universitätsverlag Göttingen, 296 S.
- WACHTER, H. (1964): Über die Beziehungen zwischen Witterung und Buchenmastjahren. Forstarchiv 35(4): 69–78
- WBW (2021): Die Anpassung von Wäldern und Waldwirtschaft an den Klimawandel. Wissenschaftlicher Beirat für Waldpolitik (WBW), 192 S.
- WEHRMAKER, A. (1990): Die Roteiche (*Quercus rubra*): für Naturschutz und Gallwespen kein Ersatz für die europäischen Eichen. Schriftenreihe Umweltamt Stadt Darmstadt 13: 40–49
- WELLBROCK, N.; AHRENDTS, B.; BÖGELEIN, R.; BOLTE, A.; EICKENSCHIEDT, N.; GRÜNEBERG, E.; KÖNIG, N.; SCHMITZ, A.; FLECK, S.; ZICHE, D. (2019): Concept and Methodology of the National Forest Soil Inventory. In: WELLBROCK, N.; BOLTE, A. (Hrsg.): Status and Dynamics of Forests in Germany – Results of the National Forest Monitoring. Ecological Studies: 1–28. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15734-0_1
- WELLENSTEIN, G. (Hrsg.) (1942): Die Nonne in Ostpreußen (1933 - 1937) – Freilandstudien der Waldstation für Schädlingsbekämpfung in Jagdhaus Rominten. Monographien zur angewandten Entomologie 15. Paul Parey, 682 S.
- WELLENSTEIN, G. (1978): Rückblick auf 4 Jahre Erforschung und Bekämpfung der Nonne (*Lymantria monacha* L.) in Ostpreußen. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 150: 25–30
- WELLER, A. (2018): Analyse des Wachstums von Großer Küstentanne und Douglasie entlang klimatischer und bodenkundlicher Gradienten in Nordwestdeutschland. Austrian Journal of Forest Science 135: 53–89
- WELLER, A.; BÖCKMANN, T.; NOLTENSMEIER, A. (2021): Wie widerstandsfähig sind die Hauptbaumarten gegenüber Schadereignissen? Waldi (4): 8–10
- WENDLAND, V. (1972): 14jährige Beobachtungen zur Vermehrung des Waldkauzes (*Strix aluco* L.). Journal für Ornithologie 113(3): 276–286. <https://doi.org/10.1007/BF01647508>
- WENK, M. (2016): Mäuse. Waldschutz-Merkblatt 55. Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg (MLUL), 46 S.
- WICKHAM, H. (2016): ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. 2. Aufl. Use R!. Springer, 1 S. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24277-4>
- WIEDEMANN, E. (1951): Ertragskundliche und waldbauliche Grundlagen der Forstwirtschaft. Sauerländer
- WILPERT, K. VON (1990): Die Jahrringstruktur von Fichten in Abhängigkeit vom Bodenwasserhaushalt auf Pseudogley und Parabraunerde – Ein Methodenkonzept zur Erfassung standortspezifischer Wasserstressdisposition. Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen, Heft 24. Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i.Br., 224 S.
- WOLTERS, R. (1991): Die Spätblühende Traubenkirsche (*Prunus serotina*) unter Kiefer und Japanlärche im Emsland (StFoA Lingen) – Untersuchungen zur Verteilung und Ausbreitung unter Verwendung des CIR-Luftbildes. Diplom-Arbeit, FHS Hildesheim/Holzminden
- ZIMMERLE, H. (1950): Anbauwürdigkeit fremdländischer Holzarten nach neueren Erfahrungen in Württemberg. Allgemeine Forstzeitschrift 5: 135–138

Abkürzungen

BAH	Bergahorn
BU	Buche
BWI	Bundeswaldinventur
BZT	Bestandeszieltyp
CMIP5	<i>Coupled Model Intercomparison Project - Phase 5</i>
DGL	Douglasie
dGZ _{max}	maximaler durchschnittlicher Gesamtwuchs
DKV	Gütegemeinschaft für forstliches Vermehrungsgut
DVFFA	Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten
DWD	Deutscher Wetterdienst
ELÄ	Europäische Lärche
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i> Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen
FI	Gemeine Fichte
FoVG	Forstvermehrungsgutsgesetz
FoVZV	Forstvermehrungsgut-Zulassungsverordnung
FST	Feuchtestufe des Bodens und Mesoreliefs
GCM	<i>General Circulation Model</i> (atmosphärisches Zirkulationsmodell)
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Globales Positionsbestimmungssystem)
GUI	<i>Graphical User Interface</i> (Grafische Benutzeroberfläche)
HBU	Hainbuche
H _g	Mittelhöhe
IDW	<i>Inverse Distance Weighting</i> (Inverse Distanzwichtung)
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Weltklimarat)
IS	Invasive Spezies
KI	Gemeine Kiefer
KTA	Küstentanne
KWB	Klimatische Wasserbilanz
LKL	Leistungsklasse

MMS	Merkmalspiegel
nFK	nutzbare Feldkapazität
NHN	Normalhöhennull
NKS	Nährkraftstufe
N _{sum}	Niederschlagssumme
NW-FVA	Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
NZ	Nährstoffziffer
OSM	<i>OpenStreetMap</i>
PQS	potenzieller Quarantäneschaderreger
PTF	Pedotransferfunktion
QS	Quarantäneschaderreger
RCP	<i>Representative Concentration Pathways</i> (Repräsentativer Konzentrationspfad)
REI	Roteiche
ReKlieEs-De	Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland
REST	<i>Representational State Transfer</i>
SEI	Stieleiche
SLM	Standort-Leistungs-Modell
SSP	<i>Shared Socioeconomic Pathways</i> (gemeinsam genutzter sozioökonomischer Pfad)
SWB	Standortswasserbilanz
TEI	Traubeneiche
T _{sum}	Temperatursumme
WET	Waldentwicklungstyp
WEZ	Waldentwicklungsziel
WHZ	Wasserhaushaltsziffer
WMO	<i>World Meteorological Organization</i> (Weltorganisation für Meteorologie)
WMS	<i>Web Map Service</i>
WTA	Weißtanne

Danksagung

Der vorliegende Bericht wurde in der Folge des Projektes „Überarbeitung der regionalen Waldbauplanung in Sachsen-Anhalt als Beitrag zur Klimafolgenanpassung und nachhaltigen Sicherung der Waldfunktion (FKZ A01/2019)“ des Landes Sachsen-Anhalt erstellt. Ohne diese Projektfinanzierung hätten diese Ergebnisse nicht erarbeitet und der Praxis zur Verfügung gestellt werden können. Unser Dank gilt daher dem Ministerium für Wirtschaft, Tourismus, Landwirtschaft und Forsten für die Förderung.

Ohne den intensiven und fruchtbaren Gedankenaustausch mit Herrn Frank Schuffenhauer vom Ministerium für Wirtschaft, Tourismus, Landwirtschaft und Forsten wären die Grundlagen für eine reibungslose und erfolgreiche Erarbeitung und Einführung der regionalen, klimaangepassten Baumartenempfehlungen in die Praxis nicht gelegt worden. Für diese Unterstützung und Begleitung des Vorhabens gilt unser besonderer Dank.

Allen Kollegen und Kolleginnen des Autorenteam sei für ihren Einsatz und für ihre Beiträge, die zum Gelingen dieses Bandes beigetragen haben, gedankt. Der Dank gilt auch allen Mitgliedern der projektbegleitenden Arbeitsgruppe. Besonderer Dank gilt dem ehemaligen Direktor der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Herrn Prof. Dr. Hermann Spellmann, der das Projekt initiiert, mit seiner fachlichen Expertise und seinem hohen Engagement begleitet und damit zum Erfolg dieser Praxisempfehlung für die klimaangepasste Baumartenwahl in Sachsen-Anhalt beigetragen hat.

Autor:innen

Dr. Thomas Böckmann

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abt. Waldwachstum
Grätzelstraße 2
D-37079 Göttingen
thomas.boeckmann@nw-fva.de

Martin Buresch

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abt. Umweltkontrolle
Grätzelstraße 2
D-37079 Göttingen
martin.buresch@nw-fva.de

Dr. Johanna Bußkamp

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abt. Umweltkontrolle
Grätzelstraße 2
D-37079 Göttingen
johanna.busskamp@nw-fva.de

Dr. Heidi Döbbeler

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abt. Waldwachstum
Grätzelstraße 2
D-37079 Göttingen
heidi.doebbler@nw-fva.de

Dr. Jan Evers

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abt. Umweltkontrolle
Grätzelstraße 2
D-37079 Göttingen
jan.evers@nw-fva.de

Franziska Fasse

Normals: Nordwestdeutsche Forstliche
Versuchsanstalt
Abt. Waldwachstum
Grätzelstraße 2
D-37079 Göttingen

Ines Graw

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abt. Waldschutz
Grätzelstraße 2
D-37079 Göttingen
ines.graw@nw-fva.de

Dr. Hans Hamkens

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abt. Waldwachstum
Grätzelstraße 2
D-37079 Göttingen
hans.hamkens@nw-fva.de

Dr. Jan Hansen

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abt. Waldwachstum
Grätzelstraße 2
D-37079 Göttingen
jan.hansen@nw-fva.de

Christof Hein

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abt. Waldschutz
Grätzelstraße 2
D-37079 Göttingen
christof.hein@nw-fva.de

Dr. Rainer Hurling

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abt. Waldschutz
Grätzelstraße 2
D-37079 Göttingen
rainer.hurling@nw-fva.de

Stefan Lieven

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abt. Waldwachstum
Grätzelstraße 2
D-37079 Göttingen
stefan.lieven@nw-fva.de

Ralf-Volker Nagel

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abt. Waldwachstum
Grätzelstraße 2
D-37079 Göttingen
ralf.nagel@nw-fva.de

Matthias Paul

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abt. Waldgenressourcen
Professor-Oelkers-Straße 6
D-34346 Hann. Münden
matthias.paul@nw-fva.de

Dr. Martin Rohde

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abt. Waldschutz
Grätzelstraße 2
D-37079 Göttingen
martin.rohde@nw-fva.de

Sabine Rumpf

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abt. Waldwachstum
Grätzelstraße 2
D-37079 Göttingen
sabine.rumpf@nw-fva.de

Dr. Gitta Langer

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abt. Waldschutz
Grätzelstraße 2
D-37079 Göttingen
gitta.langer@nw-fva.de

Dr. Henning Meeseburg

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abt. Umweltkontrolle
Grätzelstraße 2
D-37079 Göttingen
henning.meesenburg@nw-fva.de

Dr. Uwe Paar

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abt. Umweltkontrolle
Grätzelstraße 2
D-37079 Göttingen
uwe.paar@nw-fva.de

Dr. Pavel Plašil

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abt. Waldschutz
Grätzelstraße 2
D-37079 Göttingen
pavel.plasil@nw-fva.de

Andreas Rommerskirchen

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abt. Waldschutz
Grätzelstraße 2
D-37079 Göttingen
andreas.rommerskirchen@nw-fva.de

Jan Schick

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abt. Waldwachstum
Grätzelstraße 2
D-37079 Göttingen
jan.schick@nw-fva.de

Samuel Schleich

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abt. Waldgenressourcen
Professor-Oelkers-Straße 6
D-34346 Hann. Münden
samuel.schleich@nw-fva.de

Frank Schuffenhauer

Ministerium für Wirtschaft, Tourismus,
Landwirtschaft und Forsten des Landes
Sachsen-Anhalt
Referat 52
Leipziger Straße 58
D-39112 Magdeburg

Johannes Sutmöller

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abt. Umweltkontrolle
Grätzelstraße 2
D-37079 Göttingen
johannes.sutmoeller@nw-fva.de

Dr. Matthias Schmidt

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abt. Waldwachstum
Grätzelstraße 2
D-37079 Göttingen
matthias.schmidt@nw-fva.de

Prof. Dr. Hermann Spellmann

Vormals: Nordwestdeutsche Forstliche
Versuchsanstalt
Abt. Waldwachstum
Grätzelstraße 2
D-37079 Göttingen
hermann.spellmann@mailbox.org

Thorsten Zeppenfeld

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abt. Waldwachstum
Grätzelstraße 2
D-37079 Göttingen
thorsten.zeppenfeld@nw-fva.de

Anhang

Die wichtigsten Arten der Konkurrenzvegetation

S. 206 ff.

Die wichtigsten Arten der Konkurrenzvegetation mit Charakterisierung nach Standortansprüchen, Verbreitungsart und waldbaulicher Bedeutung (bearbeitet auf Grundlage von BURSCHEL u. HUSS 1997). Regional können noch andere, hier nicht aufgeführte Arten als Konkurrenten bedeutsam sein. Innerhalb der Gruppen wurde nach zunehmenden Ansprüchen an die Standortgüte geordnet.

Legende

Abkürzung	Bedeutung	Abkürzung	Bedeutung
<i>Wasserversorgung</i>		<i>Verbreitung über</i>	
n	nass	S	Samen
wf	wechselfeucht	St	Stolonen (Ausläufer)
fr	mäßig frisch bis frisch	Rh	Rhizome
tr	mäßig trocken bis trocken	W	Wurzelbrut
<i>Nährstoffversorgung</i>		StA	Stockausschläge
+	gut	Sp	Sporen
±	mittel	<i>Waldbauliche Bedeutung</i>	
-	gering	++	sehr starker Konkurrent, Bekämpfung meist unumgänglich
<i>Lichtbedürfnis</i>		+	starker Konkurrent, Bekämpfung oft unumgänglich
●	Schatten	gelegentlich starker Konkurrent, Bekämpfung manchmal unumgänglich	
◐	Halbschatten	()	gelegentlich oder in geringerem Umfang bedeutsam
○	volles Licht	NV	Störend für Ankommen von Naturverjüngung
<i>Vorkommen in</i>		J	Störend in Jungwüchsen
A	Auenwald	<i>Sonstiges</i>	
T	Tiefland	*	Neophyten
H	Hügelland		
M	Mittelgebirge		
G	Gebirge		

Anhang:

Die wichtigsten Arten der Konkurrenzvegetation

Art	standörtliche Präferenz			Vor- kommen	Verbreitung mit Hilfe von	waldbauliche Bedeutung
	Wasser	Nährstoff	Licht			
<i>Farne</i>						
Adler-Farne (<i>Pteridium aquilinum</i>)	wf/fr	±	●/(○)	T/H	Rh	++ NV/J
Eichenfarn (<i>Gymnocarpium dryopteris</i>)	fr	±/(+)	●	H/M	Sp	± (NV)
<i>Gräser, Binsen und Seggen</i>						
Pfeifengras (Benthaln) (<i>Molinia caerulea</i>)	n/wf	-	○	T-G	S	± J
Drahtschmiele (<i>Deschampsia flexuosa</i>)	fr/tr	-	○/(●)	T-G	S/St	+ (++) NV/J
Rasenschmiele (Bülten-) (<i>Deschampsia cespitosa</i>)	n/fr/wf	±	○/●	A-M	S	+ J
Seegrass-Segge (<i>Carex brixoides</i>)	n/fr	±	○/●	H	(S) St	++ NV/(f)
Binsen (<i>Juncus sp.</i>)	n/fr	+ / ±	○/●	H-M	S/Rh	++ NV/(f)
Quecke (<i>Elymus repens</i>)	wf/fr/tr	+ / ±	○	T-M	S/Rh	+ J
Rotes Straußgras (<i>Agrostis capillaris</i>)	wf-tr	± ()	○	T-G	S/St	+ J
Land-Reitgras (Waldschilf) (<i>Calamagrostis epigetos</i>)	wf-tr	±	○/(●)	T-M	(S) St	++ J
Wolliges Reitgras (<i>Calamagrostis villosa</i>)	n/fr	±	○/●	M/G	(S) St	+ NV/J
Bergreitgras (<i>Calamagrostis varia</i>)	fr/tr	±	○/●	H/M	St	± NV
Wald-Reitgras (<i>Calamagrostis arundinacea</i>)	fr	±	○/●	H/M	± (f)	± (f)
Fiederzwenke (<i>Brachypodium pinnatum</i>)	tr	±	○/(●)	H/M	S/St	+ J
Wolliges Honiggras (<i>Holcus lanatus</i>)	wf-tr	±	○/●	T-G	S	+ (NV) J
Weiches Honiggras (<i>Holcus mollis</i>)	wf-tr	±	○/●	T-G	(S) St	+ (NV) J
Einblütiges Perlgras (<i>Melica uniflora</i>)	wf/fr	+	●	T-G	St	++ NV
Nieckendes Perlgras (<i>Melica nutans</i>)	fr	+ / ±	●	T-G	St	+ NV
Riesenschwingel (<i>Festuca gigantea</i>)	n-fr	+	(○) ●	A-H	S	± NV/(f)
Waldschwingel (<i>Festuca altissima</i>)	fr	+	●	H/M	S	+ NV

(Fortsetzung Anhang)

Art	standörtliche Präferenz				Vor- kommen	Verbreitung mit Hilfe von	waldbauliche Bedeutung
	Wasser	Nährstoff	Licht	Ansprüche an			
<i>Kräuter</i>							
Huflattich	wf	±	O		T+M	St	+ NV
Gewöhnliche Pestwurz	wf/fr	±	●		M/G	S	+ NV
Disteln	fr/tr	±	O		T-G	S	± NV (f)
Weidenröschen	fr	±	O		T-M	S/St	± NV/(f)
Kletten-Labkraut	fr	±/+	O		T/H	S	± NV
Wald-Bingelkraut	fr	+	●		H/M	S/St	+ NV
Gemeiner Hohlzahn	fr	±/+	O		T-G	S	± NV
Große Brennnessel	wf/fr	+	O/●		T-G	S/Rh	± NV
Japanischer Staudenknöterich	n-fr	+	O/●		T-M	Rh	± NV
Sachalin-Staudenknöterich	n/wf	+	O/●		T-M	Rh	± NV NV
<i>Sträucher</i>							
Heide	tr	-	(●)/O		T/H	S/StA	+/(++J)
Preiselbeere	tr	-	●/O		T-G	S	± NV
Heidelbeere	fr(tr)	±(-)	●/(O)		T-G	S/St	± NV/J
Besenginster	tr	±(-)	O			S/StA	+J
Brombeere	fr	±/+	●/O		T-(M)	St	++ NV/J
Himbeere	fr	±	●/O		T-M	S	+J
Roter Holunder	fr	+	●/O		T-M	S	±J
Schwarzer Holunder	fr	+	●/O		T-M	S	±J
<i>Bäume</i>							
Spätblühende Traubenkirsche	wf/fr	±(-)	O		T	S/StA/W	±J

Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt

Band

- 1 (2007) **Clusterstudie Forst und Holz Niedersachsen.** Burkhard Rüter, Jan Hansen, Agatha Ludwig, Hermann Spellmann, Jürgen Nagel, Bernhard Möhring, Matthias Dieter. 92 S.
DOI: <https://doi.org/10.17875/gup2007-261>
- 2 (2008) **Die Waldkiefer – Fachtagung zum Baum des Jahres 2007.** Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.). 98 S.
DOI: <https://doi.org/10.17875/gup2008-268>
- 3 (2008) **Ergebnisse angewandter Forschung zur Buche.** Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.). 343 S.
DOI: <https://doi.org/10.17875/gup2008-269>
- 4 (2008) **Ergebnisse des westdeutschen IUFRO-Küstentannen-Provenienzversuches im Alter 27.** Hans-Martin Rau, Armin König, Wolfhard Ruetz, Hendrik Rumpf, Egbert Schönfelder. 62 S.
DOI: <https://doi.org/10.17875/gup2008-271>
- 5 (2010) **Fichtenherkunftsversuch von 1962 und IUFRO-Fichtenherkunftsversuch von 1972. Ergebnisse von mehr als 30-jähriger Beobachtung in Deutschland.** Mirko Liesebach, Hans-Martin Rau, Armin O. König. 467 S.
DOI: <https://doi.org/10.17875/gup2010-278>
- 6 (2011) **Kohlenstoffstudie Forst und Holz Niedersachsen.** René Würdehoff, Hermann Spellmann, Jan Evers, Jürgen Nagel. 92 S.
DOI: <https://doi.org/10.17875/gup2011-252>
- 7 (2012) **Das digitale Luftbild. Ein Praxisleitfaden für Anwender im Forst- und Umweltbereich.** Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpretieren (Hrsg.). 84 S.
DOI: <https://doi.org/10.17875/gup2012-254>
- 8 (2012) **Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb. Erkenntnisse aus drei Jahren Fast-Wood, ProLoc und Weidenzüchtung. Fachtagung vom 21. bis 22.09.2011 in Hann. Münden.** Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.). 430 S.
DOI: <https://doi.org/10.17875/gup2012-256>

Band

- 9 (2012) **SILVAQUA – Auswirkungen forstlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen auf den Zustand von Gewässern in bewaldeten Einzugsgebieten am Beispiel der Oker im Nordharz.** Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.). 226 S.
DOI: <https://doi.org/10.17875/gup2012-258>
- 10 (2013) **Waldentwicklungsszenarien für das Hessische Ried. Entscheidungsunterstützung vor dem Hintergrund sich beschleunigt ändernder Wasserhaushalts- und Klimabedingungen und den Anforderungen aus dem europäischen Schutzgebietssystem Natura 2000.** Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.). 397 S.
DOI: <https://doi.org/10.17875/gup2013-259>
- 11 (2014) **Waldwachstumskundliche Softwaresysteme auf Basis von TreeGrOSS – Anwendung und theoretische Grundlagen.** Jan Hansen, Jürgen Nagel. 224 S.
DOI: <https://doi.org/10.17875/gup2014-757>
- 12 (2015) **Synopse der Hauptmerkmale der forstlichen Standortskartierungsverfahren der Nordwestdeutschen Bundesländer.** Wolfgang Schmidt, Volker Stüber, Thomas Ullrich, Uwe Paar, Jan Evers, Klaus Dammann, Thomas Hövelmann, Marcus Schmidt. 136 S.
DOI: <https://doi.org/10.17875/gup2015-797>
- 13 (2015) **Pilotstudie zu den lokalen Auswirkungen des Klimawandels auf die Forstwirtschaft in ausgewählten Regionen Sachsen-Anhalts.** Stefan Fleck, Matthias Albert, Pavel Plašil, Ralf Nagel, Johannes Suttmöller, Bernd Ahrends, Matthias Schmidt, Jan Evers, Jan Hansen, Marc Overbeck, Wolfgang Schmidt, Hermann Spellmann, Henning Meesenburg. 221 S.
DOI: <https://doi.org/10.17875/gup2015-892>
- 14 (2016) **Gefährdungen der Ökosystemdienstleistungen von Wäldern. Fachtagung vom 9. bis 10. Oktober 2014 in Göttingen.** Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.). 185 S.
DOI: <https://doi.org/10.17875/gup2016-975>

Band

- 15 (2016) **Waldbodenzustandsbericht für Hessen – Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II).** Uwe Paar, Jan Evers, Inge Dammann, Nils König, Andreas Schulze, Marcus Schmidt, Egbert Schönfelder, Birte Scheler, Thomas Ullrich, Johannes Eichhorn. 466 S.
DOI: <https://doi.org/10.17875/gup2016-1001>
- 16 (2017) **Hochwertiges Forstvermehrungsgut im Klimawandel. Symposium des Verbundprojektes FitForClim vom 14. bis 15. Juni 2016 in Chorin.** Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.). 185 S.
DOI: <https://doi.org/10.17875/gup2017-1062>
- 17 (2017) **Waldböden: Nutzung und Schutz. Fachtagung vom 10. bis 11. Oktober 2016 in Göttingen.** Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.). 157 S.
DOI: <https://doi.org/10.17875/gup2017-1066>
- 18 (2017) **Nachhaltiges Landmanagement im Norddeutschen Tiefland.** H. Spellmann, B. Ahrends, M. Albert, S. Andert, T. Barkmann, M. Böcher, B. Breckling, O. Christen, J. Dvorak, M. Eggers, S. Fleck, N. Fohrer, M. Gaulty, B. Gerowitt, D. Gieseke, J. Grocholl, W. Hakes, V. Hammes, V. Hartje, G. Hauernt, M. Hoffmann, J. Hufnagel, J. Isselstein, R. Kätzler, M. Kayser, I. Kehr, H. Knauer, M. Krott, C. Lambertz, A. Lange, G. Langer, G. Leefken, S. Löffler, H. Meesenburg, R. Meißner, H. Messal, P. Meyer, B. Möhring, K. Möller, J. Nagel, R. Nuske, A. Oetzmann, S. Ohrmann, C. v. Redwitz, J. Riediger, M. Schmidt, J. Schröder, W. Schröder, R. Siebert, D. Spindelndreher, H. Stahlmann, L. Stöck, J. Suttmöller, N. Svoboda, D. Tänzer, A. v. Tiedemann, B. Ulber, K. Wegner, P.C. Werner, M. Winter., H. Wüstemann, P. Zander, T. Ziesche. 436 S.
DOI: <https://doi.org/10.17875/gup2018-1073>
- 19 (2019) **Waldbodenzustandsbericht für Niedersachsen und Bremen – Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II).** Jan Evers, Inge Dammann, Nils König, Uwe Paar, Volker Stüber, Andreas Schulze, Marcus Schmidt, Egbert Schönfelder, Johannes Eichhorn. 498 S.
DOI: <https://doi.org/10.17875/gup2019-1162>

Band

- 20 (2022) **Waldbodenzustandsbericht für Sachsen-Anhalt.** Jan Evers, Inge Dammann, Uwe Paar, Wolfgang Schmidt, Bernd Ahrends, Birte Scheler, Nils König, Egbert Schönfelder, Marcus Schmidt, Andreas Hafner, Johannes Eichhorn. 450 S.
DOI: <https://doi.org/10.17875/gup2022-2005>
- 21 (2023) **Regionale Waldbauplanung in Sachsen-Anhalt als Beitrag zur Klimafolgenanpassung und nachhaltigen Sicherung der Waldfunktion.** Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.). 211 S.
DOI: <https://doi.org/10.17875/gup2023-2394>

Alle Bände der „Beiträge der NW-FVA“ sind auch als freie Onlineversion über die Website der NW-FVA (<https://www.nw-fva.de>), des Verlags sowie über den Göttinger Universitätskatalog (GUK) bei der Niedersächsischen Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen (<https://www.sub.uni-goettingen.de>) zugänglich. Es gelten die Lizenzbestimmungen der Onlineversion.

Der Klimawandel stellt eine besondere Herausforderung für die nachhaltige, multifunktionale Forstwirtschaft mit ihrer weitreichenden Bindung an die Standortverhältnisse und ihren langen Produktionszeiträumen 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, Risikovorsorge zu betreiben. Die waldbaulichen Handlungsoptionen zur Anpassung der Wälder an den Klimawandel reichen vom standortgemäßen 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 integriert werden können, das grobe Fehler vermeidet und dem Erkenntnisfortschritt folgt.



ISBN: 978-3-86395-596-0
ISSN: 1865-6994
eISSN: 2512-594X



GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN

Universitätsdrucke Göttingen