

Oehmichen, Katja et al.

Research Report

Die alternativen WEHAM-Szenarien: Holzpräferenz, Naturschutzpräferenz und Trendfortschreibung. Szenarientwicklung, Ergebnisse und Analyse

Thünen Report, No. 59

Provided in Cooperation with:

Johann Heinrich von Thünen Institute, Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries

Suggested Citation: Oehmichen, Katja et al. (2018) : Die alternativen WEHAM-Szenarien: Holzpräferenz, Naturschutzpräferenz und Trendfortschreibung. Szenarientwicklung, Ergebnisse und Analyse, Thünen Report, No. 59, ISBN 978-3-86576-184-2, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig,
<https://doi.org/10.3220/REP1527686002000>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/180212>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

**Die alternativen WEHAM-Szenarien:
Holzpräferenz, Naturschutzpräferenz und
Trendfortschreibung
Szenarientwicklung, Ergebnisse und Analyse**

**Katja Oehmichen, Susann Klatt, Kristin Gerber, Heino Polley, Steffi Röhling,
Karsten Dunger**

Thünen Report 59

Bibliografische Information:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikationen in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter www.dnb.de abrufbar.

Bibliographic information:
The Deutsche Nationalbibliothek (German National Library) lists this publication in the German National Bibliography; detailed bibliographic data is available on the Internet at www.dnb.de

Bereits in dieser Reihe erschienene Bände finden Sie im Internet unter www.thuenen.de

Volumes already published in this series are available on the Internet at www.thuenen.de

Zitationsvorschlag – Suggested source citation:

Oehmichen K, Klatt S, Gerber K, Polley H, Röhling S, Dunger K (2018)
Die alternativen WEHAM-Szenarien: Holzpräferenz, Naturschutzpräferenz und Trendfortschreibung - Szenarientwicklung, Ergebnisse und Analyse. Braunschweig:
Johann Heinrich von Thünen-Institut, 88 p, Thünen Rep 59,
DOI:10.3220/REP1527686002000

Die Verantwortung für die Inhalte liegt bei den jeweiligen Verfassern bzw. Verfasserinnen.

The respective authors are responsible for the content of their publications.



THÜNEN

Thünen Report 59

Herausgeber/Redaktionsanschrift – *Editor/address*

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
Germany

thuenen-report@thuenen.de
www.thuenen.de

ISSN 2196-2324
ISBN 978-3-86576-184-2
DOI:10.3220/REP1527686002000
urn:nbn:de:gbv:253-201806-dn059875-7

Die alternativen WEHAM-Szenarien: Holzpräferenz, Naturschutzpräferenz und Trendfortschreibung

Szenarienentwicklung, Ergebnisse und Analyse

**Katja Oehmichen, Susann Klatt, Kristin Gerber, Heino Polley, Steffi Röhling,
Karsten Dunger**

Thünen Report 59

VERANTWORTLICHER AUTOR:

Katja Oehmichen

Thünen-Institut für Waldökosysteme

Alfred-Möller-Straße 1, Haus 41/42

16225 Eberswalde

Tel: +49 3334 3820-360

Fax: +49 3334 3820-354

E-Mail: katja.oehmichen@thuenen.de

WEITERE AUTOREN:

Susann Klatt

Kristin Gerber

Heino Polley

Steffi Röhling

Karsten Dunger

Thünen-Institut für Waldökosysteme

Alfred-Möller-Straße 1, Haus 41/42

16225 Eberswalde

Thünen Report 59

Braunschweig, Mai 2018



Nachhaltigkeitsbewertung alternativer Waldbehandlungs- und Holzverwendungsszenarien unter besonderer Berücksichtigung von Klima- und Biodiversitätsschutz

Das diesem Bericht zugrunde liegende Verbundforschungsprojekt „WEHAM-Szenarien-Nachhaltigkeitsbewertung alternativer Waldbehandlungs- und Holzverwendungsszenarien unter besonderer Berücksichtigung von Klima- und Biodiversitätsschutz“ wurde mit Mitteln des BMEL und BMU sowie des PTBLE gefördert. Die Verbundpartner dieses Projektes waren die Thünen-Institute für Waldwirtschaft und Forstökonomie (Hamburg), Waldökosysteme (Eberswalde) und Holzforschung (Hamburg), das Zentrum Holzwirtschaft der Universität Hamburg und die Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde. Der vorliegende Thünen Report beinhaltet die Arbeiten und Ergebnisse des Thünen-Instituts für Waldökosysteme zur Modellierung der alternativen Szenarien und zur Totholznachlieferung. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Publikation liegt bei den Autoren.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit



Projektträger Bundesanstalt
für Landwirtschaft und Ernährung

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Zusammenfassung

Das Holz- und das Naturschutzpräferenzszenario sind alternative Szenarien, die im Waldklimafonds-Verbundforschungsprojekt „WEHAM-Szenarien“ entwickelt wurden. Mit dem Simulationsmodell WEHAM wurden auf Basis der Daten der Bundeswaldinventur 2012 die zukünftige Waldentwicklung und das potenzielle Rohholzaufkommen für den Zeitraum 2012 bis 2052 geschätzt. Des Weiteren wurden Ansätze für ein Trendfortschreibungsszenario erarbeitet. In dem Bericht werden die Methodik zur Szenarienerstellung und detaillierte Ergebnisse vorgestellt. Daneben werden die wichtigsten Ergebnisse des Holzpräferenz- und Naturschutzpräferenzszenarios dem WEHAM-Basiszenario als Referenz gegenübergestellt und analysiert. Für die Modellierung von Totholz wurde ein neues Verfahren angewandt, mit dem entsprechende Totholzzielvorräte für die Szenarien berechnet wurden.

Schlüsselwörter: *Holzpräferenzszenario, Naturschutzpräferenzszenario, Trendfortschreibungsszenario, Waldbehandlung, Holzverwendung, Totholz, WEHAM*

Summary

The wood-preference scenario and the nature-conservation scenario are alternative forest management scenarios developed in the research project “WEHAM-scenarios”, funded by the German Forest Climate Fund (Waldklimafonds). Based on data of the National Forest Inventory 2012, the simulation model WEHAM was used to project future forest development and potential raw timber supply for the period 2012 to 2052. In addition, an approach was developed for a business-as-usual scenario. This report presents the methodology and approach for the development of the scenarios, as well as detailed results. The most important results of the wood-preference and the nature-conservation scenarios are analyzed and compared to the WEHAM baseline scenario. For the determination of deadwood target stocks in the respective scenarios a new modeling approach for deadwood was developed.

Keywords: *wood-preference scenario, nature-conservation scenario, business-as-usual scenario, forest management, wood use, dead wood, WEHAM*

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
AKI	Altersklasse
ALH	andere Laubbäume mit hoher Lebensdauer
ALN	andere Laubbäume niederer Lebensdauer
BA	Baumart
BAG	Baumartengruppe
BHD	Brusthöhendurchmesser
BB	Brandenburg
BE	Berlin
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
Bu	Buche
BW	Baden-Württemberg
BWI	Bundeswaldinventur
BY	Bayern
Dgl	Douglasie
Efm	Erntefestmeter
Ei	Eiche
Fi	Fichte
GF	Grundfläche
GFI	Grundflächenindex
GWFI	Gesamtwaldfläche
ha	Hektar
HAG	Holzartengruppe
HE	Hessen
hpnV	heutige potenziell natürliche Vegetation
HPS	Holzpräferenzszenario
INI	Initialisierungsdatei
Ki	Kiefer
Lae/Lä	Lärche
m	Meter
m³	Kubikmeter
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
MV	Mecklenburg-Vorpommern
NI	Niedersachsen
NPS	Naturschutzpräferenzszenario
NW	Nordrhein-Westfalen
NWM	Normalwaldmodell

Abkürzungsverzeichnis

RP	Rheinland-Pfalz
SH	Schleswig-Holstein
SL	Saarland
SN	Sachsen
ST	Sachsen-Anhalt
Ta	Tanne
TH	Thüringen
TFS	Trendfortschreibungsszenario
UTZ	Umtriebszeit
Vfm	Vorratsfestmeter
WEHAM	Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Modellierung und Daten	2
2.1	Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung	2
2.1.1	Zuwachsmodule	4
2.1.2	Waldbehandlungsmodul	4
2.1.3	Sortierungsmodul	5
2.2	Bundeswaldinventur	5
2.3	Basisszenario	6
3	Das Holzpräferenzszenario	7
3.1	Hintergrund	7
3.2	Zielstellungen und Szenarienbeschreibung	9
3.3	Methodik	9
3.4	Steuereinstellungen	10
3.5	Ergebnisse	12
3.5.1	Projiziertes Rohholzpotenzial	12
3.5.2	Vorräte	14
3.5.3	Baumartenflächen	16
3.5.4	Altersstruktur	17
3.5.5	Zuwachs	18
4	Das Naturschutzpräferenzszenario	20
4.1	Hintergrund	20
4.2	Zielstellungen und Szenarienbeschreibung	21
4.3	Methodik	22
4.3.1	Aufteilung des BWI-Datensatzes in zwei Datenkollektive	22
4.4	Steuereinstellungen	24
4.5	Ergebnisse	26
4.5.1	Baumartenflächen	26
4.5.2	Altersstruktur	28
4.5.3	Vorräte	31

4.5.4	Projiziertes Rohholzpotenzial	33
4.5.5	Zuwachs	35
4.6	Diskussion	36
5	Das Trendfortschreibungsszenario	39
5.1	Hintergrund, Zielstellung und Szenarienbeschreibung	39
5.2	Methodik	40
5.2.1	Grundflächenindex	40
5.2.2	Normalwaldmodell	43
5.2.3	Detailanalyse der Abgangsdaten von BWI 2002 zu BWI 2012	46
6	Totholz	51
6.1	Einführung	51
6.2	Definitionen, Eingangsdaten und Zielstellung	51
6.3	Methodik	53
6.4	Ergebnisse	55
6.5	Totholznachlieferung	57
6.5.1	Totholznachlieferung für das Naturschutzpräferenzszenario	58
6.5.2	Totholznachlieferung für das Holzpräferenzszenario	58
6.5.3	Totholznachlieferung für das Basisszenario	59
6.5.4	Ergebnisse der Totholznachlieferung	60
6.6	Diskussion	62
7	Gegenüberstellung der Szenarien anhand ausgewählter Ergebnisse	64
7.1	Baumartenflächen	64
7.2	Altersklassen	65
7.3	Vorräte	66
7.4	Projiziertes Rohholzpotential	67
8	Abschließende Diskussion und Gesamtfazit	70
	Danksagung	73
	Literaturverzeichnis	74

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modularer Aufbau von WEHAM	3
Abbildung 2: Vergleich des Rohholzpotenzials nach Holzartengruppe und Periode für die BWI und das HPS für den Projektionszeitraum	13
Abbildung 3: Rohholzpotenziale aller Baumarten nach Durchmesserklassen für den Projektionszeitraum	14
Abbildung 4: Entwicklung der Vorräte über alle Baumarten	15
Abbildung 5: Entwicklung der Holzvorräte für Laub- und Nadelbäume zwischen 2012 und 2052	15
Abbildung 6: Änderung des Holzvorrates für Laub- und Nadelbäume über den Projektionszeitraum	16
Abbildung 7: Entwicklung der Baumartenflächen nach Projektionsperioden	17
Abbildung 8: Flächenentwicklung der Altersklassen aller Baumarten über den Projektionszeitraum	18
Abbildung 9: Zuwachs der Baumarten über den Projektionszeitraum	19
Abbildung 10: Zuwachs der Laub- und Nadelbäume nach Projektionsperioden	19
Abbildung 11: Überblick zu den Zielstellungen des Naturschutzpräferenzszenarios	22
Abbildung 12: Modellierung des Naturschutzpräferenzszenarios mit zwei Datenkollektiven	23
Abbildung 13: Entwicklung der Baumartenflächen über den Projektionszeitraum	26
Abbildung 14: Vergleich der Entwicklung der Baumartenflächen zwischen NPS und Basisszenario	27
Abbildung 15: Entwicklung der Baumartenanteile in Bezug zur Gesamtwaldfläche	27
Abbildung 16: Vergleich der Baumartenflächen zwischen 2012 und 2052	28
Abbildung 17: Flächenentwicklung der Altersklassen der Laubbäume 2012 und 2052	29
Abbildung 18: Flächenentwicklung der Altersklassen der Eiche 2012 und 2052	29
Abbildung 19: Flächenentwicklung der Altersklassen der Nadelbäume 2012 und 2052	30
Abbildung 20: Flächenentwicklung der Altersklassen der Fichte 2012 und 2052	31
Abbildung 21: Entwicklung der Hektarvorräte über alle Baumarten	32
Abbildung 22: Entwicklung der Holzvorräte für Laub- und Nadelbäume zwischen 2012 und 2052	32
Abbildung 23: Vorratsänderung nach Brusthöhendurchmesser zwischen 2012 und 2052	33
Abbildung 24: Rohholzpotenzial nach Holzartengruppe und Periode für den Projektionszeitraum	34
Abbildung 25: Hiebssatz nach Baumartengruppen für die Perioden 2013-2017 und 2048-2052	34
Abbildung 26: Nutzung nach Baumartengruppen für die Perioden 2013-2017 und 2048-2052	35
Abbildung 27: Zuwachs der Baumarten, 2013-2052	36
Abbildung 28: Häufigkeit des Grundflächenindex $\leq 0,25$ über AKI nach Bundesländern und Baumarten	41
Abbildung 29: Mit dem Grundflächenindex abgeleitete Endnutzungsalter der Hauptbaumarten nach Eigentumsarten und Bundesländern	42

Abbildung 30: Mit dem Normalwaldmodell abgeleitete Endnutzungsalter der Hauptbaumarten nach Eigentumsarten und Bundesländern	45
Abbildung 31: Intensität der Nutzung über das Alter für Fichte und Buche nach Eigentumsarten und Bundesländern	47
Abbildung 32: Intensität der Nutzung über das Alter für Fichte im Landeswald, Großprivatwald und Kleinprivatwald nach Eigentumsarten und Bundesländern	48
Abbildung 33: Intensität der Nutzung über das Alter für Buche im Landeswald, Großprivatwald und Kleinprivatwald nach Eigentumsarten und Bundesländern	49
Abbildung 34: Totholzvorrat der BWI 2012 nach Baumartengruppe und Totholztyp	52
Abbildung 35: Totholzvorrat der BWI 2012 nach Zersetzungsgrad Totholz und Totholztyp	53
Abbildung 36: Anteil der Baumartengruppierungen am Gesamtvorrat 2052 des NPS, HPS und des Basisszenarios	54
Abbildung 37: Mittleres Rohholzpotenzial 2013-2052 und Nachlieferungsrate [Vfm] für Totholzvorräte von 14,6 m ³ /ha und 35 m ³ /ha in den drei Szenarien	56
Abbildung 38: Mittleres Rohholzpotenzial nach Holzartengruppen und reduziertes Rohholzpotenzial aller Baumarten für den Projektionszeitraum in den drei Szenarien	56
Abbildung 39: Gesamt-Rohholzpotenzial über die Projektionsperioden, unterteilt in Nachlieferungsrate und das dadurch reduzierte Rohholzpotenzial für die drei Szenarien	57
Abbildung 40: Rohholzpotenziale für das NPS, HPS und Basisszenario (mit und ohne Totholzabzug) für die HAG Fichte, Kiefer, Buche und Eiche	60
Abbildung 41: Vergleich der bisherigen Holznutzung 2003-2012 (BWI) und der Rohholzpotenziale bis 2052 für die HAG Buche und HAG Eiche jeweils mit und ohne Totholzabzug für das NPS, HPS und Basisszenario	61
Abbildung 42: Vergleich der bisherigen Holznutzung 2003-2012 (BWI) und der Rohholzpotenziale bis 2052 für die HAG Fichte und HAG Kiefer jeweils mit und ohne Totholzabzug für das NPS, HPS und Basisszenario	62
Abbildung 43: Flächenentwicklung der Szenarien nach Baumartengruppen	64
Abbildung 44: Flächenentwicklung der Szenarien nach Altersklassen	65
Abbildung 45: Vorratsentwicklung der Szenarien nach Baumartengruppen	67
Abbildung 46: Mittleres Rohholzpotenzial der Szenarien im Projektionszeitraum nach den Holzartengruppen Fichte, Kiefer, Buche und Eiche	68
Abbildung 47: Mittlere Durchmesservertelung des Abgangs aller Baumartengruppen	68
Abbildung 48: Mittlere Sortenentwicklung des projizierten Vorrats des Rohholzpotenzials aller Baumartengruppen nach Szenario	69

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ergebnisse der Befragungen zu den Zielgrößen des Holzpräferenzszenarios	8
Tabelle 2: Umsetzung der Handlungsempfehlungen	10
Tabelle 3: Ermittlung der mittleren Zielstärken gemäß angepasster Umtriebszeiten je Baumart	11
Tabelle 4: Endnutzungsalter des HPS im Vergleich zum Basisszenario	12
Tabelle 5: Ergebnisse der Befragungen zu den Zielgrößen des Naturschutzpräferenzszenarios	20
Tabelle 6: Bewertungsschema für die Naturnähe der Baumartenzusammensetzung	24
Tabelle 7: Orientierungsrahmen für das Naturschutzpräferenzszenario	25
Tabelle 8: Umsetzung des Orientierungsrahmens und Ergebnisse	37
Tabelle 9: Beispielrechnung für die Herleitung der Altersklassen der Endnutzung für Deutschland	44
Tabelle 10: Datengrundlage für die Berechnung der anteiligen Aufschlüsselung des Rohholzpotenzials nach HAG aus allen Sorten für eine Nachlieferungsrate von $1,34 \text{ m}^3/\text{ha}^*\text{a}$ für das NPS	58
Tabelle 11: Ergebnisse der anteiligen Aufschlüsselung des Rohholzpotenzials nach HAG aus allen Sorten für eine Nachlieferungsrate von $1,34 \text{ m}^3/\text{ha}^*\text{a}$ für das NPS	58
Tabelle 12: Datengrundlage für die Berechnung der anteiligen Aufschlüsselung des Rohholzpotenzials nach HAG aus allen Sorten für eine Nachlieferungsrate von $0,45 \text{ m}^3/\text{ha}^*\text{a}$ für das HPS	59
Tabelle 13: Ergebnisse der anteiligen Aufschlüsselung des Rohholzpotenzials nach HAG aus allen Sorten für eine Nachlieferungsrate von $0,45 \text{ m}^3/\text{ha}^*\text{a}$ für das HPS	59
Tabelle 14: Datengrundlage für die Berechnung der anteiligen Aufschlüsselung des Rohholzpotenzials nach HAG aus allen Sorten für eine Nachlieferungsrate von $0,46 \text{ m}^3/\text{ha}^*\text{a}$ für das Basisszenario	59
Tabelle 15: Ergebnisse der anteiligen Aufschlüsselung des Rohholzpotenzials nach HAG aus allen Sorten für eine Nachlieferungsrate von $0,46 \text{ m}^3/\text{ha}^*\text{a}$ für das Basisszenario	60

1 Einleitung

Die Anpassung der Wälder und der Waldbewirtschaftung an die Folgen des Klimawandels, die Ausrichtung des Waldmanagements an Biodiversitäts- und Naturschutzziele, aber auch die Emissionsminderungspotenziale des Waldes zum Klimaschutz sind Kernpunkte der heutigen Waldklimapolitik. Die Planung und Gestaltung der zukünftigen Waldbehandlung und Holzverwendung wird von Seiten der Gesellschaft unterschiedlich bewertet. Daraus ergeben sich zahlreiche Interessenkonflikte. Mehr denn je sind daher Entscheidungshilfen gefragt, um die Handlungsoptionen und ihre Folgen wissenschaftlich zu bewerten.

Eine bedeutende Informationsquelle und Entscheidungsgrundlage für die zukünftige Waldbehandlung und Holzverwendung in Deutschland sind die Bundeswaldinventur (BWI) und die darauf aufbauende Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung (WEHAM). Auf der Grundlage der Bundeswaldinventur 2012 wurde in Zusammenarbeit von Vertretern des Bundes und der Bundesländer das WEHAM-Basisszenario entwickelt, das die gegenwärtige und die erwartete waldbauliche Praxis aufgrund von ökonomischen und legislativen Rahmenbedingungen abbildet. Die Einflüsse von Klima, Stürmen, Schädlingsbefall und die Entwicklung des Holzmarktes sind nicht im Modell enthalten.

Aus einem breiten Kreis von Akteuren aus Wirtschaft, Politik, Verwaltung und Verbänden wurde der Wunsch nach weiteren Szenarien geäußert, um alternative Waldbehandlungsmöglichkeiten aufzuzeigen und zu bewerten. Dies war der Anlass für das Verbundforschungsprojekt „Nachhaltigkeitsbewertung alternativer Waldbehandlungs- und Holzverwendungsszenarien unter besonderer Berücksichtigung von Klima- und Biodiversitätsschutz (WEHAM-Szenarien)“. Am Thünen-Institut für Waldökosysteme in Eberswalde wurden zwei alternative Waldbehandlungsszenarien entwickelt: das Holzpräferenzszenario (HPS) und das Naturschutzpräferenzszenario (NPS). Der Schwerpunkt des Holzpräferenzszenarios lag auf der Steigerung des Rohholzaufkommens. Im Naturschutzpräferenzszenario standen der Erhalt und die Förderung der Biodiversität und der Naturschutzleistungen im Wald im Mittelpunkt. Mit dem Modell WEHAM wurden auf Basis der Daten der BWI 2012 die zukünftige Waldentwicklung und das potenzielle Rohholzaufkommen für den Zeitraum 2012 bis 2052 geschätzt. Weiterhin wurden die Ansätze eines Szenarios erarbeitet, welches das Nutzungsverhalten zwischen den Bundeswaldinventuren 2002 und 2012 in die Zukunft fortschreiben soll. Dieses Szenario wird als Trendfortschreibungsszenario (TFS) bezeichnet.

Der vorliegende Bericht gibt in Kapitel 2 einen Überblick über die Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung, die Bundeswaldinventur und das WEHAM-Basisszenario. Im Anschluss daran werden die alternativen Szenarien vorgestellt. Dies geschieht im Hauptteil des Berichtes in den Kapiteln 3 bis 5. Hier werden jeweils Zielstellungen, Methodik und Ergebnisse der Szenarien dargelegt. Das Kapitel 6 ist der Thematik Totholz gewidmet. Für die Modellierung von Totholz wurde ein neues Verfahren entwickelt, welches außerhalb des Modells WEHAM agiert. Für die beiden alternativen Szenarien und das WEHAM-Basisszenario wurden Zieltotholzvorräte für das Ende des Projektionszeitraumes 2052 definiert und ihre Entwicklung berechnet. In Kapitel 7 erfolgt eine Gegenüberstellung und Bewertung der wichtigsten Ergebnisse des Holzpräferenz- und Naturschutzpräferenzszenarios, wobei das WEHAM-Basisszenario als Referenz dient. Ein zusammenfassendes Fazit schließt in Kapitel 8 den Bericht ab.

2 Modellierung und Daten

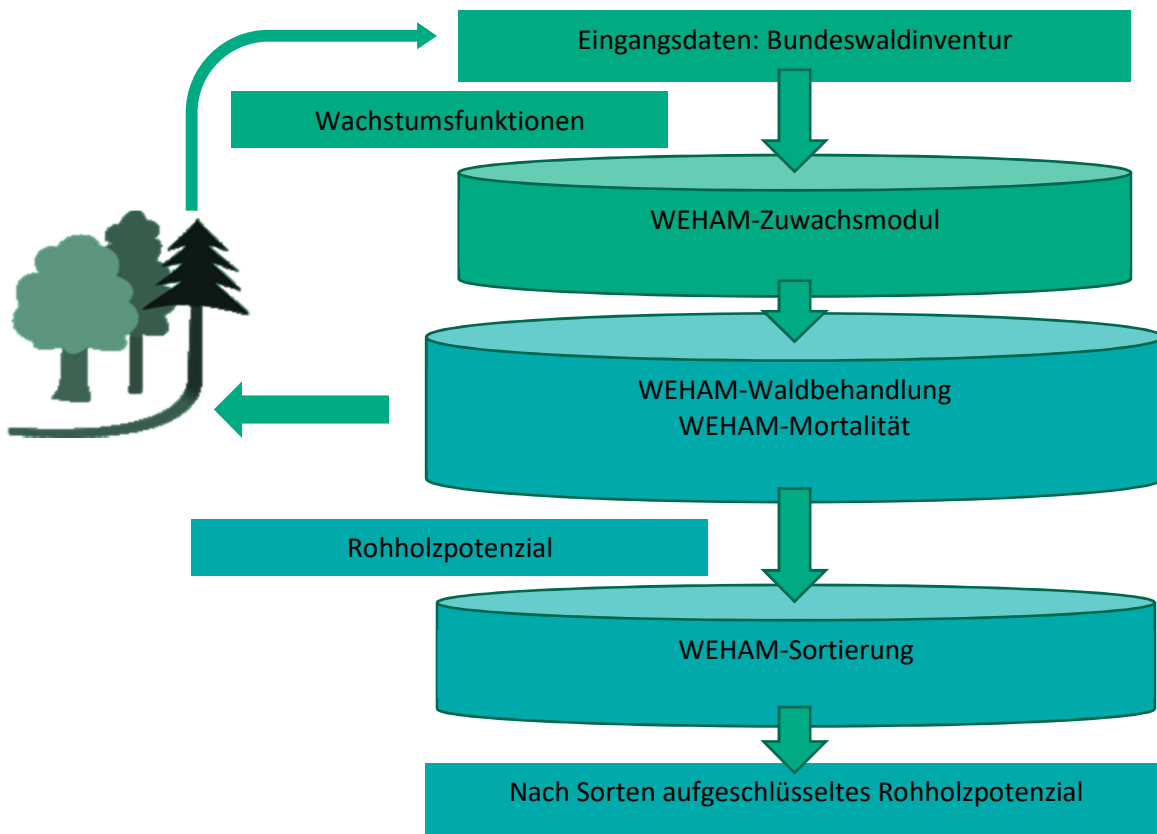
2.1 Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung

Die Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung ermöglicht einen Überblick über die Waldentwicklung und das potenzielle nutzbare Rohholzaufkommen der nächsten 40 Jahre in Deutschland, gegliedert nach Bundesländern, Waldeigentumsarten, Baumarten und verschiedenen Sortierungsmöglichkeiten. Daneben sind regionale Auswertungen möglich. WEHAM ist ein speziell auf die Daten und Strukturen der Bundeswaldinventur zugeschnittener, modular aufgebauter empirischer Einzelbaumwachstumssimulator. Das Modell besteht aus einem Zuwachs-, einem Behandlungs-, Mortalitäts- und einem Sortierungsmodul, welche der Reihe nach ineinandergreifen (Abbildung 1) (Rock et al. 2013, Bösch et al. 2016, Rock et al. 2016a).

Die Eingangsdaten, auch als Input bezeichnet, sind die in der BWI über Winkelzählproben aufgenommenen Einzelbaumdaten lebender oder kurz zuvor abgestorbener Bäume. Die in WEHAM enthaltenen Wachstumsfunktionen wurden aus den Daten der letzten Bundeswaldinventuren abgeleitet. Sie fließen in das Zuwachsmodul ein und werden dort genutzt, um Baumhöhen und Brusthöhendurchmesser (BHD) fortzuschreiben. Im Waldbehandlungsmodul wird über Steuerungsvorgaben und Waldbehandlungsmodelle aus den fortgeschriebenen Daten ein Rohholzpotenzial erzeugt. Dieses fließt in das Sortierungsmodul, in dem eine Einordnung des potenziellen Rohholzaufkommens in verschiedene Sorten vorgenommen wird.

Ein Szenario besteht aus dem in der BWI erfassten Zustand und einer bestimmten Zielstellung, aus der ein Handlungskonzept entwickelt wird. Das Handlungskonzept wird über die Steuerparameter der Waldbehandlung im Modell umgesetzt. Daraus wird über einen festgelegten Projektionszeitraum von 40 Jahren die Entwicklung des Waldzustandes und der Holznutzungen modelliert. Das Startjahr der Simulation ist 2012 und das Endjahr 2052. Die Ausgabe der Daten erfolgt in einem periodischen Abstand von fünf Jahren. Die modellierten Einzelbaumrohdaten werden im Rahmen von Hochrechnungen nach verschiedenen Auswertungseinheiten wie bei der BWI (Riedel et al. 2017) zu einem Schätzwert aggregiert. Die hochgerechneten Daten werden nach aussagekräftigen Klassifizierungen wie Baum- und Holzartengruppen, Bundesländer oder Gebiete, Eigentümer und Sorten dargestellt. Berechnete Zielgrößen sind beispielsweise Baumartenanteile oder Werte, wie Vorrat je Hektar und Jahr, in Abhängigkeit der verschiedenen Klassifizierungsmerkmale. Die Ergebnisse der WEHAM-Modellierung wurden den Projektpartnern in einem webbasierten Präsentationstool zur Verfügung gestellt, um die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen der unterschiedlichen Waldbehandlungen zu analysieren.

Abbildung 1: Modularer Aufbau von WEHAM



In einer Initialisierungsdatei (INI) können weitere WEHAM-spezifische Programmeinstellungen, unter anderem zur Waldbehandlung, Verjüngung und verschiedenen Simulationsparametern, vorgenommen werden. Für das Holzpräferenz- und Naturschutzpräferenzszenario wurden dieselben Voreinstellungen verwendet (Kapitel 2.1.2), während für das Trendfortschreibungsszenario noch andere Einstellungen getestet wurden, um den Trend der letzten Bundeswaldinventuren bestmöglich darzustellen.

Aussagen zum Zustand und der Entwicklung von Totholzvorräten sind nicht möglich, da das in der BWI erfasste Totholz und Zersetzungsraten nicht mit WEHAM dargestellt werden können. Obwohl ein Mortalitäts-Modell für WEHAM existiert, das stichproben- und baumartenweise die Grundfläche mit einem baumarten- und altersspezifischen Maximalwert der Mortalitätsgrenzkurven vergleicht (Bösch et al. 2016, Rock et al. 2016b), kommt dieses Modell aufgrund eines Entscheids von Bund und Bundesländern im WEHAM-Basisszenario weitestgehend nicht zum Einsatz. Im WEHAM-Mortalitätsmodul werden derzeit nur im Unterstand absterbende Bäume ausgegeben, die entweder einen Mittendurchmesser kleiner als 12 cm haben (Verjüngung) oder 20 Jahre ungenutzt waren. Dabei wird die Stammzahl der Verjüngung bei Überschreiten der Kluppschwelle von 7 cm auf 150 % der Stammzahlleitkurve reduziert (Bösch et al. 2016). Ebenso wird das Mortalitätsmodul auf Flächen mit Nutzungseinschränkung angewendet. Um die Ergebnisse der alternativen WEHAM-Szenarien mit dem Basisszenario vergleichen zu können, wurden dieselben Einstellungen des Mortalitätsmoduls im Rahmen des Projektes genutzt. Aufgrund der hohen Priorität von Totholz wurde deshalb eine externe Totholzmodellierung vorgenommen (Kapitel 6).

Das Modell WEHAM betrachtet weder wirtschaftliche Einflüsse, wie die Entwicklung von Holznachfrage und Preis, noch forsttechnische Größen wie Geländeneigung, Erschließung des Waldes oder klimatische Faktoren. Diese Veränderungen können nur ansatzweise und indirekt über die Umsetzung spezifischer Annahmen zu Eingriffsstärke und -intervall oder Sortiervorgaben in den Steuerdaten dargestellt werden (Rock et al. 2016b). Ebenso integriert WEHAM keine Konkurrenzverhältnisse und ist daher weitestgehend abstandsunabhängig. Allerdings beruht die Fortschreibung der Baumdaten auf dem Wachstum der Bäume in der Vergangenheit und legt somit doch eine gewisse Konkurrenz zugrunde (Kapitel 2.1.1).

2.1.1 Zuwachsmodul

Der Wachstumssimulator im Zuwachsmodul wird aus den Daten der zurückliegenden Wiederholungsmessungen der BWI parametrisiert. Somit werden die Einzelbäume der BWI-Eingangsdaten mithilfe des Zuwachsmoduls entsprechend der Variablen Alter und BHD einer Wachstumsfunktion zugeordnet und das BHD-Wachstum extrapoliert. Die dort genutzten Kurven sind vom Typus einer Sloboda-Funktion. Das Höhenwachstum wird analog über eine Tariffunktion beschrieben. Die Grundlage der Wachstumsfunktionen ist die Annahme, dass das Einzelbaumwachstum einer bestimmten Art und Dimension dem eines identischen Baumes zwischen BWI 2002 und BWI 2012 entspricht. Dabei werden die zurückliegenden bestandesspezifischen Konkurrenzsituationen und die Standortbedingungen indirekt berücksichtigt. Andere konkurrenzspezifische und ökophysiologische Reaktionen auf Reize oder Änderungen im Bestand werden nicht simuliert. Einzelne Baumarten wurden zu Baumartengruppen mit einem vergleichbaren Wachstum zusammengefasst, um für Baumarten mit wenigen Stichprobeneinheiten aus der BWI trotzdem ein repräsentatives Wachstum zu erhalten (Rock et al. 2016b).

2.1.2 Waldbehandlungsmodul

Das Waldbehandlungsmodul ist ein Managementsimulator mit der Option zur Nutzung verschiedener bundesland- und baumartenspezifischer Behandlungsmodelle. Die einzelnen Behandlungseinheiten werden nach Identifikationsmerkmalen klassifiziert. Zu diesen statischen Merkmalen gehören Bundesland, Eigentumsart und -größenklasse, Baumart und Alter des rechnerischen Reinbestandes (Bösch et al. 2016, Rock et al. 2016b). Die Steuerparameter der einzelnen Behandlungseinheiten sind: Eingriffsart, Eingriffsintervall, BHD-Minimum, Mittelhöhe, Zielstärke, Entnahmeprozent, Toleranz, Zeitpunkt und Intensität der Durchforstungen (Bösch et al. 2016). Die Eingriffsart lässt sich wiederum in Jungwuchspflege und verschiedene Durchforstungsarten wie Auslese-, Gleich- bzw. Reihen-, Nieder-, Hochdurchforstung und Endnutzung unterscheiden (Bösch et al. 2016, Rock et al. 2016b). Bestandeskennzahlen wie Stammzahl, Grundfläche oder Vorrat der simulierten Reinbestände werden mit Sollvorgaben aus verschiedenen Leitkurven (z.B. aus Ertragstabeln) verglichen, die für jede Eingriffsart im Modell hinterlegt sind (Rock et al. 2016b). Das Eingriffsintervall bestimmt die Häufigkeit der Durchforstungen. Das BHD-Minimum und die Mindestmittelhöhe bestimmen die Durchmesser bzw. Mittelhöhen, ab denen eine Nutzung stattfindet. Die Zieldimension der BHDs zu nutzender Bäume kann über die Zielstärken festgelegt werden. Bei jungen Bäumen mit einem Mitteldurchmesser unter 15 cm werden maximal 50 % des gegenwärtigen Bestands bei einer Durchforstung entnommen. Ein Durchforstungseingriff erfolgt grundsätzlich erst bei Erfüllung der verschiedenen, über die Steuerparameter festgesetzten Bedingungen

(Rock et al. 2016b). Die Endnutzung eines Bestandes kann über die Toleranz in einem bestimmten Zeitraum variiert werden. Sie ist entweder flächig oder iterativ selektiv durch eine über Zielstärken gesteuerte Abnutzung (Rock et al. 2016b). Eine Verjüngung findet im Modell erst statt, sobald eine Fläche komplett geräumt ist, und wird entweder über die Baumarten des Vorbestandes geprägt oder über die Zuschaltung neuer Baumarten begründet (Bösch et al. 2016).

Im Rahmen der waldbaulichen Behandlung wurde für das Holzpräferenz- und Naturschutzpräferenzszenario in der INI für die Durchforstung 25 % des Ist-Vorrates des Hauptbestandes (bei einem Mitteldurchmesser über 15 cm) als maximal mögliche Eingriffsstärke festgelegt, damit eine Übernutzung verhindert wird (Bösch et al. 2016). Bei einer Zielstärkennutzung liegt der maximale Eingriff bei 30 % des Hauptbestandes, um auch dort eine Übernutzung zu vermeiden. Das maximale Alter der Bäume bei der Kulturverjüngung wurde in der INI auf 20 Jahre festgelegt, wodurch sich für diese Jungbestände ein mittleres Alter von etwa 10 Jahren ergibt.

2.1.3 Sortierungsmodul

Die über das Waldbehandlungsmodul erzeugten potenziellen Nutzungsmengen werden im Sortierungsmodul nach verschiedenen Sortiervarianten aufgeteilt. Die Varianten werden nach Baumartengruppen und Bundesländern unterschieden. Weiterführende Informationen zu den Sortiervarianten sind in Bösch et al. (2016) zu finden. Die Anwendung der Sortiermodelle findet einzelbaumweise auf die Durchforstungsentnahmen statt, wobei lediglich die Dimension der Stämme Berücksichtigung findet (Rock et al. 2016b). In der BWI werden weder Holzqualitäten noch Verwendungsmöglichkeiten erfasst.

Die Steuereinstellungen für die Rohholzsortierung wurden aus der Alternativsortierung des Basisszenarios (Kapitel 2.3) übernommen. Diese enthalten die bereits in allen Berechnungen zum Basisszenario definierten Zopfdurchmesser, wobei sämtliches Stammholz in Abschnitte von 3 m Länge sortiert wird.

2.2 Bundeswaldinventur

Der Waldzustand, der mit der BWI erhoben wird, bildet die Datengrundlage für das Modell WEHAM. Die BWI ist eine terrestrische Stichprobeninventur, die alle zehn Jahre vollzogen wird. Sie wurde nach 1987 im Jahr 2002 erstmals im wiedervereinigten Deutschland durchgeführt und mit Stichjahr 2012 wiederholt, so dass die BWI 2012 die erste deutschlandweite Wiederholungsinventur ist.

Die BWI erfasst den Zustand, den strukturellen Aufbau, die Veränderung und den Zuwachs des Waldes in allen Bundesländern und Eigentumsarten (Schmitz et al. 2014). Die BWI nutzt ein einheitliches terrestrisches Stichprobeverfahren mit permanenten Probepunkten eines systematischen Stichprobennetzes mit unterschiedlichen Verdichtungen (Schmitz et al. 2014, Riedel et al. 2017). Die Datenaufnahme erfolgt an den Ecken der quadratischen Traktstichprobe mit 150 m Kantenlänge. An jeder Traktecke im Wald erfassen die Inventurtrupps unter anderem die Baumart, Durchmesser und Höhe von ausgewählten Probebäumen (BMELV 2011). Die Stichprobenbäume wurden durch eine Winkelzählprobe

mit dem Zählerfaktor 4 ausgewählt. Ebenso wurden Daten zur Waldstruktur und zum Totholz in weiteren Probekreisen aufgenommen (BMELV 2011). Insgesamt wurden über 150 verschiedene Merkmale an einer Ecke aufgenommen. Die Daten der BWI 2012 wurden von 60 Inventurtrupps deutschlandweit erhoben. Dabei wurden rund 420.000 Bäume an etwa 60.000 Stichprobenpunkten vermessen (Schmitz et al. 2014). Die Ergebnisse der BWI 2012 sind in Schmitz et al. (2017a) und unter dem Link <https://bwi.info.de> zu finden.

2.3 Basisszenario

Das WEHAM-Basisszenario schätzt auf Grundlage der BWI 2012, wie sich der Wald entsprechend der Ausgangslage entwickelt und mit welchem potenziellen Rohholzaufkommen gerechnet werden könnte. Diesem Szenario wurde eine Waldbehandlung aufbauend auf den Erfahrungen der letzten Jahre und Erwartungen an die kommenden Jahre unterstellt (Rock et al. 2016b). Die Erstellung des Szenarios mit den spezifischen Modelleinstellungen wurde in enger Kooperation von Bund und den Bundesländern ausgearbeitet. Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, berücksichtigt das Modell keine wirtschaftlichen Einflüsse, forsttechnischen Größen und klimatischen Faktoren. Ebenso wurden individuelle Ziele verschiedener Eigentümergruppen, beispielsweise zur Höhe und Intensität der Nutzung und Baumartenwahl, nicht betrachtet. Ein Baumartenwechsel im Rahmen der Waldverjüngung wurde im Basisszenario nur begrenzt abgebildet, da zur Neubegründung zufällig Einzelbäume aus dem Altbestand gezogen wurden. Weiterführende Informationen zum Basisszenario sind in Rock et al. (2016b) und Schmitz et al. (2017b) und unter dem Link <https://bwi.info.de> zu finden.

3 Das Holzpräferenzszenario

3.1 Hintergrund

Im Rahmen des Stakeholderprozesses wurden Interessenvertreter aus den Bereichen Holzverarbeitung, Staatswald und Naturschutz sowie Waldbesitzer in einem mehrstufigen Verfahren zu ihren Vorstellungen hinsichtlich der Ausgestaltung alternativer WEHAM-Szenarien befragt (Rosenkranz et al. 2017). Im Vorfeld des ersten Stakeholderworkshops wurden die verschiedenen Interessenvertreter gebeten, an einer Onlinebefragung teilzunehmen. Ziel aus der Perspektive der Modellierer war es, möglichst konkrete Vorgaben zu den modellrelevanten, waldbaulichen Steuergrößen, wie zukünftigem Laub- und Nadelholzanteil, zukünftigen durchschnittlichen Umtriebszeiten (UTZ), Zielstärken und angestrebtem Gesamtvorrat, zu erhalten. Auf dem ersten Stakeholderworkshop wurden dann Arbeitsgruppen gemäß der oben genannten Arbeitsbereiche gebildet und die Teilnehmer wurden gebeten, gemeinsam die Angaben zu den Zielgrößen zu spezifizieren und quantifizieren. Die Ergebnisse der Befragungen sind in Tabelle 1 dargestellt.

Der Austausch mit den Interessenvertretern und die Abfrage von quantitativen Zielwerten sollten den Entwicklungsprozess der Szenarien unterstützen und konkrete Leitplanken für die Steuerparameter vorgeben. Wie die Übersicht in Tabelle 1 zeigt, weisen die Angaben zu einzelnen Zielgrößen eine große Spanne auf. Teilweise widersprechen sich die Vorstellungen zwischen verschiedenen Zielgrößen. Beispielsweise ergab das Ergebnis der Onlinebefragung, dass der Gesamtvorrat gegenüber dem derzeitigen Vorrat sinken, aber der Totholzvorrat ansteigen soll. Die Befragung ergab des Weiteren keine wesentlichen Änderungen zum Ist-Zustand in der Verteilung von Laub- und Nadelholzanteilen, jedoch soll der Anteil nichtheimischer Baumarten signifikant steigen. Die Zielvorstellungen der Interessenvertreter für das Holzpräferenzszenario (HPS) sind daher nur als Leitplanken zu verstehen, die den Handlungsrahmen skizzieren, in deren Grenzen die Entwicklung des Szenarios und die waldbauliche Umsetzung der modellinternen Parameter erfolgt ist.

Tabelle 1: Ergebnisse der Befragungen zu den Zielgrößen des Holzpräferenzszenarios

Zielgrößen	Onlinebefragung	1. Stakeholder-Workshop	Befragung im Projektverbund
Laubholzanteil (Istzustand: 44 %)	40 %	25-40 %	37-40 %
Baumartengruppe Buche	10-30 %	30 %	22-25 %
Baumartengruppe Eiche	10-22 %	10 %	12-15 %
Nadelholzanteil (Istzustand 56 %)	60 %	60-75 % (100 %)	60 %
Baumartengruppe Fichte	25-50 %	30 %	40 %
Baumartengruppe Kiefer	10-30 %	25 %	19-20 %
Anteil nichtheimischer Baumarten	0-40 %	35-70 % (100 %)	15 %
Umtriebszeit Buche (Istzustand: 160 J.) / Zielstärke	90-160 J./ 55-70 cm	55-70 cm	105-110 J.
Umtriebszeit Eiche (Istzustand: 200 J.) / Zielstärke	100-240 J./ 60-75 cm	60-70 cm	115-160 J.
Umtriebszeit Fichte (Istzustand: 125 J.) / Zielstärke	70-130 J./ 40-70 cm	50-70 cm	80-90 J.
Umtriebszeit Kiefer (Istzustand: 140 J.) / Zielstärke	80-180 J./ 40-65 cm	40-50 cm	95-100 J.
Umtriebszeit Ahorn/Esche (Istzustand: 133 J.)	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben
Umtriebszeit Erle/Weide (Istzustand: 86 J.)	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben
Umtriebszeit Pappel (Istzustand: 68 J.)	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben
Umtriebszeit Tanne (Istzustand: 129 J.)	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben
Umtriebszeit Douglasie (Istzustand: 122 J.)	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben
Umtriebszeit Lärche (Istzustand: 127 J.)	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben
Holzvorratsentwicklung (Istzustand: 336 m ³ /ha)	250-300 m ³	keine Angaben	250-300 m ³ (288 m ³)
Stilllegungsfläche (Istzustand: 4,2 % ohne Nutzung)	0-10 %	0 %	Status quo
Flächen mit reduzierten Holzaufkommen (Istzustand: Auf 1,87 % der Fläche 1/3 des üblichen Aufkommens erwartbar)	keine Angaben	keine Angaben	Status quo
Flächen mit reduzierten Holzaufkommen (Istzustand: Auf 2,62 % der Fläche 2/3 des üblichen Aufkommens erwartbar)	keine Angaben	keine Angaben	Status quo
Habitatbäume (Istzustand: 2,2 Bäume/ha)	0,1-20	0-5 %	Status quo
Totholzvorrat (Istzustand: 20,6 m ³ /ha)	5-30 m ³	0-10 m ³	Status quo
Nichtderbholnutzung	20-100 %	40-60 %	25-33 %

3.2 Zielstellungen und Szenarienbeschreibung

Aus den Handlungsempfehlungen der Stakeholder und der fachlichen Expertise der Modellierer bezüglich modellbedingter Umsetzbarkeit der Vorgaben und forstwirtschaftlicher Machbarkeit wurde am Thünen Institut für Waldökosysteme das Holzpräferenzszenario ausgebaut und die Zielsetzung abgeleitet.

Im Mittelpunkt des HPS steht die nationale Holzversorgung. Gegenwärtig ist der Gesamtvorrat im deutschen Wald mit 336 m³/ha verglichen mit der Vergangenheit sehr hoch. Durch eine wahrscheinlich weiter steigende Nachfrage nach dem nachhaltigen Rohstoff Holz in der Zukunft würde ein stetiger Vorratsanstieg unweigerlich zur Unterversorgung mit einheimischen Hölzern in Deutschland führen. Das Holzpräferenzszenario zielt deshalb auf eine Absenkung der Holzvorräte im Wald und eine dementsprechende Steigerung des Rohholzaufkommens ab. Anders als bei den Vorgaben des Basisszenarios von Bund und Bundesländern werden das Produktionsende und die Zielstärken gemäß Analysen des Vorratszuwachses nach Baumartengruppen und Baumaltersklassen optimiert. Die Produktionszeiträume aller Baumartengruppen verkürzen sich dadurch im Vergleich zum Basisszenario stark und die Zielstärken sind ebenfalls geringer. Um einen voraussichtlich steigenden Holzbedarf der Zukunft zu decken, wird im HPS die ertragreiche Nadelbaumart Douglasie gefördert. Dazu werden Fichten- und Kiefernbestände am Ende der Produktionszeit zu 50 % mit Douglasie verjüngt. Zur Risikostreuung werden alle anderen Bestände im gleichen Umfang mit Baumarten der natürlichen Waldgesellschaft verjüngt. Die Annahmen zu Nutzungseinschränkungen werden nicht verändert und entsprechen denen im Basisszenario.

Wirtschaftliche und ökologische Einflüsse auf den Wald bleiben beim HPS unberücksichtigt. Jedoch wurden die Szenarienergebnisse durch die Verbundprojektpartner bezüglich ihrer ökologischen und ökonomischen Auswirkungen bewertet (Rosenkranz und Seintsch 2015, Meier-Landsberg und Schweinle 2017).

3.3 Methodik

Ausgangspunkt der Umsetzung des HPS ist die Analyse der mit Bund und Bundesländern abgestimmten Steuerparameter des WEHAM-Basisszenarios (Rock et al. 2016a), die die wahrscheinlichste Entwicklung des zukünftigen Holzaufkommens darstellen sollen. Die Handlungsempfehlungen der Stakeholder sowie die quantitativen Zielgrößen für das HPS wurden ausgehend vom Steuerdatensatz des Basisszenarios weiterentwickelt und in einem iterativen Prozess angepasst.

Eine Vorgabe für das HPS ist eine deutlich gesteigerte Nutzung des Rohstoffs Holz in der Zukunft und ein damit einhergehendes Absenken der Holzvorräte im Wald von gegenwärtig 336 m³/ha (Schmitz et al. 2014) auf das Niveau der ersten Bundeswaldinventur 1987 (289 m³/ha)¹. Damit wird in begrenztem Maße über dem Zuwachs genutzt. Dazu wurde durch eine gezielte Durchforstung der laufende Zuwachs

¹ Die Reduktion des Holzvorrats bis auf das Niveau der BWI 1987 wurde im Jahr 2008 schon einmal vom Thünen Institut im Auftrag des BMELV für die Clusterstudie im Szenario „F“ berechnet.

optimiert und der Gesamtwuchs durch optimierte Nutzungszeiträume maximiert. Die Absenkung der Nutzungszeiträume über alle Baumarten entspricht auch einer der wichtigsten Stakeholdervorgaben (Tabelle 1).

In der waldbaulichen Praxis wird bei der Nutzung zwischen Vor- und Endnutzung unterschieden. Während die Vornutzung die waldbaulichen Durchforstungsmaßnahmen zur Entwicklung des Bestandes beschreibt, wird die Endnutzung gezielt zur Ernte von hiebsreifen Bäumen eingesetzt. Da im deutschen Wald weitgehend ohne Kahlschläge gearbeitet wird, ist eine klare Unterscheidung von Vor- und Endnutzung nicht möglich. In WEHAM ist eine flächige Endnutzung für einen Generationswechsel auf der Fläche jedoch notwendig. In der Praxis vollzieht sich die Verjüngung auf Auflichtungsflächen aber kleinflächiger und über einen längeren Zeitraum (Polley und Kroiher 2006). Da die in der BWI 2012 real ermittelten Umtriebszeiten also nicht erkennen lassen, ob die Bäume aufgrund von Vor- oder Endnutzung entnommen wurden, wurde der Ansatz verworfen, neue Nutzungszeiträume und Zieldurchmesser durch den Vergleich der Steuerparameter des WEHAM-Basissszenarios mit den Daten der BWI 2012 zu ermitteln. Stattdessen wurde zur Ermittlung der angepassten Umtriebszeiten und Zielstärken analysiert, wie sich der laufende jährliche Zuwachs über die Baumaltersklassen verteilt und wann das Zuwachsmaximum erreicht ist.

3.4 Steuereinstellungen

Die aus dem Stakeholderprozess resultierenden Zielgrößen für das Szenario wurden entsprechend Tabelle 2 umgesetzt. Für die Festlegung der einzelnen Steuerparameter wurden umfangreiche Voruntersuchungen und Testläufe durchgeführt. Die finalen Steuereinstellungen für das HPS sind Ergebnis eines langen iterativen Prozesses.

Tabelle 2: Umsetzung der Handlungsempfehlungen

Zielgröße	Stakeholderempfehlung	Umsetzung
Laubholzflächenanteil (Istzustand: 44 %)	↓	→ teils deutliche Änderungen bei den Baumartengruppen
Nadelholzflächenanteil (Istzustand: 56 %)	↑	→ teils deutliche Änderungen bei den Baumartengruppen
Anteil nichtheimischer Baumarten	↑	↑ Douglasie: von 2 % auf 17 % an der Waldfläche
Umtriebszeiten	↓	↓ differenziert nach Bundesländern, Eigentumsarten, Baumarten
Holzvorrat (Istzustand: 336m ³ /ha)	↓	↓ 289m ³ /ha
Nutzungseinschränkungen	→	→
Totholzvorrat	→	→ außerhalb von WEHAM modelliert
Habitatbäume	→	→ nicht mit WEHAM darstellbar

Während der Arbeiten am Szenario wurden zur besseren Übersicht über die Parametrisierung der Waldbehandlung in den Vorläufen bundesweit einheitliche Werte für das Nutzungsalter der

Baumartengruppen verwendet. Nachdem hiermit zufriedenstellende Ergebnisse auf Bundesebene erzielt worden waren, wurde die prozentuale Abweichung vom mittleren Nutzungsalter pro Baumartengruppe im Basisszenario ermittelt (Tabelle 3). Diese Abweichung wurde dann auf die differenzierten Nutzungsalter des Basisszenarios übertragen, um eine ähnliche räumliche Differenzierung abzubilden.

In Fällen, in denen im Basisszenario eine dauerwaldartige Bewirtschaftung vorgesehen war (Nutzungsalter „unendlich“), führte diese Anpassung jedoch nicht zu den gewünschten erhöhten Nutzungsmengen. Daher wurden die Zielstärken der einzelbaumweisen Endnutzung um 10 cm oder mehr abgesenkt, um den gewünschten Effekt der Nutzungsintensivierung abzubilden. In allen anderen Fällen wurden die über die Ertragstafeln analytisch ermittelten Zielstärken übernommen (Tabelle 4).

Tabelle 3: Ermittlung der mittleren Zielstärken gemäß angepasster Umtriebszeiten je Baumart

Baumartengruppe	angepasstes Nutzungsalter	Zielstärke BHD [cm] laut Ertragstafel ^a	Zielstärke BHD [cm] laut BWI 2012 ^b	Zielstärke angepasst
Fichte	80	40	35	40
Kiefer	80	39	30	40
Buche	103	54	37	45
Eiche	113	29	40	45
Tanne	100	50	39	40
Douglasie	90	51	54	50
Lärche	95	44	41	45
Ahorn/Esche	100	31	31	40
Erle/Weide	70	37	27	35
Pappel	60	37	24	30

^a Ertragstafel nach Schober (1987): mittlerer Durchmesser im Endnutzungsalter, mäßige Durchforstung, 2. Ertragsklasse, verbleibender Bestand

^b BWI 2012: Brusthöhendurchmesser des Grundflächenmittelstammes nach Baumartengruppen und Baumaltersklassen (rechnerischer Reinbestand)

Um die Zielstellung des Szenarios hinsichtlich der Förderung zuwachsstarker Nadelbaumarten umzusetzen, wurde der in WEHAM implementierte Baumartenwechsel genutzt. Der Anteil der Verjüngungsflächen mit Baumartenwechsel wurde nach mehreren Tests auf 50 % eingestellt. Als Zielbaumart der Verjüngung wurden auf Flächen, die bisher mit Kiefern und Fichten als Hauptbaumart bestockt sind, Douglasien eingesetzt. Auf allen anderen Flächen wurde die Verjüngung mit den in der BWI verwendeten Baumarten der natürlichen Waldgesellschaft durchgeführt. Damit wird der gegenwärtige Zustand naturschutzfachlicher Maßnahmen gewahrt.

Da WEHAM zur Entzerrung der Nutzung das tatsächliche Alter der flächigen Nutzung der Stichprobenpunkte um eine Toleranz moduliert, entstehen durch die oben genannte Verkürzung der differenzierten Nutzungsalter und Berücksichtigung dieser Modulation Fälle, in denen die tatsächliche flächige Nutzung bereits in einem Alter von unter 60 Jahren erfolgt. Da dies im Szenario nicht erwünscht ist, wurden die eingestellten Werte für den Parameter Toleranz entsprechend reduziert.

Tabelle 4: Endnutzungsalter des HPS im Vergleich zum Basisszenario

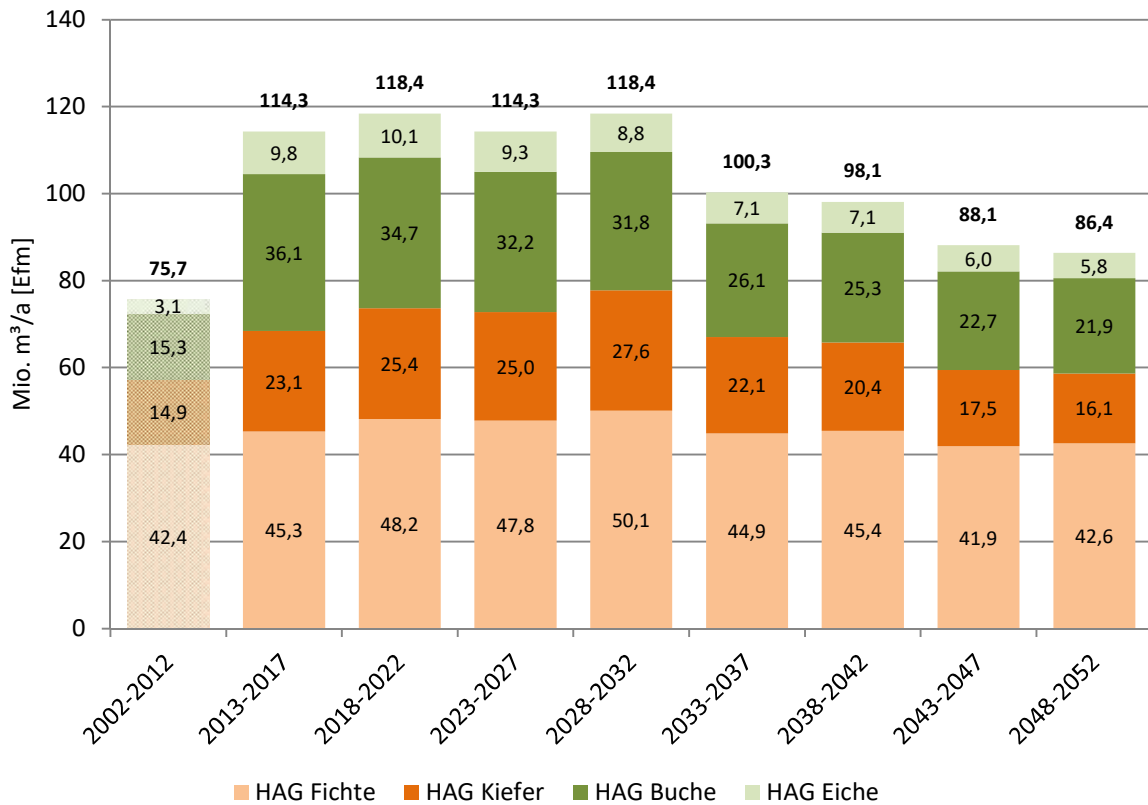
Baumartengruppe	mittleres Endnutzungsalter gemäß Basisszenario	angepasstes Endnutzungsalter gemäß HPS	prozentualer Anteil	Prozentuale Abweichung zum Basisszenario
Fichte	121	80	66 %	-34 %
Kiefer	136	80	59 %	-41 %
Buche	159	120	75 %	-25 %
Eiche	187	140	75 %	-25 %
Tanne	129	100	78 %	-22 %
Douglasie	122	90	74 %	-26 %
Lärche	127	95	75 %	-25 %
Ahorn/Esche	133	100	75 %	-25 %
Erle/Weide	86	70	81 %	-19 %
Pappel	68	60	88 %	-12 %

3.5 Ergebnisse

3.5.1 Projiziertes Rohholzpotenzial

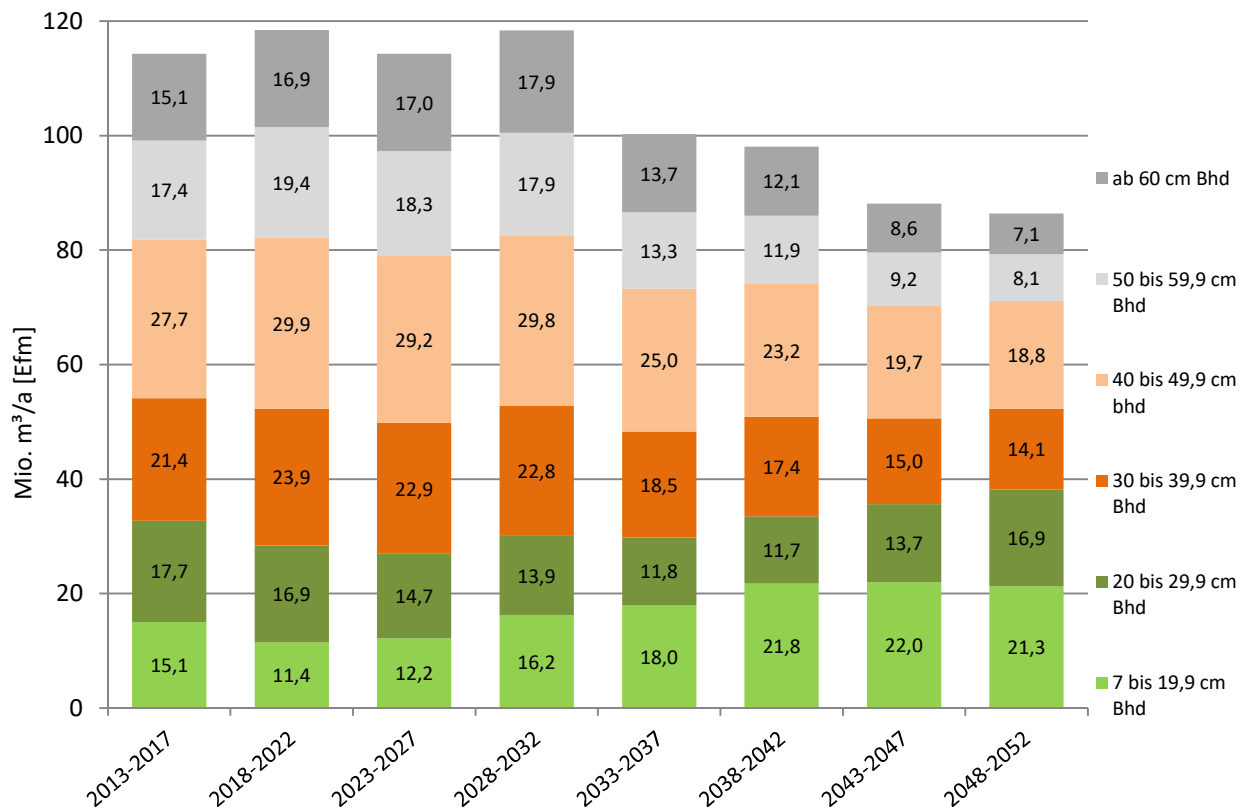
Das mittlere Rohholzpotenzial des HPS liegt durchschnittlich bei 105 Mio. m³/a. In den ersten zwanzig Jahren des Projektionszeitraumes ist das potenzielle Rohholzaufkommen des HPS aufgrund der Altersstruktur höher, so dass der Holzvorrat der Altbestände abgebaut wird (Abbildung 2). Damit ist vorübergehend eine verstärkte Holznutzung möglich. Wenn nach dem Jahr 2032 die erntereifen Altbestände weitgehend genutzt sind, sinkt das Rohholzaufkommen von der vierten zur fünften Betrachtungsperiode um 18 Mio. m³/a und nimmt damit erheblich ab. Diese abnehmende Tendenz setzt sich bis zum Ende der Projektion fort. Somit sinken die Rohholzpotenziale im Betrachtungszeitraum, bei Fichte und Kiefer um 31 %, bei Buche um 36 % und bei Eiche um 41 %. Die einzige Baumart mit einer Zunahme des Rohholzpotenzials ist die Douglasie, deren Potenzial von 2,2 Mio. m³/a (2013-2017) auf 12,9 Mio. m³/a (2048-2052) steigt. Das Rohholzpotenzial des HPS liegt zu allen Betrachtungszeitpunkten deutlich über dem der BWI 2012.

Abbildung 2: Vergleich des Rohholzpoteziels nach Holzartengruppe und Periode für die BWI (2002-2012) und das HPS für den Projektionszeitraum (2013-2052)



Der Rückgang des potenziellen Rohholzaufkommens nach dem Jahr 2032 betrifft vor allem den Durchmesserbereich ab 40 cm BHD (Abbildung 3). Die Abnahme im Bereich 20 bis 40 cm BHD wird durch eine Zunahme bei BHD's bis 20 cm ausgeglichen. Bei der Holzartengruppe Fichte ist der Rückgang am geringsten, weil fehlendes Fichtenholzaufkommen durch Douglasie kompensiert wird.

Abbildung 3: Rohholzpotenziale aller Baumarten nach Durchmesserklassen für den Projektionszeitraum 2013-2052



3.5.2 Vorräte

Der Holzvorrat im HPS wird von 345 m³/ha auf 289 m³/ha reduziert (Abbildung 4), womit der Hektarvorrat um 19 % abgesenkt wird. Dies entspricht einem Gesamtvorrat von 3,2 Mrd. m³, wobei 1,2 Mrd. m³ auf Laubbäume und 1,9 Mrd. m³ auf Nadelbäume entfallen (Abbildung 5). Der Vorrat der Nadelbäume sinkt zwischen 2012 und 2052 um 32 m³/ha auf insgesamt 179 m³/ha. Die Vorratsabsenkung fällt bei den Laubbäumen mit 24 m³/ha auf insgesamt 109 m³/ha hingegen geringer aus. Besonders deutlich ist der Rückgang des Vorrates bei Fichte um 36 m³/ha und bei Kiefer um 28 m³/ha. Einzig bei der Douglasie ist der Vorrat um 37 m³/ha angestiegen.

Abbildung 4: Entwicklung der Vorräte über alle Baumarten

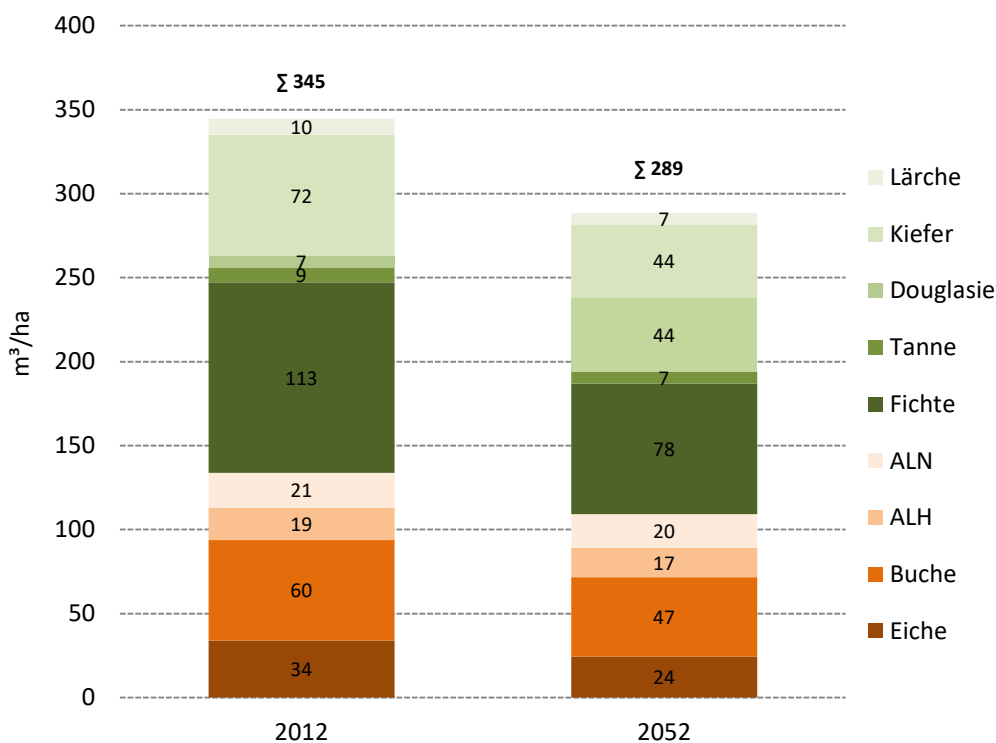
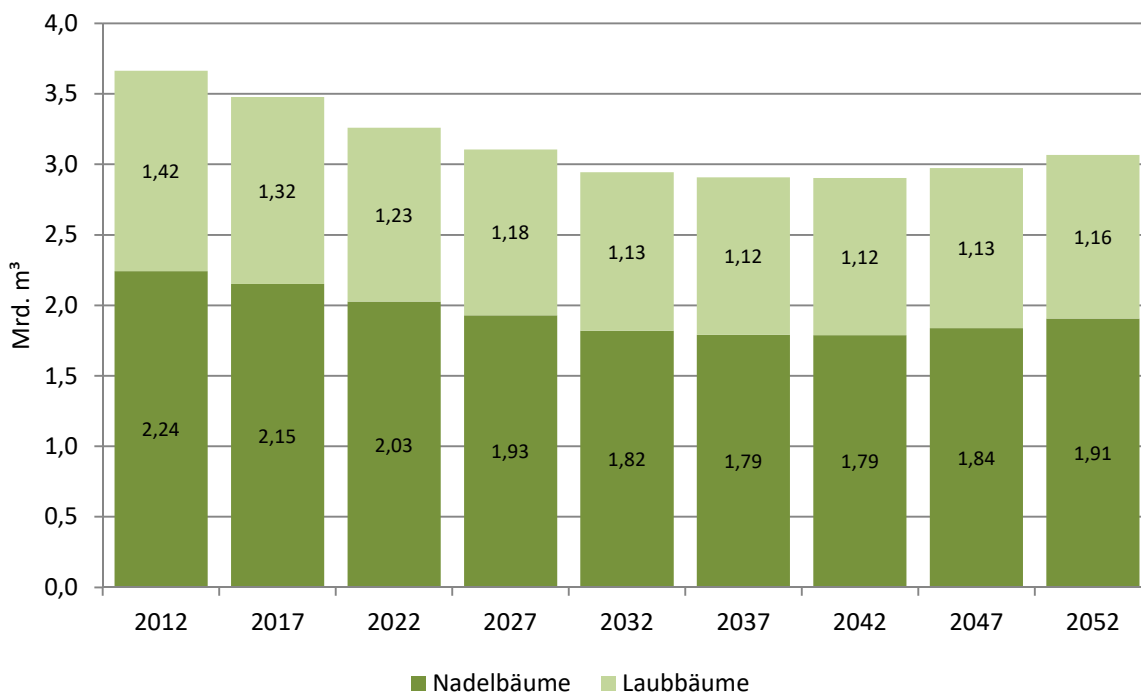
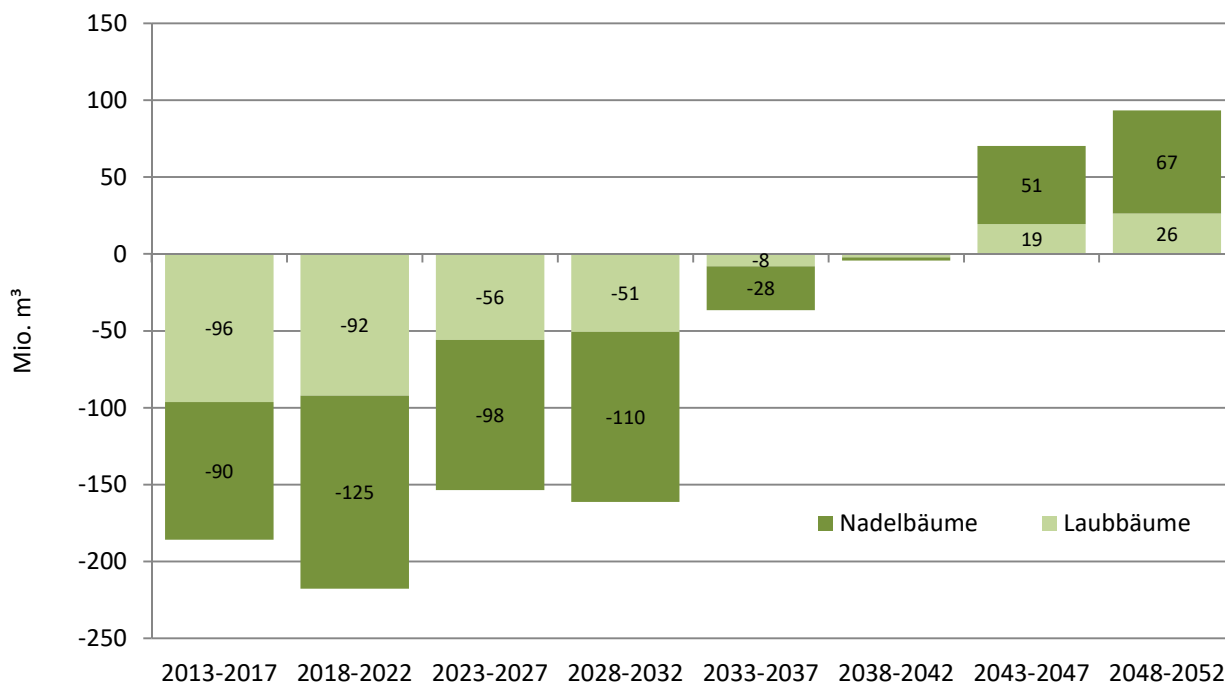


Abbildung 5: Entwicklung der Holzvorräte für Laub- und Nadelbäume zwischen 2012 und 2052



Im HPS wird wegen des geringeren Erntealters in den ersten zwanzig Jahren Holzvorrat abgebaut (Abbildung 6). Danach wird weniger Holz entnommen und der Holzvorrat pendelt sich auf ein Niveau ein, das der sich entwickelnden Altersstruktur und Baumartenzusammensetzung entspricht.

Abbildung 6: Änderung des Holzvorrates für Laub- und Nadelbäume über den Projektionszeitraum

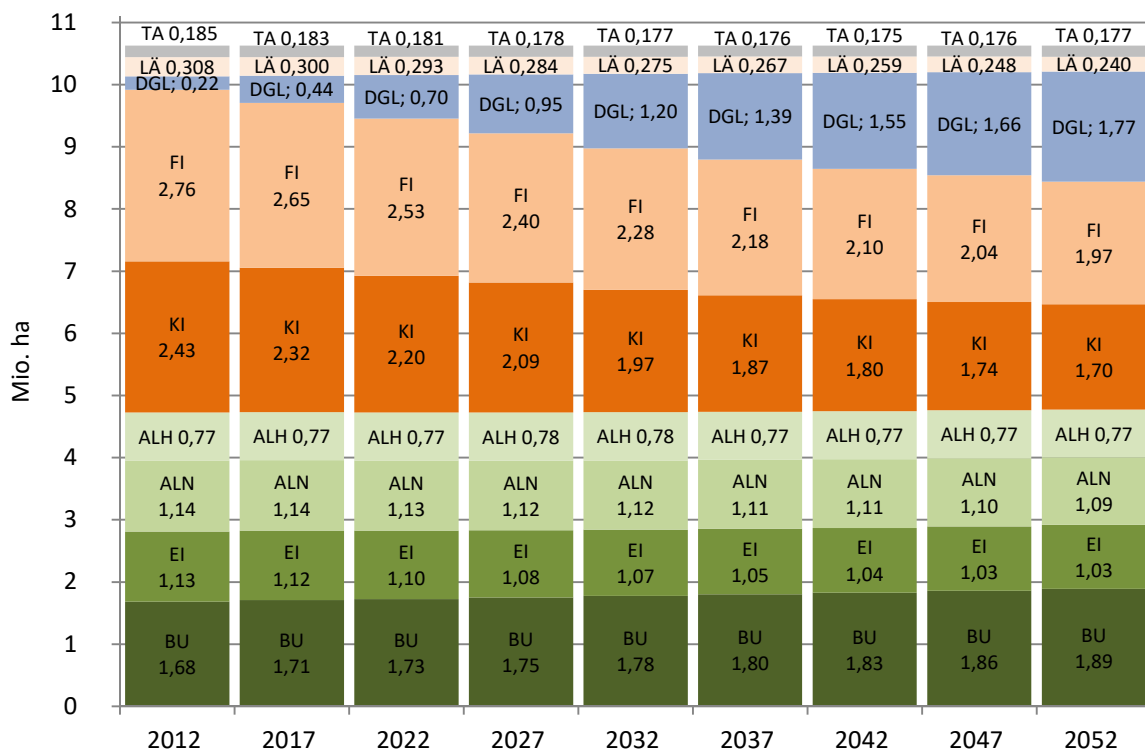


3.5.3 Baumartenflächen

Im HPS verändert sich aufgrund der Waldbewirtschaftung die Baumartenzusammensetzung und damit auch die Baumartenfläche (Abbildung 7). Im Jahr 2052 prägen zwar nach wie vor Fichten, Kiefern, Buchen und Eichen das Waldbild auf 62 % der Flächen. Besonders auffällig ist jedoch der Rückgang der Kiefernfläche um 30 % und der Fichtenfläche um 29 %. Dafür steigt die Douglasienfläche innerhalb von 40 Jahren um 1,55 Mio. ha auf das Achtfache an und nimmt einen Anteil von 17 % der Gesamtwaldfläche ein. Dies resultiert aus dem Verjüngungsprozess, bei dem nach der Nutzung von Fichten oder Kiefern auf 50 % dieser Flächen Douglasien gepflanzt werden. Das ist ein extremer Anstieg, den es in der jüngeren Vergangenheit bei keiner Baumart gegeben hat. Bei einer Trendfortschreibung aus der zweiten und dritten Bundeswaldinventur wäre lediglich eine Zunahme der Douglasienfläche um 150.000 ha in 40 Jahren zu erwarten. Die Zunahme der Douglasienfläche geht etwa zu gleichen Teilen zu Lasten der Fichte und Kiefer. Die Kiefernfläche nimmt im Modell jedoch doppelt so schnell ab, wie im Vergleich der zweiten und dritten Bundeswaldinventur. Nur die Abnahme der Fichtenfläche ist im Modell ungefähr konform zur tatsächlichen Entwicklung in der Vergangenheit.

Bei den Laubbäumen wurde kein aktiver Baumartenwechsel modelliert. Die geringfügigen Flächenänderungen ergeben sich aus dem unterschiedlichen Wachstum der Baumarten.

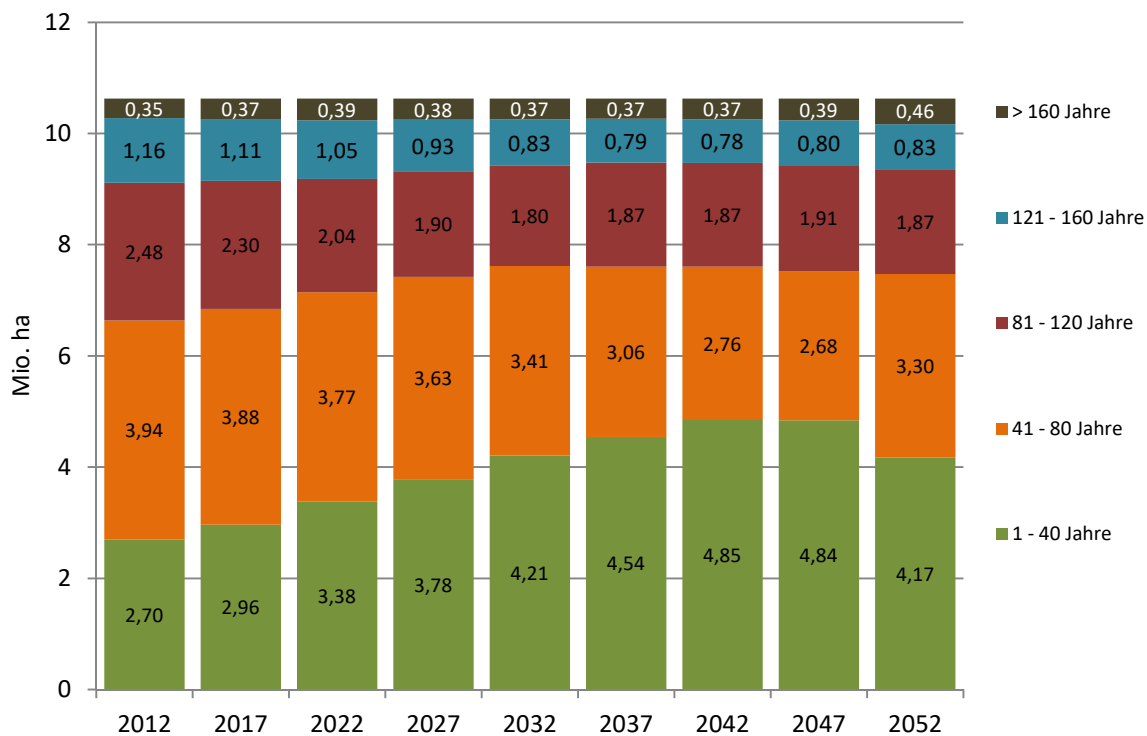
Abbildung 7: Entwicklung der Baumartenflächen nach Projektionsperioden



3.5.4 Altersstruktur

Das HPS ist durch eine deutliche Zunahme um 55 % der Jungbestände bis zum Alter von 40 Jahren gekennzeichnet (Abbildung 8). Der Anteil der Waldflächen mit Bäumen im Alter von 121 Jahren bis 160 Jahren nimmt ab. Der Grund hierfür sind die Effekte der deutlich herabgesetzten Umtriebszeiten. Die Fläche der Bäume im Alter über 160 Jahre nimmt leicht zu, da diese Bäume nicht geerntet und in eine Dauerwaldbewirtschaftung übernommen werden.

Abbildung 8: Flächenentwicklung der Altersklassen aller Baumarten über den Projektionszeitraum



3.5.5 Zuwachs

Der Zuwachs aller Baumarten steigt über den Projektionszeitraum von 9,6 m³/ha*a auf 11,7 m³/ha*a an (Abbildung 9). Bei der Fichte steigt der Zuwachs um 2,4 m³/ha*a auf insgesamt 16,5 m³/ha*a und bei der Kiefer um 1,9 m³/ha*a auf 10 m³/ha*a. Auch die Laubbaumarten zeigen einen leichten Anstieg des Zuwachses um 0,5 m³/ha*a auf 8 m³/ha*a. Der Zuwachs der Nadelbäume steigt um 3,6 m³/ha*a auf 14,8 m³/ha*a bzw. um 20,7 Mio. m³/a auf 86,4 Mio. m³/a (Abbildung 10) und ist somit deutlich höher als der der Laubbäume. Dies ist sowohl auf den zunehmenden Anteil der zuwachsstarken Baumart Douglasie, als auch die verkürzten Produktionszeiträume zurückzuführen. Durch die kürzeren Produktionszeiträume findet vermehrt eine Neubegründung von Beständen statt, insbesondere von Nadelbäumen. Damit steigt der durchschnittliche Gesamtzuwachs über die Umtriebszeit.

Abbildung 9: Zuwachs der Baumarten über den Projektionszeitraum

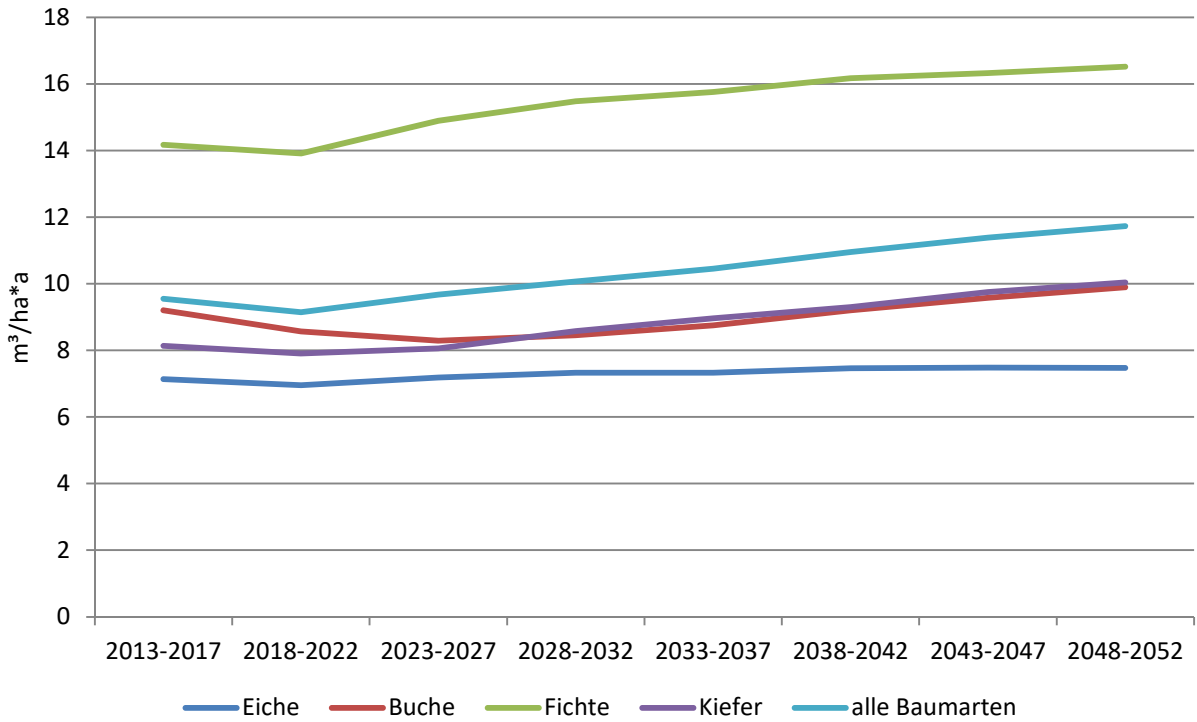
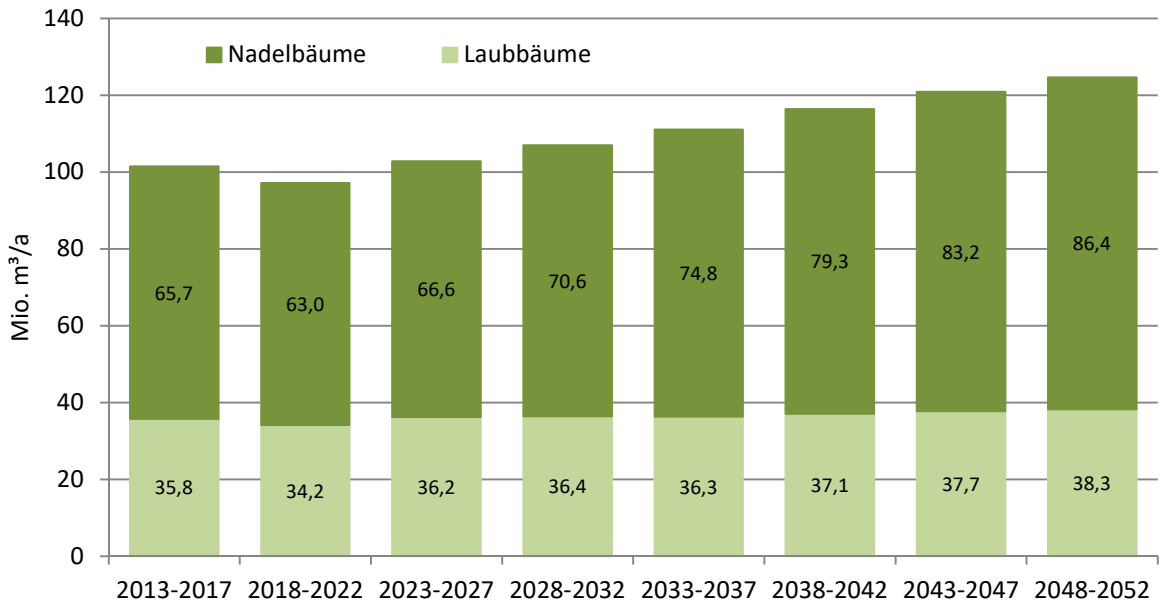


Abbildung 10: Zuwachs der Laub- und Nadelbäume nach Projektionsperioden



4 Das Naturschutzpräferenzszenario

4.1 Hintergrund

Im Rahmen des Stakeholderbeteiligungsprozesses wurden Interessensvertreter aus den Bereichen Holzverarbeitung, Staatswald und Naturschutz sowie Waldbesitzer zu ihren Vorstellungen der Ausgestaltung alternativer WEHAM-Szenarien befragt (Rosenkranz et al. 2017). Das Ziel der Befragung war die Rückmeldung von möglichst konkreten Angaben zu waldbaulichen Steuergrößen. Für das Naturschutzpräferenzszenario (NPS) zählen dazu der zukünftige Laub- und Nadelholzanteil, Anteile einzelner Baumartengruppen, Anteile nichtheimischer Baumarten, zukünftige Umtriebszeiten und Zielstärken, der angestrebte Gesamtvorrat, zukünftige Anteile von Stilllegungsflächen und Totholzvorräte. Daneben wurde eine Befragung der Verbundprojektpartner zu den Zielgrößen der alternativen Szenarien durchgeführt. Die Ergebnisse der Onlinebefragung und des ersten Stakeholderworkshops sowie Befragungen der Verbundprojektpartner zu den Zielgrößen des NPS sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Ergebnisse der Befragungen zu den Zielgrößen des Naturschutzpräferenzszenarios

Zielgrößen	Onlinebefragung	1. Stakeholder-Workshop	Befragung im Projektverbund
Laubholzanteil (Istzustand: 44 %)	keine Angabe	100 % pnV	42-80 %
Nadelholzanteil (Istzustand 56 %)	keine Angabe	100 % pnV	20-58 %
Anteil nichtheimischer Baumarten	0-10 %	keine Angabe	0-10 %
Umtriebszeit Buche (Istzustand: 160 J.) / Zielstärke	200 J./ 65-75 cm	75 cm	160-999 J.
Umtriebszeit Eiche (Istzustand: 200 J.) / Zielstärke	250 J./ 75-80 cm	80 cm	170-999 J.
Umtriebszeit Fichte (Istzustand: 125 J.) / Zielstärke	50 cm	50-55 cm	90-120 J./ 50 cm
Umtriebszeit Kiefer (Istzustand: 140 J.) / Zielstärke	180 J./ 70 cm	50-100 cm	135-999 J.
Holzvorratsentwicklung (Istzustand: 336 m ³ /ha)	600 m ³	80 % des Vorrats der hpnV	300-420 m ³
Fläche ohne Holznutzung (Istzustand: 4,2 % ohne Nutzung)	5-10 %	5-10 %	5-10 %
Flächen mit reduziertem Holzaufkommen (Istzustand: Auf 1,87 % der Fläche 1/3 des üblichen Aufkommens erwartbar)	keine Angabe	1/3: Wildnis & Prozessschutz	Status quo
Flächen mit reduziertem Holzaufkommen (Istzustand: Auf 2,62 % der Fläche 2/3 des üblichen Aufkommens erwartbar)	keine Angabe	2/3: FFH, NSG	Altbestände von FFH-Waldlebensraumtypen
Habitatbäume (Istzustand: 2,2 Bäume/ha)	9-20	80 % der Werte von Naturwäldern	2,2-10
Totholzvorrat (Istzustand: 20,6 m ³ /ha)	100 m ³	30-80 % des Naturwald Referenzwertes	20,6-60 m ³
Nichtderbolznutzung	0	keine Angabe	0

hpnV: heutige potenziell natürliche Vegetation, FFH: Fauna-Flora-Habitat, NSG: Naturschutzgebiet

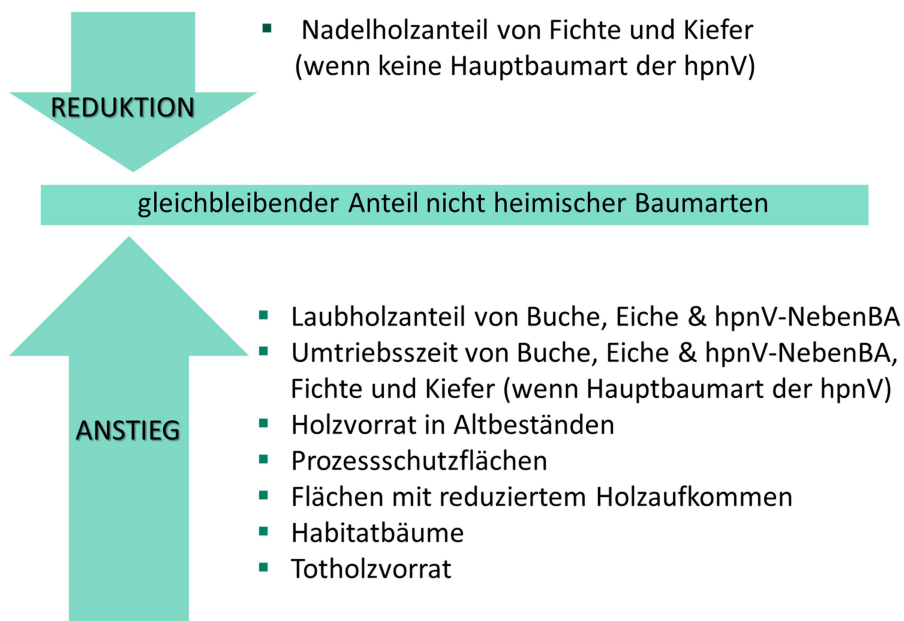
Die Ergebnisse der Befragungen zeigen je nach Zielgröße mitunter große Unterschiede auf. Während die Rückmeldungen der Online- und Projektverbundbefragung zum Anteil der nichtheimischen Baumarten übereinstimmen, gibt es beispielsweise sehr verschiedene Vorstellungen zum Totholzvorrat. Diese liegen zwischen 20,6 m³ und 60 m³ bei der Projektverbundbefragung und mit 100 m³ deutlich höher in der Onlinebefragung. Ebenso weichen die Erwartungen der Holzvorratsentwicklung von 300 - 420 m³ in der Projektverbundbefragung und 600 m³ in der Onlinebefragung voneinander ab. Die Ergebnisse zeigen auch, dass waldbauliche Zielgrößen aus naturschutzfachlicher Sicht nicht immer quantitativ ausgedrückt werden können. So wurden beispielsweise Referenzen zum Naturwald bei der Anzahl von Habitatbäumen oder der Bestimmung des Totholzvorrates gemacht, die während der Diskussionen in den Arbeitsgruppen auf dem Workshop erarbeitet wurden. Des Weiteren beinhalten die Zielgrößen teilweise kontroverse Vorstellungen, die nicht in ein und demselben Szenario abgebildet werden können.

Bei der Erstellung des Szenarios wurden die Vorstellungen und Erwartungen der Stakeholder zu den Zielgrößen ebenso berücksichtigt wie Rückmeldungen des Projektverbundes. Darüber hinaus wurde von naturschutzfachlicher Seite durch die Projektpartner der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde ein Handlungsrahmen zum NPS erarbeitet, der Bestandteil der Genese des Szenarios ist. Die Gesamtheit der Informationen gibt einen Orientierungsrahmen für die Entwicklung und Umsetzung realistischer Zielvorgaben und geeigneter Parameter für den Modellierungsprozess des NPS.

4.2 Zielstellungen und Szenarienbeschreibung

Im Fokus des Naturschutzpräferenzszenarios stehen der Erhalt und die Förderung des Biodiversitäts- und Klimaschutzes im Wald. Der Ausgangspunkt hierfür ist die zunehmende gesellschaftliche Wertschätzung von Artenvielfalt und Ökosystemleistungen des Waldes. Die Zielstellungen des NPS sind in vereinfachter Form in Abbildung 11 dargestellt. Um diese Zielstellungen zu erreichen, wurden basierend auf Stakeholderempfehlungen verschiedene Biodiversitätsschutzmaßnahmen und Naturschutzleistungen umgesetzt. Das Szenario beinhaltet eine zukünftige Förderung der heutigen potentiell natürlichen Vegetation (hpnV) (BMELV 2011) im Wald, d.h. die Baumartenzusammensetzung wird deutschlandweit an die hpnV angenähert. Dies wird durch eine sukzessive Umwandlung naturferner Bestände erreicht. Der Nadelholzanteil wird reduziert, indem die Umtriebszeiten von Fichte und Kiefer an den entsprechenden, nicht natürlichen Standorten verkürzt werden. Durch eine gezielte Verjüngung mit Baumarten der natürlichen Waldgesellschaft steigt der Anteil von Laubholz. Die Umtriebszeiten für Laubbäume (außer Pappel) und Nadelbäume (außer Douglasie), insofern sie Hauptbaumart der hpnV sind, werden verlängert. Des Weiteren wird eine Erhöhung des Holzvorrates in Altholzbeständen angestrebt. Der derzeitige Anteil nicht heimischer Baumarten soll toleriert, aber nicht erhöht werden. Da das Vorkommen von Totholz ein elementarer Bestandteil des Ökosystems Wald ist, wird eine Erhöhung des Totholzvorrates pro Hektar angestrebt. Darüber hinaus sollen weitere Waldflächen aus der Nutzung genommen werden, um eine ungestörte Entwicklung der Natur zu ermöglichen.

Abbildung 11: Überblick zu den Zielstellungen des Naturschutzpräferenzszenarios



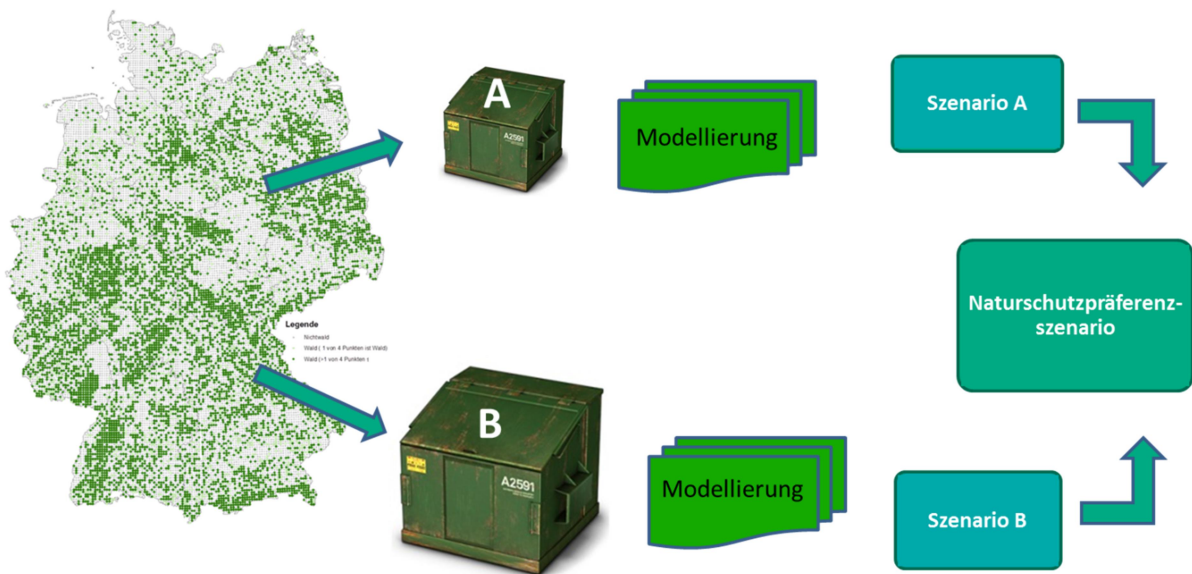
4.3 Methodik

Der Handlungsrahmen und die Zielstellungen des NPS stellen komplexe Anforderungen an die Modellierung. Um den naturschutzfachlichen Aspekten, wie beispielsweise der sukzessiven Umwandlung naturferner Bestände, gerecht zu werden, waren neue und innovative Ansätze bei der Modellierung mit WEHAM gefragt. Die besondere Herausforderung an das Szenario war die differenzierte Behandlung von „naturnahen“ und „naturfernen“ Waldflächen. Als naturnahe Wälder werden in diesem Kontext die Wälder bezeichnet, deren Baumartenzusammensetzung überwiegend der natürlichen Waldgesellschaft entspricht. Naturferne Wälder sind all die Wälder, die in Richtung naturnaher Wälder umzuwandeln sind, um die Zielstellungen an das Szenario zu erfüllen.

4.3.1 Aufteilung des BWI-Datensatzes in zwei Datenkollektive

Aus den Anforderungen an das NPS war ersichtlich, dass für die Umsetzung der Modellierung mit WEHAM aus den Daten der BWI 2012 zwei verschiedene Datenkollektive zu bilden sind. Dies ermöglicht eine unterschiedliche Behandlung beider Datenkollektive. Für jedes einzelne Datenkollektiv wurde eine Modellierung durchgeführt. Die Ergebnisse der Modellierung für Szenario A („naturnahe“ Waldflächen) und B („naturferne“ Waldflächen) wurden zu dem Gesamtszenario „Naturschutzpräferenz“ zusammengeführt. Die Szenarienmodellierung ist in Abbildung 12 dargestellt.

Abbildung 12: Modellierung des Naturschutzpräferenzszenarios mit zwei Datenkollektiven



Für die Bildung der beiden Datenkollektive wäre aus naturschutzfachlicher Sicht eine Zuweisung von einzelnen Bäumen nach Baumart in das jeweilige Datenkollektiv wünschenswert gewesen. Da jedoch die Durchforstungen in WEHAM an die Traktecke gebunden ist, konnte keine einzelbaumbezogene Auswahl erfolgen. Daher wurde eine Methode entwickelt, die die gesamte Traktecke in ein Datenkollektiv einsortiert. Technisch wurde dies durch ein komplexes Datenbankabfragemodell umgesetzt, wobei eine stufenweise Kombination aus zwei verschiedenen Merkmalen verwendet wurde.

Das erste Merkmal war die Standflächen-Hauptbaumart, welche an jeder einzelnen Traktecke mit den Bäumen der natürlichen Waldgesellschaft abgeglichen wurde. Bei einer positiven Belegung des Merkmals wurde die Traktecke in das Datenkollektiv A eingruppiert, bei einer negativen Belegung entsprechend in das Datenkollektiv B. Das zweite Merkmal war die Naturnähe der Baumartenzusammensetzung der BWI. Wenn die Traktecke in die Naturnähestufe 1 oder 2 (Tabelle 6) eingeteilt wurde, dann erfolgte eine Zuweisung in das Datenkollektiv A. Nur wenn beide Merkmale erfüllt wurden, erfolgte die endgültige Einordnung in das Datenkollektiv A. Mit diesem Verfahren wurden alle Traktecken der BWI entweder in das naturnahe Datenkollektiv A oder das naturferne Datenkollektiv B eingeteilt. Dies entspricht einem Anteil von 24,7 % naturnahem und 75,3 % naturfernem Wald an der Gesamtwaldfläche.

Als Kriterium für die Differenzierung der Daten wurde das Merkmal der heutigen potentiell natürlichen Vegetation ausgewählt. Für die praktische Umsetzung der Trakteckenunterteilung wurde die Bewertung der Naturnähe der Baumartenzusammensetzung, die in der BWI erfolgt, herangezogen. Dabei wird ein Vergleich der heutigen Baumartenzusammensetzung mit der Baumartenzusammensetzung der natürlichen Waldgesellschaft durchgeführt. Dieses Merkmal wird für die Traktecke ausgewiesen. Da die Durchforstungseingriffe der BWI-Daten mit WEHAM über die Ebene der Traktecke gesteuert wird, ist dieses Merkmal als Schnittstelle zur Trakteckenunterteilung geeignet.

Die natürliche Waldgesellschaft ist im Wesentlichen definiert als die heutige potentiell natürliche Vegetation. Nach BMELV (2011) ist die hpnV „eine modellhafte Vorstellung der höchstentwickelten

Vegetation, die sich unter den gegenwärtigen Standortsbedingungen und Florenverhältnissen - unter Ausschluss bestehender und zukünftiger unmittelbarer menschlicher Einflüsse - an einem Standort befinden kann. Zur natürlichen Waldgesellschaft gehören auch Lichtbaumarten, die zeitlich und räumlich begrenzt in Pionierphasen der natürlichen Waldentwicklung auftreten.“ Für ganz Deutschland wurde eine Liste mit 40 natürlichen Waldgesellschaften erarbeitet. Diesen Waldgesellschaften wurden Baumarten zugeordnet, getrennt nach Hauptbaumarten, Neben-/Begleitbaumarten, Pionierbaumarten. Die Zuordnung erfolgte differenziert nach Wuchsgebieten, Wuchsbezirken und Höhenlage. Im Baumarten-Atlas zur BWI 2012 ist eine Zusammenstellung zu den 31 wichtigsten Baumarten Deutschlands zu finden, die u.a. aufzeigt, wie standortgerecht diese Baumarten sind (Kroiher und Schmitz 2015). Die heutige Baumartenzusammensetzung an der Traktecke wird für die Altbestockung (Bäume > 4 m Höhe) mittels Grundflächenanteilen aus der Winkelzählprobe mit Zählfaktor 1 oder 2 und für die Jungbestockung (Bäume ≤ 4 m Höhe) durch eine Schätzung der Deckungsanteile der Baumarten im 10 m-Kreis erfasst (Riedel et al. 2017).

Die Naturnähe der Baumartenzusammensetzung wurde getrennt nach Hauptbestockung, Jungbestockung und Altbestockung für jede Traktecke gemäß Tabelle 6 bewertet. Die Einstufung wurde zunächst für jedes Kriterium (Kopfzeile in Tabelle 6) separat ermittelt. Das Kriterium mit der schlechtesten Einstufung war ausschlaggebend für die Naturnähe. Außereuropäische Baumarten sind die vom Menschen neuzeitlich eingeführten, ursprünglich außereuropäisch verbreiteten Baumarten. Haben sie sich erfolgreich etabliert, können sie laut Definition im Bundesnaturschutzgesetz neben den heimischen Baumarten auch Bestandteil der natürlichen Waldgesellschaft sein (Riedel et al. 2017).

Tabelle 6: Bewertungsschema für die Naturnähe der Baumartenzusammensetzung (nach Riedel et al. 2017)

Naturnähe-Stufe	Kriterien für die Naturnähe (UND-Verknüpfung)			
	Anteil der Baumarten der nWG ^{ab}	Anteil der Hauptbaumarten der nWG ^a	Vollständigkeit der Hauptbaumarten der nWG ^a	Anteil der außereuropäischen Baumarten
Sehr naturnah (1)	≥ 0,9	≥ 0,5	= 1,0	≤ 0,1
Naturnah (2)	≥ 0,75 und < 0,9	≥ 0,1 und < 0,5	< 1,0	> 0,1 und ≤ 0,3
Bedingt naturnah (3)	≥ 0,5 und < 0,75	< 0,1		> 0,3
Kulturbetont (4)	≥ 0,25 und < 0,5			
Kulturbestimmt (5)	< 0,25			

^a natürliche Waldgesellschaft; ^b Haupt-, Neben-, Pionierbaumarten zusammen

4.4 Steuereinstellungen

Für das Erreichen der einzelnen Zielgrößen des Szenarios war eine Übersetzung der Stakeholderempfehlungen in die Steuerparameter der Waldbehandlung des Modells WEHAM erforderlich. Eine vereinfachte Gesamtübersicht der Stakeholderempfehlungen als Orientierungsrahmen für das NPS ist in Tabelle 7 zu finden. Wie in Kapitel 4.3.1 beschrieben, wurde der BWI-Eingangsdatensatz für die Modellierung in zwei Datenkollektive unterteilt. Damit war die Erstellung von zwei verschiedenen Sets der Steuerparameter erforderlich. Die Grundlage dafür bildeten die Steuereinstellungen des WEHAM-

Basisszenarios. Ausgehend davon wurden die stark differierenden waldbaulichen Maßnahmen für den naturnahen (Datenkollektiv A) und den naturfernen Wald (Datenkollektiv B) für die einzelnen Baumarten erarbeitet. Die Erarbeitung und Anpassung der einzelnen Steuergrößen erfolgte in einem iterativen Prozess, um eine optimale waldbauliche Behandlung in Hinblick auf die Zielgrößen als auch deren Auswirkung auf die Waldstruktur und das Rohholzaufkommen zu simulieren. In den Steuerdateien wurde keine Differenzierung nach Eigentumsarten vorgenommen.

Tabelle 7: Orientierungsrahmen für das Naturschutzpräferenzszenario

Zielgröße	Stakeholderempfehlung
Laubholzflächenanteil (Istzustand: 44 %)	↑
Nadelholzflächenanteil (Istzustand: 56 %)	↓
Anteil nichtheimischer Baumarten	→
Umtriebszeiten	↑
Holzvorrat (Istzustand: 336m ³ /ha)	↑
Nutzungseinschränkungen	↑
Totholzvorrat	↑
Habitatbäume	↑

Für das Datenkollektiv A wurden Steuereinstellungen gewählt, die der waldbaulichen Behandlung eines naturnahen Waldes nahekommen. Die in dem Datenkollektiv ausgewählten Traktecken enthalten weitestgehend Baumarten, die zur hpnV zählen. Gemäß der naturschutzfachlichen Zielstellung werden diese Flächen in eine Dauerwaldbewirtschaftung überführt. Damit verbunden ist der Verzicht auf flächige Endnutzungen. Davon ausgenommen sind Pappeln und Douglasien. Dies wurde durch differenzierte Durchforstungen in die Steuergrößen übersetzt. Für die einzelnen Baumarten wurden verschiedene Durchforstungsalter, Eingriffszeitpunkte, Mittelhöhen, Nutzungsprozente, etc. festgelegt. Um einen Vorratsaufbau im Alter zu gewährleisten, wurden bei Hochdurchforstungen hohe Zielstärken-Brusthöhendurchmesser festgelegt. Zudem wurde die Vorratsleitkurve erhöht, um den Sollvorrat zu erhöhen und damit die Nutzung zu reduzieren. Die Verjüngung soll mit unterschiedlichen Baumarten der natürlich vorkommenden naturnahen Vegetation durchgeführt werden. Daher werden für Verjüngungen dieselben Baumarten verwendet, die aktuell am Standort vorkommen, das heißt, die Verjüngung erfolgt aus dem Vorbestand.

Für das Datenkollektiv B wurden Steuereinstellungen gewählt, die auf einen Waldumbau abzielen, dessen Baumartenzusammensetzung sich der heutigen potentiell natürlichen Vegetation annähert. Daher wurden Fichten und Kiefern, die auf Standorten wachsen, wo sie natürlicherweise nicht vorkommen würden, frühzeitig abgenutzt. Dafür wurden die Durchforstungsparameter, insbesondere die Zielstärken-Brusthöhendurchmesser und die Entnahmemenge sowie die Eingriffszeitpunkte entsprechend verändert. Auf diesen Flächen wurden nach Entnahme der Bäume mit einer gezielten Neubegründung des Bestandes begonnen. Hierfür wurden zu 60 % Baumarten der natürlichen Waldgesellschaft eingebracht. Hierfür

wurde die aktualisierte Baumartenliste der natürlichen Waldgesellschaft der BWI 2012 verwendet. Die Baumarten Buche, Eiche, Ahorn/Esche und Erle/Weide wurden mit denselben Steuereinstellungen wie für das Datenkollektiv A behandelt.

4.5 Ergebnisse

4.5.1 Baumartenflächen

Die Fläche der Laubbäume nimmt im NPS innerhalb von 40 Jahren um 19 % (+ 888.000 ha) zu (Abbildung 13). Auch im Basisszenario ist ein leichter Anstieg der Laubbaumflächen um 1,9 % festzustellen (Abbildung 14). Der Unterschied der Laubbaumflächen zwischen NPS und Basisszenario beträgt am Ende des Projektionszeitraumes 17 %. Dahingegen nimmt die Fläche der Nadelbäume im NPS stetig ab. Der Rückgang der Nadelbaumfläche beträgt 15 %. Im Vergleich dazu ist beim Basisszenario nur ein geringer Rückgang der Nadelbaumfläche von 1,5 % zu verzeichnen. Aus diesen Ergebnissen wird ersichtlich, dass mit der Zunahme der Laubbaumfläche und der Reduzierung der Nadelwaldflächen die Zielstellung des Szenarios umgesetzt wurde.

Abbildung 13: Entwicklung der Baumartenflächen über den Projektionszeitraum

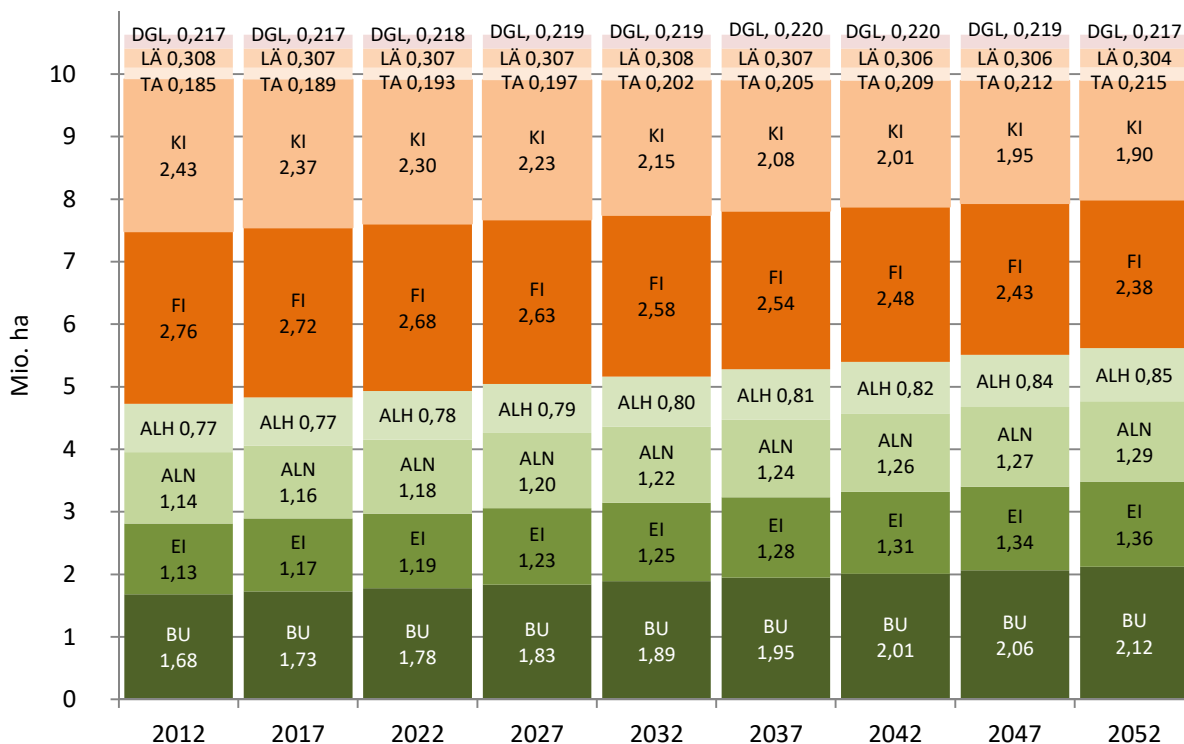
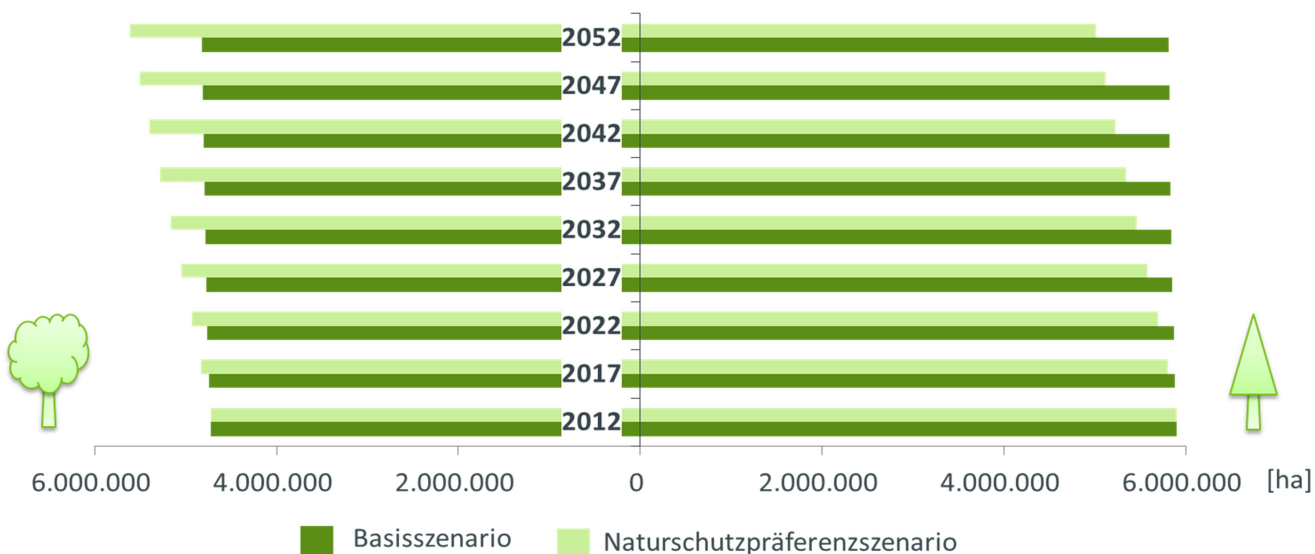
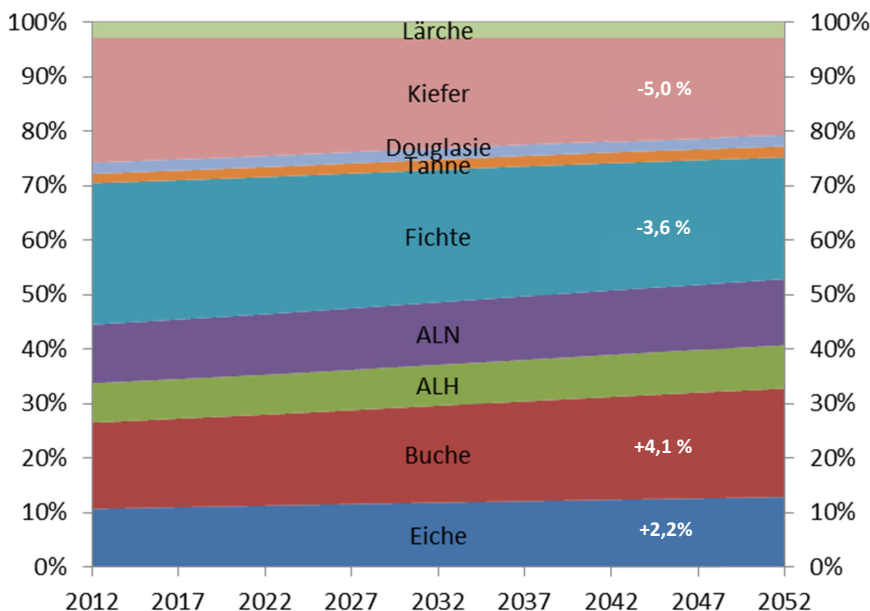


Abbildung 14: Vergleich der Entwicklung der Baumartenflächen zwischen NPS und Basisszenario



Die damit einhergehende Änderung der Baumartenzusammensetzung in Richtung der hpnV wird im Weiteren in Abbildung 15 dargestellt. Die Kiefern- und Fichtenflächen nehmen im Bezug zur Gesamtwaldfläche um 5,0 %-Punkte bzw. 3,6 %-Punkte ab. Die Eichen- und Buchenflächen steigen um 2,2 %-Punkte bzw. 4,1 %-Punkte.

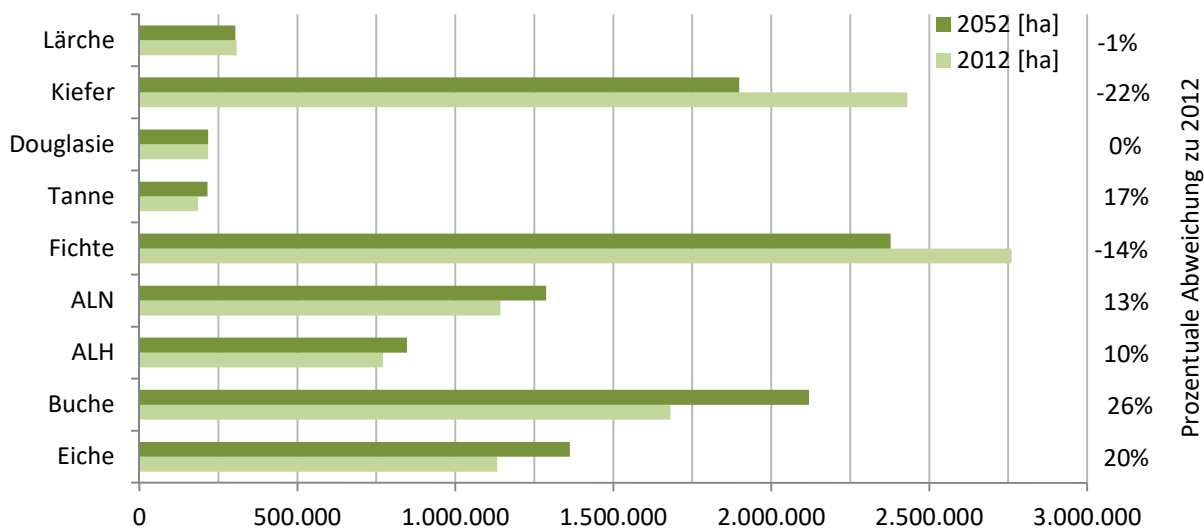
Abbildung 15: Entwicklung der Baumartenanteile in Bezug zur Gesamtwaldfläche



Aus dem Waldumbauprozess resultiert eine Zunahme der Baumartenflächen für alle Laubbäume und Tanne. Der Anteil der Laubholzfläche erreicht im Jahr 2037 die 50 %-Marke und liegt zum Ende des Modellraumes im Jahr 2052 bei 53 %. Die größte Flächenzunahme ergibt sich mit 26 % (+ 438.000 ha) für die Buche und 20 % (+ 230.000 ha) für die Eiche (Abbildung 16). Dem steht ein Flächenrückgang von 22 % (- 532.000 ha) bei der Kiefer und 14 % (- 383.000 ha) bei der Fichte gegenüber. Im Jahr 2052 ist die Buche

die zweithäufigste Baumart in Deutschland mit nur noch 11 % (260.000 ha) Rückstand zur Fichte. Die Flächenanteile von Douglasie und Lärche ändern sich kaum. Die Tannenfläche nimmt um 17 % zu und erreicht im Jahr 2052 dieselbe Größe wie die der Douglasie.

Abbildung 16: Vergleich der Baumartenflächen zwischen 2012 und 2052

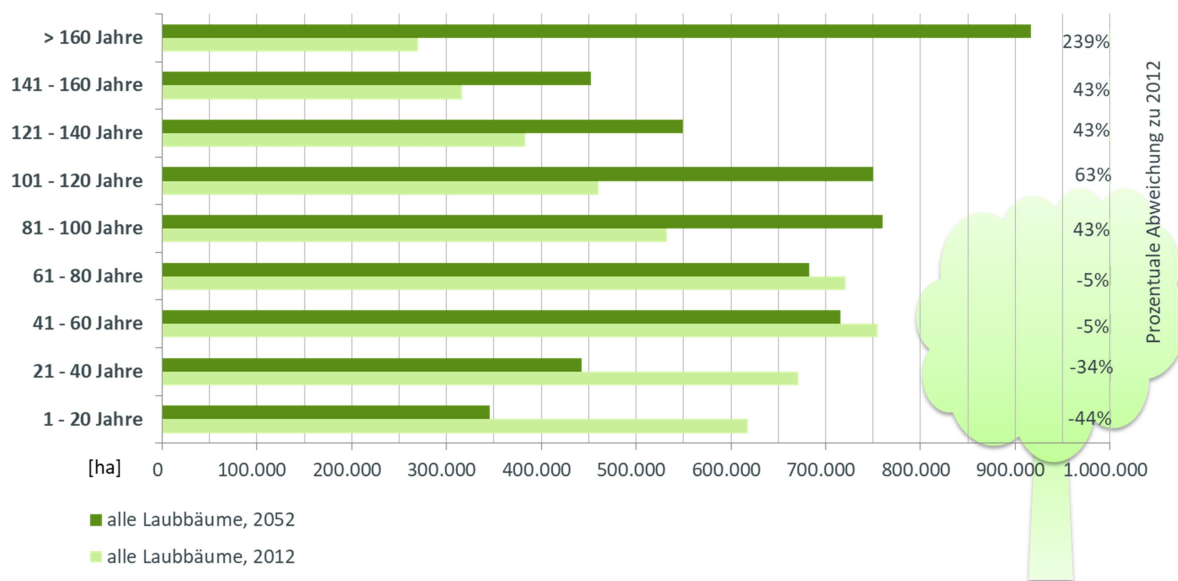


4.5.2 Altersstruktur

Die Entwicklung der Altersklassen der Laubbäume zeigt, dass die Altersklassen von 1 bis 80 Jahre 2012 mehr Fläche eingenommen hatten als 2052 (Abbildung 17). Am Ende des Projektionszeitraumes nehmen Laubbäume in den Altersklassen über 81 Jahre mehr Fläche als zu Beginn ein. Dieser Wechsel in der Altersstruktur zeigt, dass die Laubbäume ab einem Alter von 81 Jahren im NPS zunehmen. Dies spiegelt eine extensive Nutzung der Laubbäume und den Wandel in eine Dauerwaldbewirtschaftung wieder. Insbesondere in der Altersklasse über 160 Jahre ist ein deutlicher Anstieg von 239 % abgebildet, der die Mehrung von Altholz darstellt.

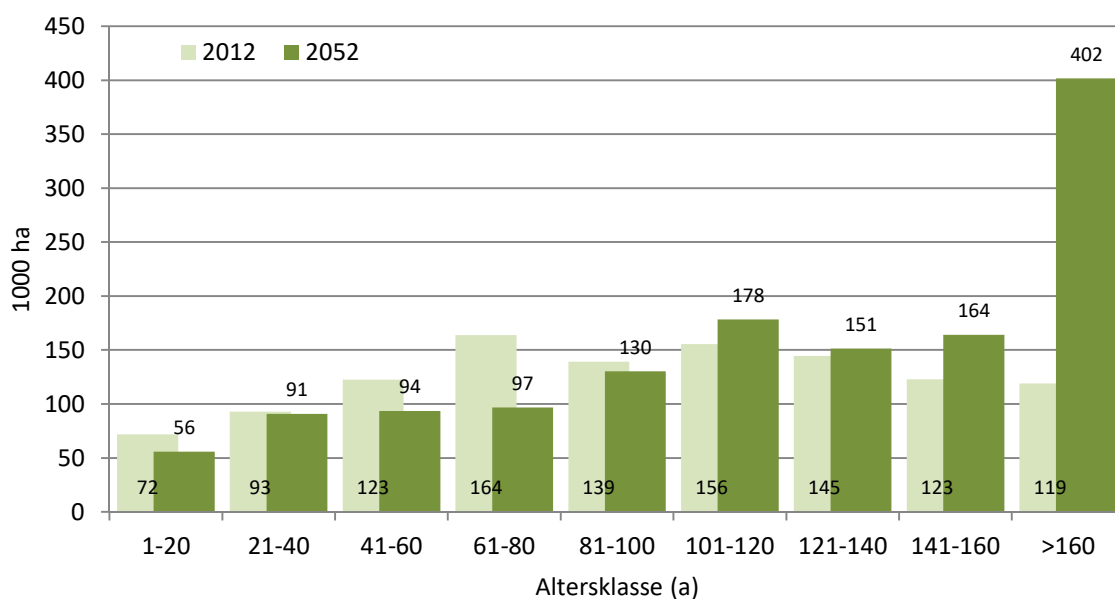
Die Verjüngungsflächen und Altersklassen bis 80 Jahre sind trotz des Waldumbaus am Ende des Projektionszeitraumes geringer als 2012. Dies resultiert aus den komplexen Zusammenhängen der beiden Datenkollektive und den Restriktionen des Modellierungsprozesses. Da im NPS für die Laubbäume ein Übergang in die Dauerwaldbewirtschaftung angestrebt ist, werden die Bäume zunehmend älter. Im Modell WEHAM kann erst dann eine Verjüngung eingebracht werden, wenn der entsprechende Bestand flächig beräumt wurde. Jedoch ist dies bei einer Dauerwaldbewirtschaftung nicht möglich. Verjüngungen, die unter Schirm stattfinden, und natürliche Sukzession können mit dem Modell ebenfalls nicht abgebildet werden.

Abbildung 17: Flächenentwicklung der Altersklassen der Laubbäume 2012 und 2052



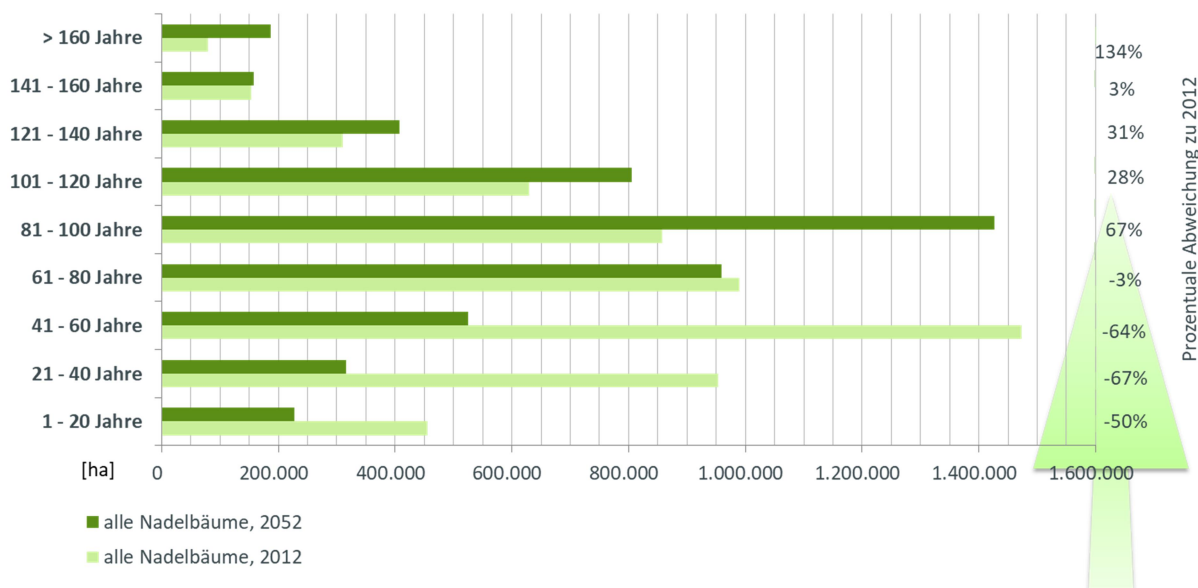
Infolge der Umtriebszeitverlängerung kommt es im NPS zu einer erheblichen Flächenzunahme der alten Buchen und Eichen. Bei der Eiche steigt die Fläche der Altersklasse ab 160 Jahre innerhalb von 40 Jahren auf mehr als das Dreifache an und nimmt 2052 29 % der gesamten Eichenfläche ein (Abbildung 18). Bei der Buche erreicht diese Altersklasse einen Anteil von 22 %. Insgesamt gibt es im Jahr 2052 auf fast einer Million Hektar Laubbäume im Alter ab 160 Jahre (Abbildung 17). Das sind 9 % der gesamten Waldfläche. Gleichzeitig verdoppelt sich der Vorrat der Laubbäume mit Brusthöhendurchmessern ab 50 cm innerhalb von 40 Jahren. Das verändert das großflächige Landschaftsbild und die Lebensräume in den Laubwäldern erheblich.

Abbildung 18: Flächenentwicklung der Altersklassen der Eiche 2012 und 2052



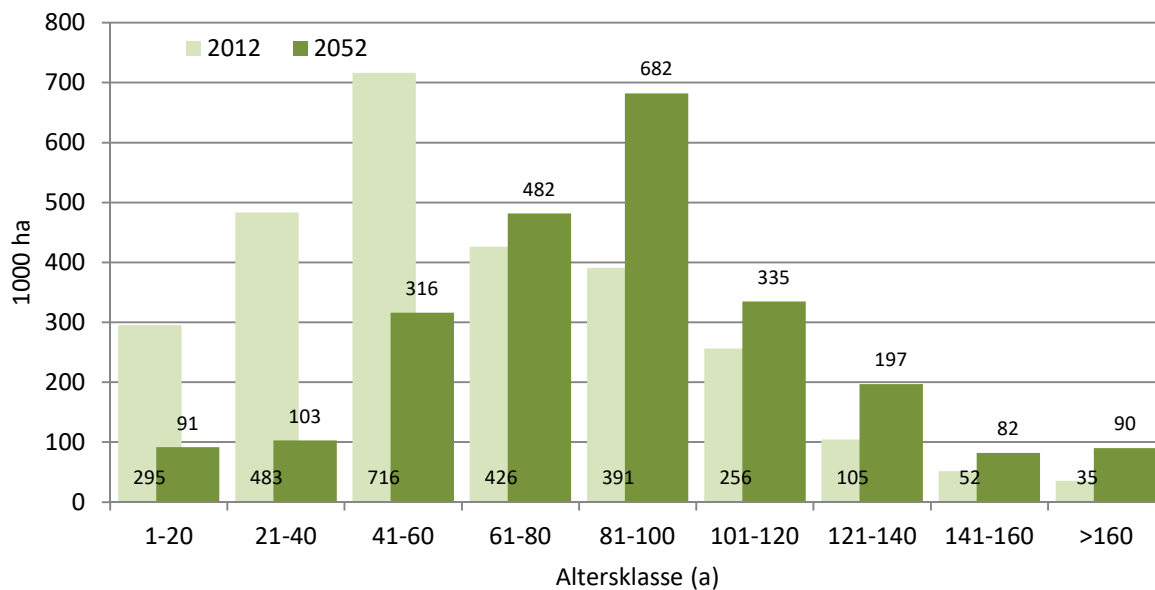
Die Belegung der Altersklassen bis 80 Jahre ist bei den Nadelbäumen 2012 höher als 2052 (Abbildung 19). In diesen Altersklassen zeigt sich durch den Waldumbau und die Nutzung von Kiefern- und Fichtenbeständen ein deutlicher Flächenrückgang gegenüber 2012, der in den Altersklassen 1-60 Jahre zwischen -50 % und -67 % liegt. Ab der Altersklasse 81 Jahre ist 2052 eine größere Fläche von älteren Nadelbäumen bedeckt, was den Übergang zum Dauerwald wiedergibt. In den Altersklassen 81-100 und 101-120 Jahre sind deutliche Flächenzunahmen im Jahr 2052 zu sehen. Diese resultieren aus den Altersklassen 41-60 und 61-80 Jahre, die innerhalb von 40 Jahren in diese Altersklassen „durchgewachsen“ sind. Dies sind große Kiefern- und Fichtenflächen, die im Zuge des Waldumbaus nicht komplett genutzt werden konnten, aber dennoch große Flächen bedecken.

Abbildung 19: Flächenentwicklung der Altersklassen der Nadelbäume 2012 und 2052



Die Verjüngungsflächen der Fichte (1-40 Jahre) bedecken am Ende des Projektionszeitraumes lediglich ein Viertel der Flächen von 2012 (Abbildung 20). Auch bei der Kiefer ist die Fläche des Altersbereiches bis 40 Jahre um 27 % gesunken. Dies ist ein Ergebnis des Waldumbaus, da Nadelbaumarten außerhalb ihres Verbreitungsgebietes durch Baumarten der natürlichen Waldgesellschaft ersetzt werden. Der Aufbau von Altholzbeständen ist bei der Fichte deutlich am Anstieg der Flächen des Altersbereiches über 120 Jahre zu verzeichnen, die am Ende des Betrachtungszeitraumes auf annähernd das Doppelte angestiegen ist (Abbildung 20).

Abbildung 20: Flächenentwicklung der Altersklassen der Fichte 2012 und 2052



4.5.3 Vorräte

Der Vorrat je Hektar steigt im Projektionszeitraum von 345 m³ auf 374 m³ (9 %) an (Abbildung 21). Damit findet eine Vorratsanreicherung von 29 m³/ha statt. Dies entspricht einem Gesamtvorrat von 4,0 Mrd. m³, wobei 1,9 Mrd. m³ auf Laubbäume und 2,0 Mrd. m³ auf Nadelbäume entfallen (Abbildung 22).

Bei den meisten Baumarten steigt der Gesamtvorrat um 30 % bis 50 % an. Der Vorratsanteil der Laubbäume steigt um 49 m³/ha auf 183 m³/ha (37 %). Ein Anstieg der Vorräte ist bei Buche um 19 m³/ha und bei Eiche um 11 m³/ha zu verzeichnen. Dahingegen reduzieren sich die Nadelbaumvorräte um 20 m³/ha auf 191 m³/ha (-9 %), wobei ein Vorratsrückgang nur bei Kiefer (um 20 m³/ha, -31 %) und Fichte (um 7 m³/ha, -6 %) auftritt. Dieser ergibt sich aus dem Flächenrückgang dieser Baumarten. Auf ihrer verbliebenen Fläche ergibt sich für alle Baumarten ein Vorratsanstieg. Der größte Vorratsanstieg findet bei Brusthöhendurchmessern über 50 cm statt (Abbildung 23).

Abbildung 21: Entwicklung der Hektarvorräte über alle Baumarten

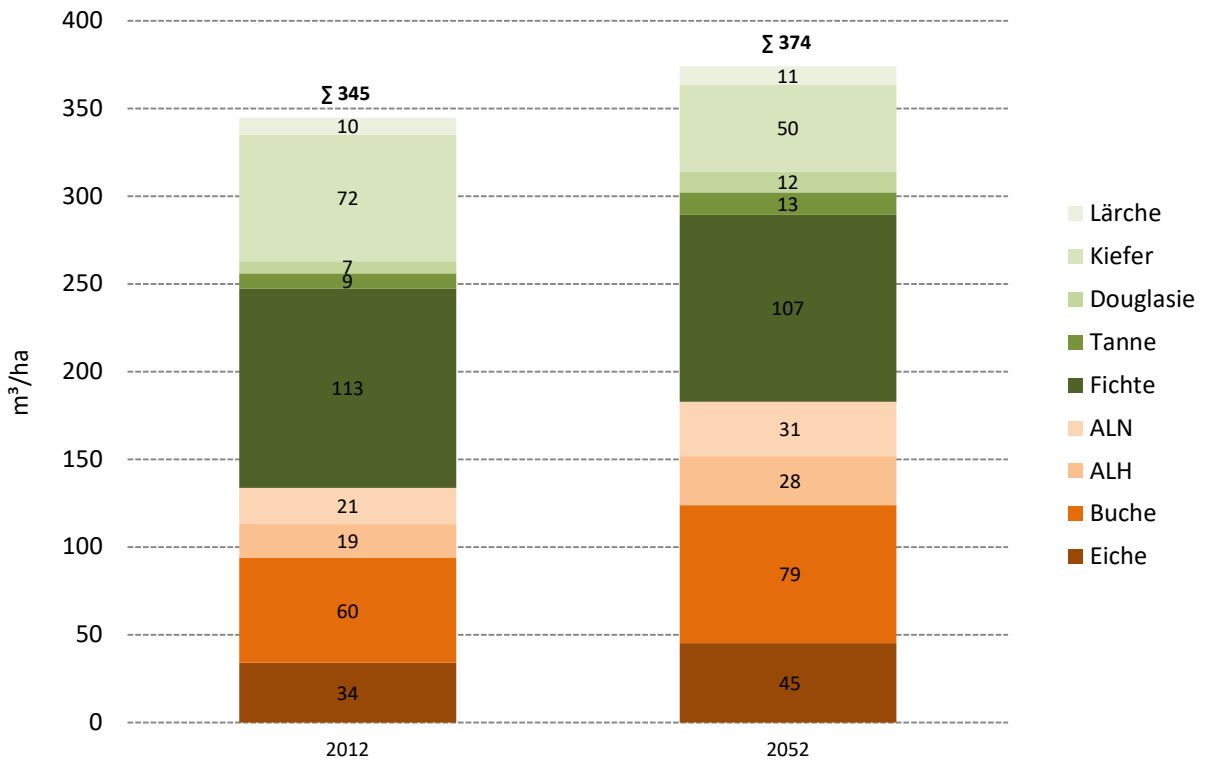


Abbildung 22: Entwicklung der Holzvorräte für Laub- und Nadelbäume zwischen 2012 und 2052

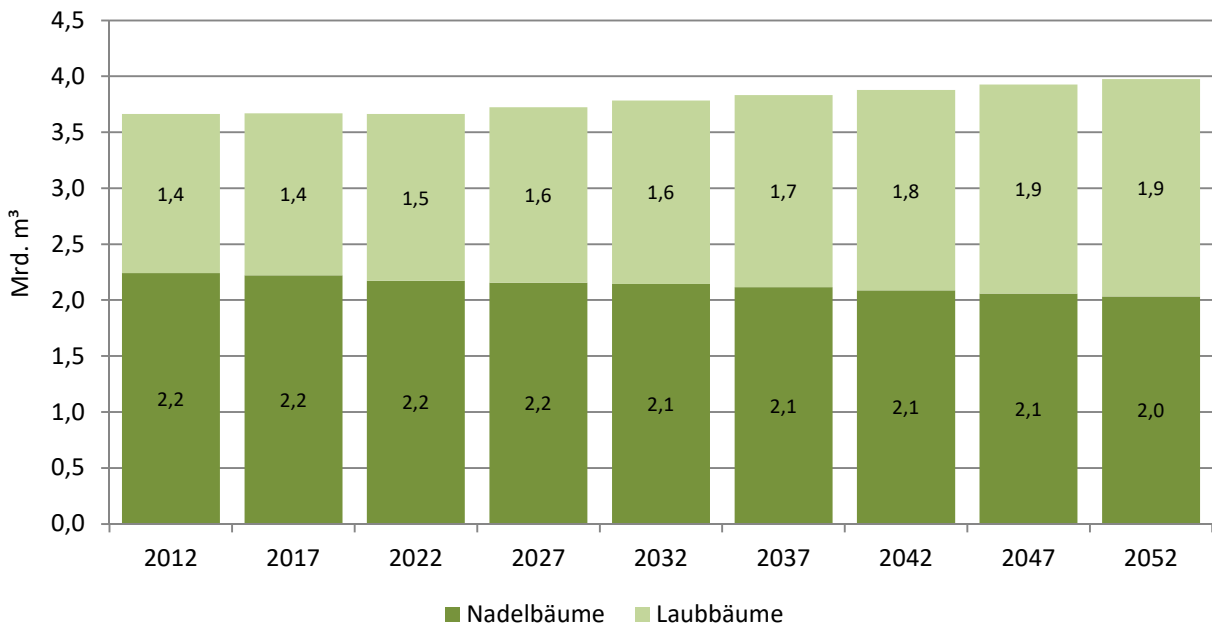
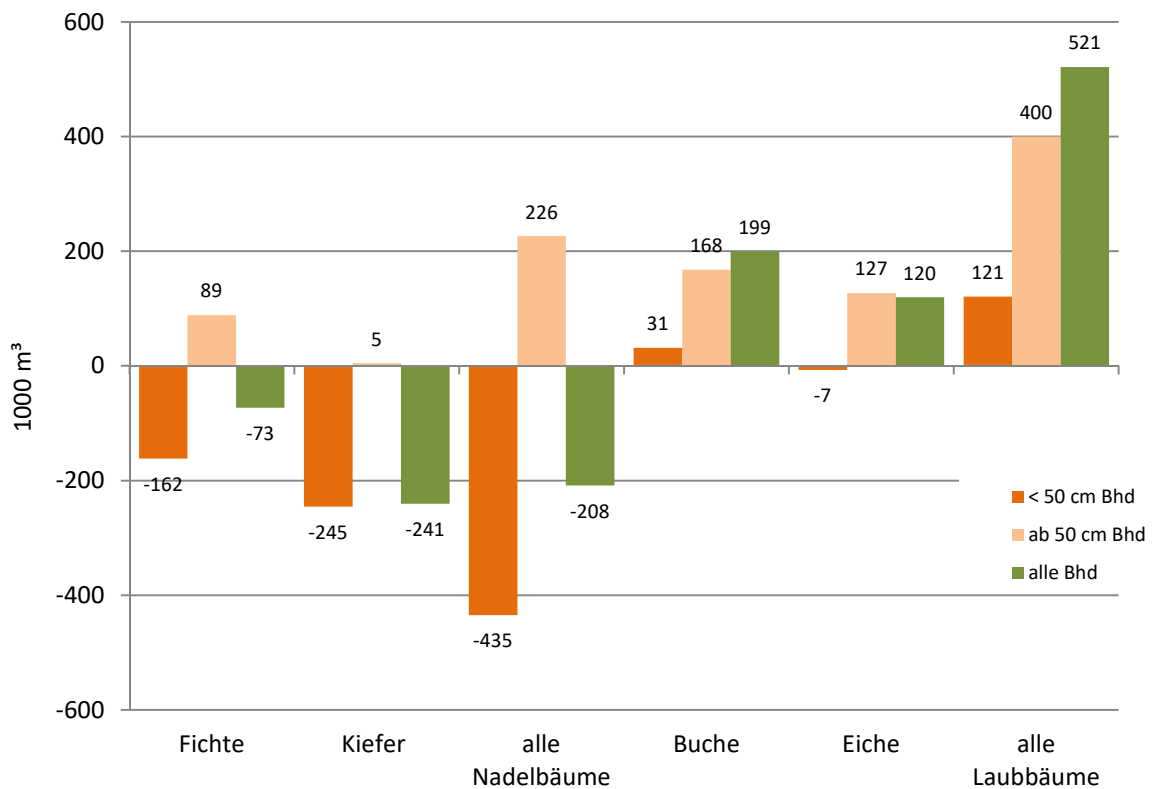


Abbildung 23: Vorratsänderung nach Brusthöhendurchmesser zwischen 2012 und 2052



4.5.4 Projiziertes Rohholzpotenzial

Das Rohholzpotenzial ist aufgrund des Waldumbaus von 86 Mio. m³/a auf 76 Mio. m³/a (-11 %) über die einzelnen Betrachtungsperioden hinweg rückläufig (Abbildung 24). Eine deutliche Abnahme zeigen die Holzartengruppen Kiefer mit 30 % und Fichte mit 7 %. Hier werden die Auswirkungen des Waldumbaus deutlich, indem anfangs große Mengen an Nadelholz in Höhe von 57 Mio. m³/a anfallen, die dann geringer werden und schließlich auf 48 Mio. m³/a absinken. Während das Potenzial bei der Holzartengruppe Buche um 1 % ansteigt, geht es bei der Eiche um 15 % zurück.

Abbildung 24: Rohholzpotezial nach Holzartengruppe und Periode für den Projektionszeitraum 2013-2052

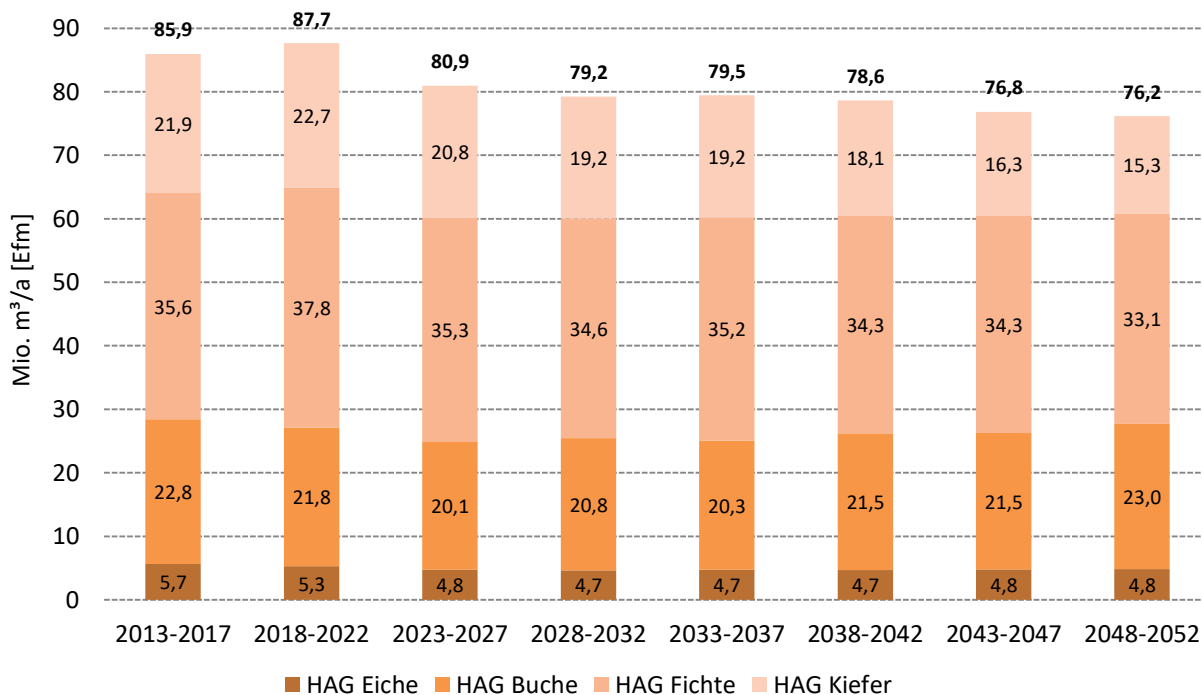
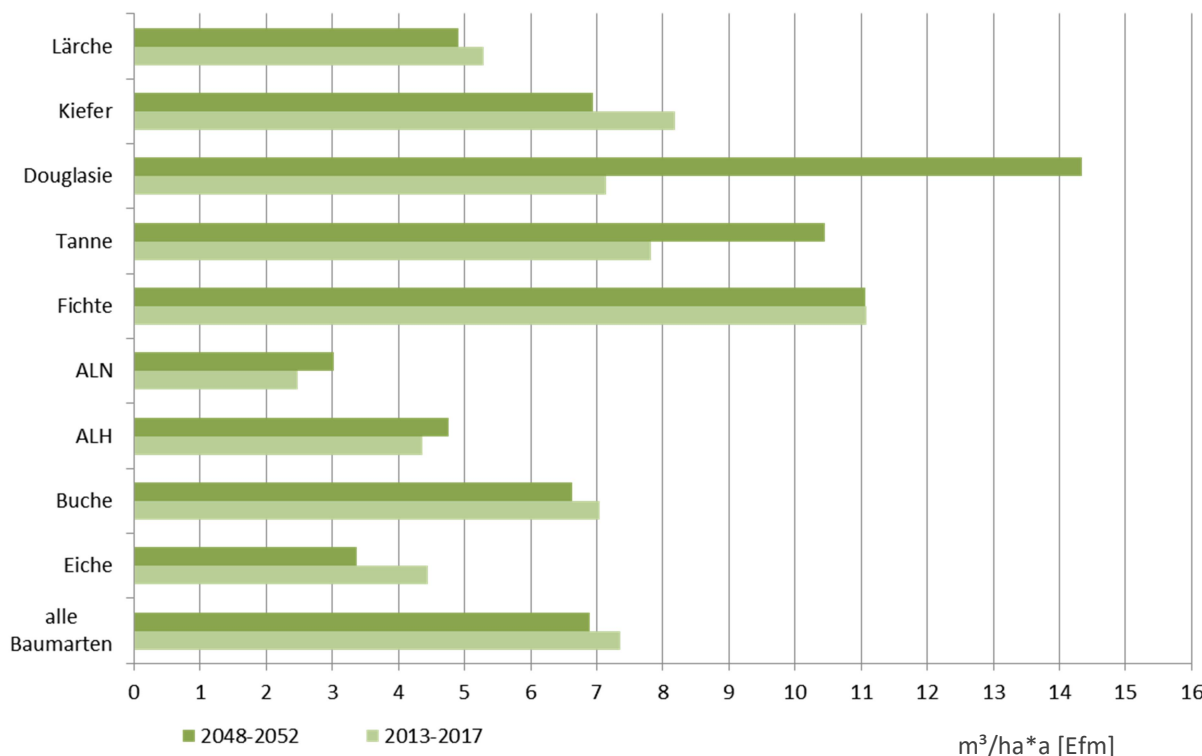


Abbildung 25: Hiebssatz nach Baumartengruppen für die Perioden 2013-2017 und 2048-2052

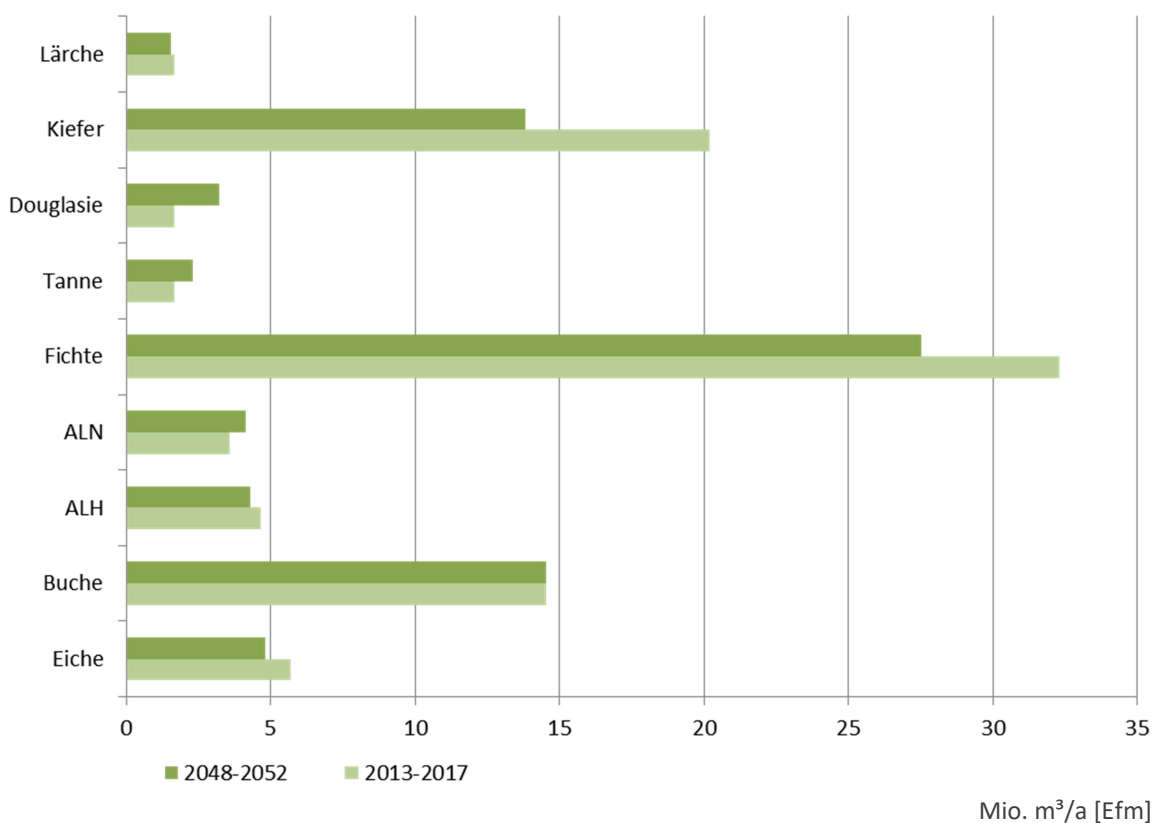


Die jährliche Nutzungsmenge pro Hektar für alle Baumarten nimmt zum Ende des Betrachtungszeitraumes ab (Abbildung 25). Dabei sinkt der Hiebssatz aller Baumarten von 7,4 m³/ha*a auf 6,9 m³/ha*a. Die Nutzungsmengen gehen bei Eiche, Buche, Kiefer und Lärche aufgrund der Altersstruktur zurück. Bei der

Fichte ist ein gleichbleibender Hiebssatz abzulesen. Die Fichtenfläche sinkt bei gleicher Nutzung für die Fläche. Dies führt insgesamt zu einer geringeren Holzmenge in der Periode 2048-2052. Stärkere Eingriffe werden bei anderen Laubbäumen mit hoher Lebensdauer (ALH), anderen Laubbäumen mit niedriger Lebensdauer (ALN), Tanne und Douglasie aufgrund ihrer Hiebsreife in Form von Endnutzungen vorgenommen. Dies spiegelt sich in den dargestellten höheren Hiebssätzen wider.

Die absolute Nutzung bei der Buche ist mit 14,5 Mio. m³/a stabil, wie die Werte zu beiden Betrachtungszeitpunkten zeigen (Abbildung 26). Dies resultiert einerseits aus dem Übergang der Waldbewirtschaftung in den Dauerwaldbetrieb, bei dem nur eine extensive Nutzung durchgeführt wird. Andererseits sind durch den Waldumbau in der Periode 2048-2052 viele Verjüngungsflächen mit Buchen entstanden, auf denen noch keine Nutzungsmengen anfallen. Die Auswirkungen der waldbaulichen Maßnahmen zeigen sich noch deutlicher bei der Eiche, die 2048-2052 mit 4,8 Mio. m³/a geringere Nutzungsmengen aufweist. Im Vergleich zur Buche sind bei der Eiche mehr Verjüngungsflächen zu finden. Ein deutlicher Rückgang der Nutzung um 6,4 Mio. m³/a zeigt sich bei der Kiefer und um 4,8 Mio. m³/a bei der Fichte.

Abbildung 26: Nutzung nach Baumartengruppen für die Perioden 2013-2017 und 2048-2052

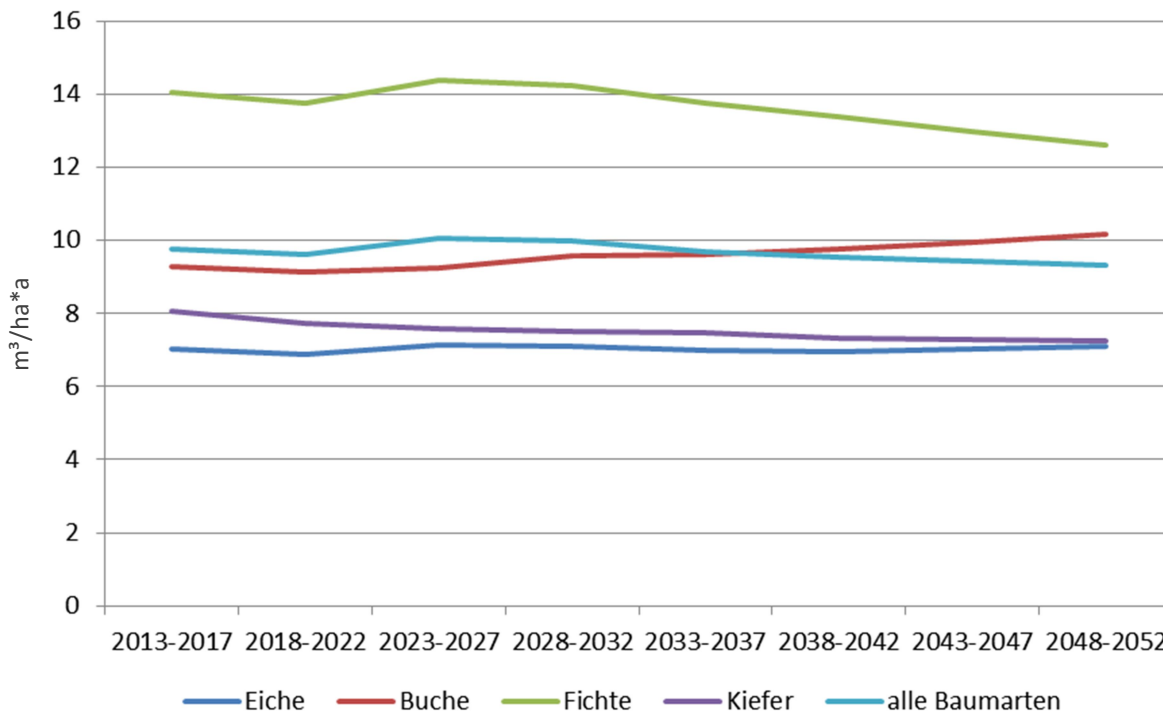


4.5.5 Zuwachs

Der projizierte Zuwachs für alle Baumarten geht über den Projektionszeitraum um 0,4 m³/ha*a auf 9,3 m³/ha*a zurück (Abbildung 27). Alle Laubbäume zeigen eine Zunahme des laufenden Zuwachses um 0,4 m³/ha*a auf 8 m³/ha*a. Dies dürfte ein Effekt der neu eingebrachten Verjüngung im Bereich der Laubbäume sein. Diese Tendenz ist auch bei der Buche mit einem Anstieg um 0,9 m³/ha*a auf

10,2 m³/ha*a und der Eiche um 0,1 m³/ha*a auf 7,1 m³/ha*a zu erkennen. Der Zuwachs aller Nadelbäume nimmt hingegen um 0,7 m³/ha*a auf 10,8 m³/ha*a ab, was auf das Alter der Bäume zurückzuführen sein dürfte. Entsprechend reduziert sich bei der Fichte der Zuwachs um 1,4 m³/ha*a auf 12,6 m³/ha*a und bei der Kiefer um 0,8 m³/ha*a auf 7,2 m³/ha*a.

Abbildung 27: Zuwachs der Baumarten, 2013-2052



4.6 Diskussion

Das Naturschutzpräferenzszenario ist ein Novum im Bereich der WEHAM-Modellierung. Während das Basisszenario die Entwicklung des Waldes und des Rohholzpotenziales aufgrund der waldbaulichen Erfahrungen der letzten Jahre und der berücksichtigten Erwartungen an die kommenden Jahre projiziert, können das NPS und das HPS als kontrastierende Leitplanken dazu gesehen werden. Im Mittelpunkt des NPS stehen der Erhalt und die Förderung der Biodiversität und Naturschutzleistungen im Wald.

Das NPS wurde auf Basis des Orientierungsrahmens, der aus dem Stakeholderbeteiligungsprozess hervorgegangen ist, den gegebenen wirtschaftlichen, politischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen und der fachliche Expertise entwickelt. Aus dem Modellierungsprozess ist ein mögliches Szenario der Waldentwicklung und Waldbewirtschaftung hervorgegangen, dessen Präferenz auf dem Naturschutz im Wald liegt. Die Umsetzung der Zielgrößen des Szenarios sind in Tabelle 8 dargestellt. Die Zusammensetzung der Baumarten in Richtung der heutigen potentiellen natürlichen Vegetation wurde in Form eines entsprechenden Waldumbauprozesses begonnen. Als Ergebnis dessen hat sich die Fläche der Laubbäume um 15 % erhöht und die der Nadelbäume um 19 % reduziert. Weitere Effekte, die aus dem Waldumbauprozess resultieren, sind innerhalb des Projektionszeitraumes von 40 Jahren noch nicht zum Tragen gekommen oder sind aus den Modellierungsergebnissen noch nicht ablesbar. Ein Beispiel hierfür sind die eingebrachten Verjüngungen, die durch modellbedingte Effekte nicht zu sehen

sind. Der Projektionszeitraum von 40 Jahren ist in Bezug auf waldbauliche Maßnahmen und forstliche Planungsprozesse ein sehr kurzer Zeitraum. Der begonnene Umbauprozess würde in der Realität weiterhin fortgeführt werden und bedarf weiterer Jahrzehnte bis zur Vollendung. Daher wäre eine Projektion über einen längeren Zeitraum sinnvoll, um den Walddumbau und die damit einhergehenden Änderungen und Auswirkungen nachvollziehen zu können. Ebenso wäre es anzustreben, Prozesse der natürlichen Sukzession, wie beispielsweise natürliche Verjüngung unter Schirm, in Zukunft modellieren zu können, um die Walddynamik und Walddumbauprozesse realistisch abzubilden.

Tabelle 8: Umsetzung des Orientierungsrahmens und Ergebnisse

Zielgröße	Stakeholder-Empfehlung	Ergebnisse
Laubholzflächenanteil (Istzustand: 44 %)	↑	+ 15 % Laubholzfläche
Nadelholzflächenanteil (Istzustand: 56 %)	↓	- 19 % Nadelholzfläche
Anteil nichtheimischer Baumarten	→	→
Umtriebszeiten	↑	Dauerwald (Laub- und Nadelbäume, wenn Hauptbaumart der hpnV); <i>außer Pappel und Douglasie</i>
Holzvorrat (Istzustand: 336m ³ /ha)	↑	374 m ³ /ha
Nutzungseinschränkungen	↑	Höhere Nutzungseinschränkungen auf Flächen mit reduzierten Holzaufkommen
Totholzvorrat	↑	außerhalb von WEHAM modelliert → Reduktion des Rohholzpotenzials
Habitatbäume	↑	nicht mit WEHAM darstellbar

Mit dem Übergang in eine Dauerwaldbewirtschaftung für alle Baumarten der hpnV wurden die Umtriebszeiten dieser Bäume erhöht. Dadurch gehen mehr Bäume in höhere Altersklassen über. Die zusätzliche extensive Bewirtschaftung von alten Bäumen führt zu einem Aufbau von Altholzbeständen. Gleichzeitig wird damit der Holzvorrat erhöht. Dieser liegt am Ende des Projektionszeitraumes bei 374 m³/ha. Damit einher geht ein Absinken des Rohholzpotenzials. Das Rohholzpotenzial wird im Weiteren durch die Umwandlung der Fichten- und Kiefernflächen reduziert.

Die Altersstruktur des Waldes wird perspektivisch in zunehmend alte Bestände geändert, wodurch naturschutzfachlich gewünschte Altholzbestände und auch mehr Totholz erreicht werden. Allerdings werden die Bestände damit auch anfälliger gegenüber Schadereignissen. Daneben kann die Stabilität dieser alten Bestände geschwächt sein. Die Nutzung von Starkholz ist aufgrund der derzeitigen Nachfrage und der eingeschränkten industriellen Aufarbeitungsmöglichkeiten und Verwertung gering. Dies führt zu ökonomischen Einbußen und Verlusten.

Die Totholzmodellierung wurde außerhalb von WEHAM durchgeführt (Kapitel 6). Als Zielgröße war ein Vorrat von 35 m³/ha Totholz am Ende des Projektionszeitraumes festgelegt. Um diesen Totholzvorrat zu erreichen, muss vom projizierten Gesamtvorrat des Rohholzpotenzials von 9,38 m³/ha*a (Vfm) eine Nachlieferungsrate von 1,71 m³/ha*a (Vfm) zur Verfügung gestellt werden. Damit reduziert sich das Rohholzpotenzial am Ende des Betrachtungszeitraumes um 18 %. Aufgrund der großen Bedeutung von Totholz bei der Betrachtung ökosystemarer Kreisläufe und Zusammenhänge ist die Modellierung innerhalb eines Modells sinnvoll. WEHAM ist derzeit dafür nicht ausgelegt. Für zukünftige Modellierungen der Waldentwicklung und des Holzaufkommens ist es empfehlenswert, diese Zielgröße in geeigneter Form in ein Modell zu integrieren und auswerten zu können. Dabei sollten auch weitere Parameter, wie beispielsweise Abbauprozesse und klimatische Bedingungen, berücksichtigt werden können.

Die Modellierung von Habitatbäumen und Biotopbäumen ist mit WEHAM nicht möglich. Hierfür müssen andere Modelle genutzt werden oder zukünftig entsprechende Modellerweiterungen oder neue Lösungen entwickelt werden.

5 Das Trendfortschreibungsszenario

5.1 Hintergrund, Zielstellung und Szenarienbeschreibung

Das Trendfortschreibungsszenario (TFS) hebt sich in der Definition eines Orientierungsrahmens von den anderen beiden Alternativszenarien ab. Es werden keine konkreten Forderungen der Stakeholder umgesetzt, sondern Ansprüche an das Szenario aus der Fortschreibung der Waldbehandlungstrends zwischen der Bundeswaldinventur 2002 und 2012 abgeleitet. Dabei sollten die aus den Inventurdaten abgeleiteten Entwicklungen in Form eines Trends so abgebildet werden, wie sie in den Jahren zwischen den Bundeswaldinventuren aufgetreten sind. Das TFS soll somit indirekt Änderungen im Störungsregime, als auch in Wirtschaft, Gesellschaft und Politik, wie sie im Betrachtungszeitraum von 2002 bis 2012 stattfanden, enthalten.

Heutzutage ist für Deutschland ein nachhaltiges, integratives und multifunktionales Waldmanagement kennzeichnend, wodurch Wälder vergleichsweise kleinflächig bewirtschaftet werden. Kahlschläge sind selten und zudem rechtlich auf Kleinstareale beschränkt. Ausnahmen für großflächige, außerplanmäßige Nutzungen finden auf Grund von Schadereignissen wie Windwurf oder Borkenkäferbefall statt. Die Holzernte erstreckt sich somit über längere Zeiträume. Dies resultiert aus dem Anspruch heraus, die Wälder von gleichaltrigen Monokulturen mit flächiger Endnutzung in strukturierte ungleichaltrige Mischbestände mit bevorzugt einzelstammweiser Nutzung und natürlicher Verjüngung umzubauen.

Die Veränderungen zwischen der BWI 2002 und BWI 2012 (Schmitz et. al 2014) zeigen einen Anstieg des Laubholzanteils sowie der nichtheimischen Baumarten. Dagegen gibt es eine deutliche Reduktion des Nadelholzanteils, vor allem der Fichte aber auch der Kiefer. Eine Veränderung der Stilllegungsflächen oder Flächen mit reduziertem Holzaufkommen sowie von Habitatbäumen wird nicht berücksichtigt.

Aus vorangegangenen Studien zur Entwicklung eines TFS (Polley und Kroihner 2006, Polley 2008) geht hervor, dass die wichtigsten Kriterien das Durchforstungsalter, das Endnutzungsalter und der BHD zum Entnahmezeitpunkt sind. Die Ermittlung dieser Variablen für die Steuerungsdatei von WEHAM stand im Vordergrund der „traditionellen“ Analysen für das TFS. Weiterhin wurden die Nutzungskriterien nicht nur für Baumarten, sondern auch nach Waldeigentumsarten und Bundesländern unterschieden.

Nach Polley und Kroihner (2006) sollte bezüglich der Holznutzung für die Holzaufkommensmodellierung und insbesondere für ein TFS zwischen Vornutzungen und Endnutzungen unterschieden werden. Vornutzungen werden vor allem zur Bestandesserziehung und besseren -entwicklung eingesetzt, während Endnutzungen hauptsächlich durch sozio-ökonomische, aber auch ökologische und politische Ziele gesteuert werden, um zum Beispiel erntereifes Holz einzuschlagen und Platz für die nachfolgende Verjüngung zu schaffen. Endnutzungen finden nicht mehr als Kahlschlag statt und verhindern somit eine deutlich differenzierte Trennung zu den Vornutzungen. Diese Erkenntnis ist zum besseren Verständnis der Analysen zum TFS sehr wichtig. Ebenso sei erwähnt, dass Schadereignisse nicht direkt über die BWI-Daten identifiziert werden können, aber indirekt über vermeintliche Nutzungen integriert sind.

5.2 Methodik

Zu Beginn des Projektes waren aus vorherigen Studien verschiedene Ansätze bekannt, wie Durchforstungen in Form von Veränderungen in den BWI-Daten und diesen zugrunde liegenden Waldbehandlungstrends am besten abgeleitet werden können. Zuerst wurde die mögliche Ableitung der Endnutzungsalter und Zielstärken über einen Grundflächenindex (GFI) aus der Studie von Polley und Kroihner (2006) erprobt. Anschließend wurde die Herleitung des Trends über den Ansatz des Normalwaldmodells nach Polley (2008) getestet. Schlussendlich wurden die Abgangsdaten zwischen der BWI 2002 und 2012 detailliert und ganzheitlich analysiert, um Steuerparameter für WEHAM direkt und ohne Bildung von Hilfsvariablen datengesteuert abzuleiten.

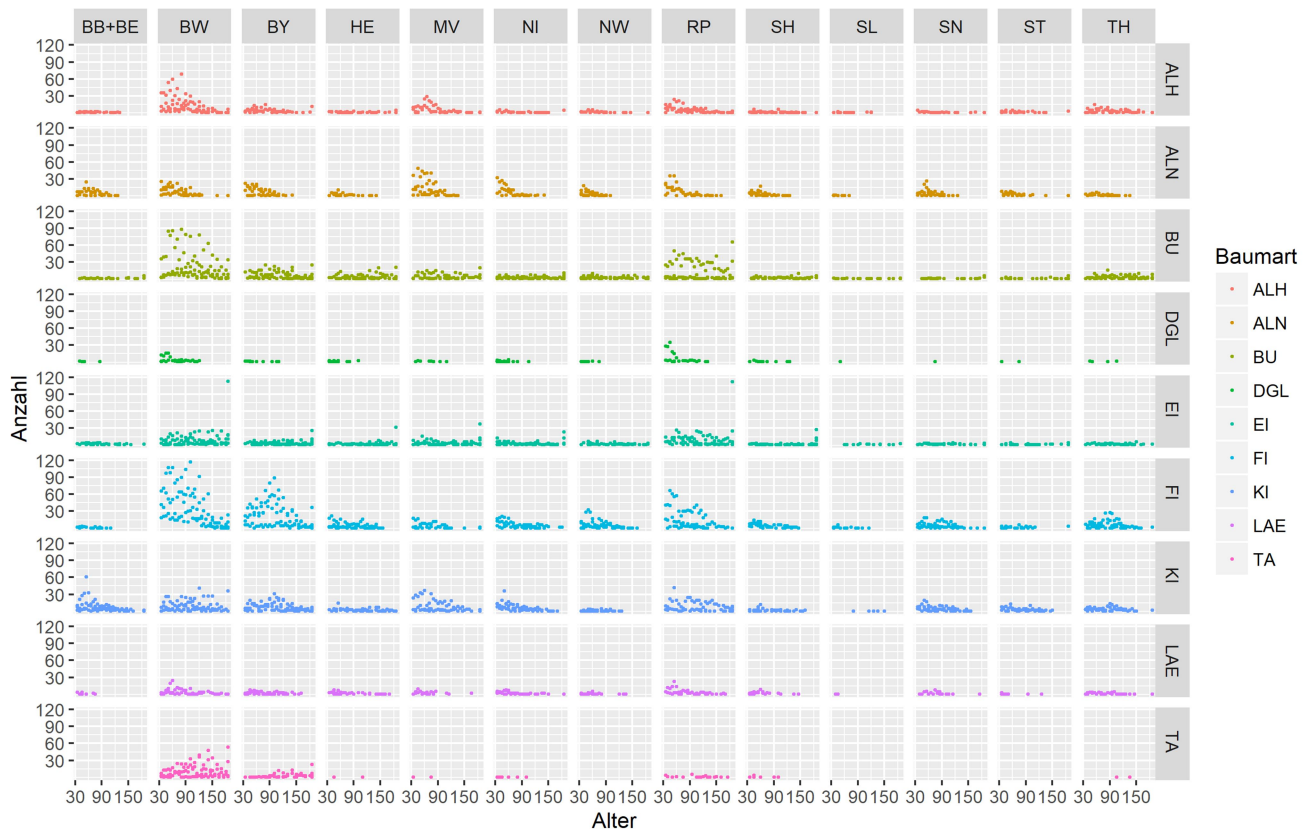
5.2.1 Grundflächenindex

Die Ableitung der Endnutzungsalter (Umtriebszeit) über einen Grundflächenindex (GFI) nach Polley und Kroihner (2006) erfolgte durch den Vergleich der Daten der BWI 2002 mit denen der BWI 2012. Der GFI-Ansatz beruht auf der Idee, dass die Endnutzung des Altbestandes als komplette Räumung gleichzeitig eine Auflichtung des Bestandes ist und somit Platz und Licht für die Verjüngung schafft.

Der GFI beschreibt die Veränderung der Grundfläche (GF) zwischen den Inventuren und erlaubt Aussagen über die Art der stattgefundenen Nutzung. Die Grundfläche der BWI 2012 wird durch die der BWI 2002 geteilt. Es entsteht ein Index, bei dem der Wert 1 für eine konstante GF steht und ein ausgeglichenes Verhältnis von Zuwachs und Nutzung annehmen lässt. Je höher der GFI, desto stärker ist die Zuwachsanreicherung. Dahingegen bedeutet ein niedriger Index der sich Null annähert, dass mehr Holz geschlagen wurde als zugewachsen ist oder es handelt sich um einen Generationswechsel. Die Flächengröße, auf die sich der GFI bezieht, kann nicht exakt angegeben werden, da sie nicht auf einem definierten Probekreis aufgenommen wird. Jeder Baum der Winkelzählprobe hat einen individuellen Grenzkreis, der die Bezugsfläche liefert.

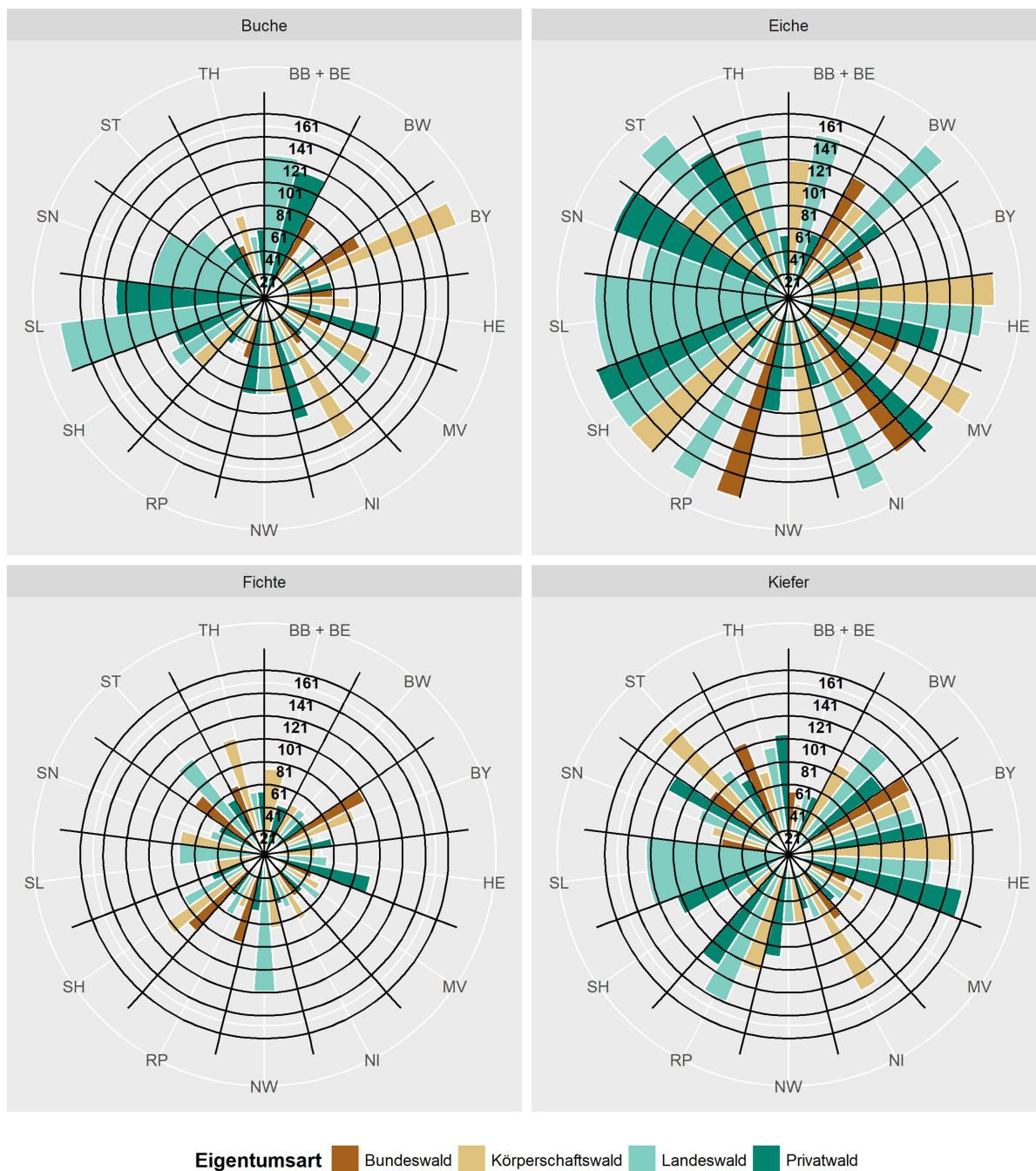
Um konkrete Nutzungen innerhalb des GFI zu finden, wurden die Ergebnisse nach $GFI \leq 0,25$ gefiltert. Zusätzlich wurden die ersten beiden Altersklassen herausgefiltert, da die Verjüngung mit hohen Zuwächsen sehr hohe GFI lieferte. Die so über den GFI abgeleiteten Nutzungsschwerpunkte (Anzahl markanter GFI) wurden für alle Bundesländer und Baumarten über die Altersklassen geplottet (Abbildung 28). Sie zeigen eine sehr kontinuierliche Nutzung in allen Altersklassen, wobei sich die Anzahl in den jungen Jahren häuft und mit zunehmendem Alter sinkt. Die Anzahl der Nutzungen in Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz, ist über alle Baumarten auffällig hoch. In Bayern sieht man einen Schwerpunkt bei der Fichte (FI) und in Mecklenburg-Vorpommern bei anderen Laubbäumen mit hoher Lebensdauer (ALH), anderen Laubbäumen mit niedriger Lebensdauer (ALN) und bei der Kiefer (KI). Die hier beschriebene Häufung von Nutzungen ist nicht nur Hinweis auf ein intensives Management mit zahlreichen Durchforstungen, sondern auch Abbild des Stichprobendesigns und großer Waldflächen mit den entsprechenden Baumarten.

Abbildung 28: Häufigkeit des Grundflächenindex $\leq 0,25$ über Altersklassen nach Bundesländern und Baumarten



Für die Auswahl $GFI \leq 0,25$ wurde das Mittel des Alters und der BHDs nach Bundesländern, Eigentumsarten und Baumarten aus BWI 2002 und BWI 2012 gebildet. Abbildung 29 zeigt die über den gefilterten GFI ermittelten Nutzungsalter der Hauptbaumarten in den Bundesländern und Eigentumsarten. Es ist auffällig, dass die so ermittelten Altersklassen stark variieren. Dies verdeutlicht, dass der GFI nicht nach Nutzungsart in End- oder Vornutzung unterscheidet, sondern alle Durchforstungen ermittelt werden, wie es auch in der Kontinuität der Anzahl der Nutzungen über den Altersklassen in Abbildung 28 zu erkennen ist.

Abbildung 29: Mit dem Grundflächenindex abgeleitete Endnutzungsalter der Hauptbaumarten nach Eigentumsarten und Bundesländern



Die ermittelten Nutzungsalter sollten in den Steuerungsparametern von WEHAM als Endnutzungsalter für Baumarten, Eigentumsarten und Bundesländer differenziert eingetragen werden. Schon nach Polley und Kroihner (2006) gab es die Erkenntnis, dass bei der Berechnung des GFI kaum eine deutliche Abgrenzung von Endnutzung und Vornutzung möglich ist. Flächigere Endnutzungen sind eher ein „Platzschaffen“ für Verjüngung um einen strukturierten ungleichaltrigen Bestandaufbau anzustreben. Da eine Differenzierung von Durchforstungen und tatsächlichen Endnutzungen schwierig ist, wurde diese Methode für die Abbildung der Fortschreibung der Waldbehandlungstrends nicht weiter verfolgt. Der GFI ist ein Ansatz zur Ableitung eines ungefähren Trends führt aber eher zu einem unnötigen Detailverlust.

5.2.2 Normalwaldmodell

In diesem Ansatz wurde die Ableitung der Endnutzungsalter durch den Vergleich des Ist-Vorrats mit dem theoretischen Normalvorrat nach Polley (2008) untersucht. Das Prinzip des Normalwaldmodells (NWM) unterstellt, dass die Flächen der Altersklassen gleichmäßig innerhalb der gesamten Umtriebszeit eines Bestandes belegt sind. Somit wird ein ausgewogenes Verhältnis zwischen der stetigen Entwicklung und Pflege des Rohholzaufkommens sowie der Holznutzung als idealisierte Vorstellung nachhaltiger Rohholzproduktion unterstellt. Folglich bleiben Holzvorrat, Zuwachs und Nutzungsmenge konstant. Strukturierte ungleichartige Mischwälder werden für den Vergleich mit dem NWM, wie häufig bei der BWI angewendet, in rechnerisch gleichaltrige ideale Reinbestände einer Baumart und Altersklasse zerlegt und für die Berechnungen neu gruppiert nebeneinander geschoben (Schmitz et. al 2014). Jedem Baum im Hauptbestand wird dann abhängig von Brusthöhendurchmesser und Baumart eine Standfläche zugewiesen. Die Gesamtfläche aller Bäume einer Baumart entspricht somit einem ideellen Reinbestand auf ideeller Standfläche.

In der Realität weicht die Altersstruktur vom NWM ab. Dies führt zu Schwankungen um den Mittelwert des NWM. Der Schätzwert für die durchschnittliche Produktionszeit bzw. Umtriebszeit ist das Alter, für das die aktuelle Altersstruktur am wenigsten vom NWM abweicht. Aus jeder Altersklasse wurde der jeweilige Durchschnittsvorrat verwendet, um für diesen einen Normalwald der gleichen Altersausstattung zu bilden. Mit diesem theoretischen Normalwald wird die UTZ gesucht, bei welcher der durchschnittliche Vorrat dem der Inventur entspricht.

Bei den Analysen mit Hilfe des NWM werden durchschnittliche Vorräte in m^3/ha des rechnerischen Reinbestandes nach Altersklassen und Baumarten (wenn nötig nach Eigentumsarten und Bundesländern) und die zugehörige Fläche des Auswertungsgebietes von Gesamtdeutschland (Gesamtwaldfläche (GWFI)) aus der BWI 2012 (Thünen Institut 2017) mit dem tatsächlichen durchschnittlichen Vorrat in m^3/ha verglichen. Pro Baumart wird die ideale Standfläche je ha Standfläche über die Flächenausstattung des Zustandes der BWI 2012 und dem Vorrat pro Hektar betrachtet. Dann wird das NWM mit gleichmäßiger Altersklassenausstattung gebildet, indem der Vorrat gleichmäßig auf den Wald verteilt wird. Es war das Ziel, nach dem Endnutzungsalter zu suchen, bei welchem der Normalwald dem Vorrat der BWI gleicht. Die Fläche des Normalwaldes entspricht der Gesamtwaldfläche geteilt durch die Anzahl der selbst festgelegten Altersklassen. Der Gesamtvorrat des Normalwaldes pro Altersklassen entspricht der Fläche des Normalwaldes multipliziert mit dem Vorrat in m^3/ha . Der Vorrat in m^3/ha wiederum entspricht dem Gesamtvorrat des Normalwaldes geteilt durch die Fläche des Normalwaldes. Dann wird die Anzahl der Altersklassen iterativ verändert (erhöht oder vermindert), bis das Niveau des durchschnittlichen Vorrats in m^3/ha erreicht ist.

Tabelle 9: Beispielrechnung für die Herleitung der Altersklassen der Endnutzung für Deutschland

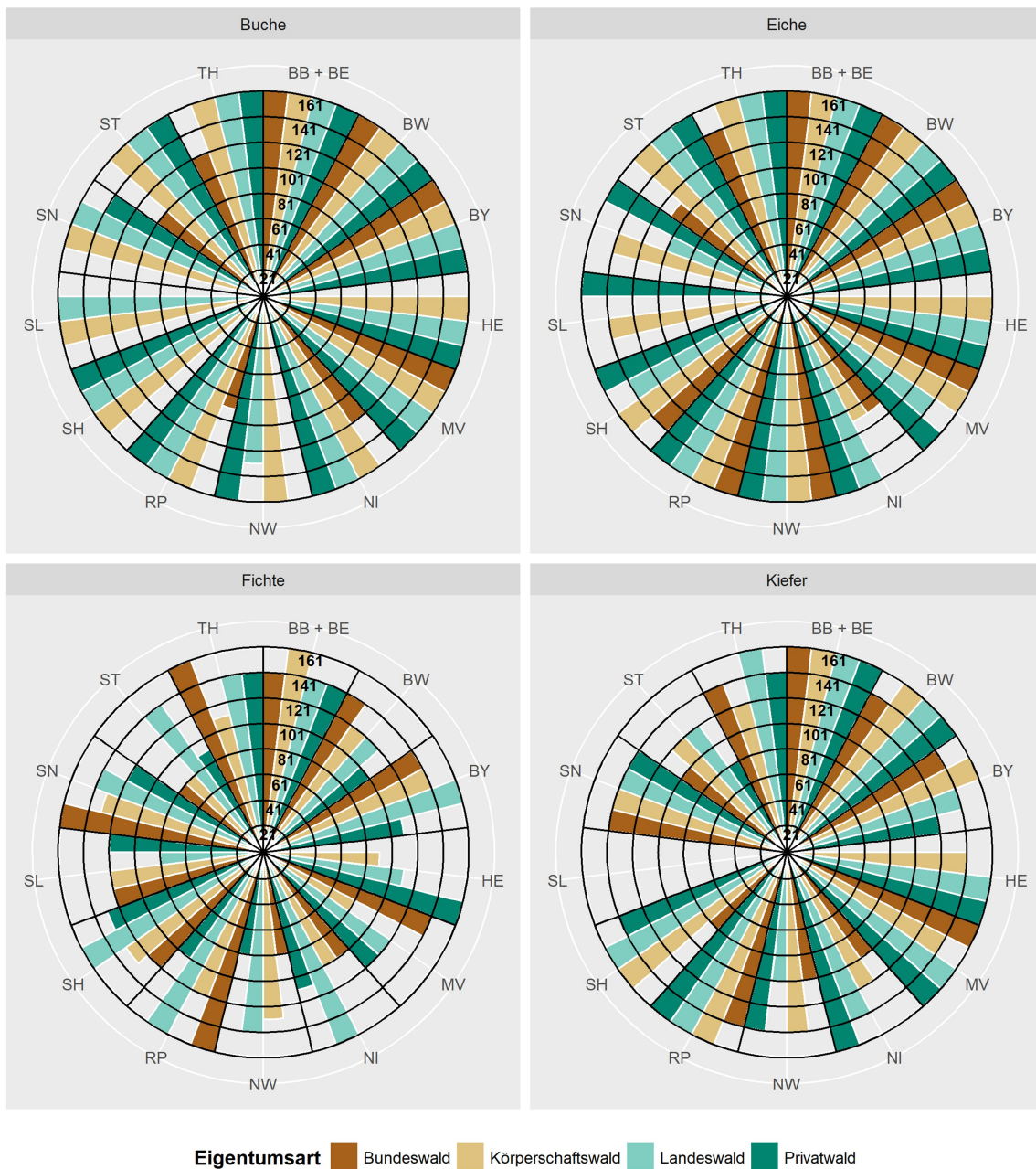
Vorrat [m³/ha] nach Bundesland und Altersklasse (AKI), Filter: Jahr=2012										
Basis: Deutschland (D), bestockter Holzboden, begehbarer Wald, ohne Lücken im Hauptbestand bzw. Plenterwald, Bäume ab 7 cm BHD im Hauptbestand oder Plenterwald, bestandesintern, Baumvolumen: BDat3.0 (Spline-Funktion, 2013), Raster: 16km²: NI, NW, HE, SL, BY, BE, BB / 8km²: NI, BY, SN, TH / 4km²: SH, RP, BW, ST, MV (Inventurnetz für BWI 2012 (Zustandsrechnungen)); ideeller Flächenbezug (gemäß Standflächenanteil) (77Z1JI_L634of_2012_bi / 2014-6-5 9:19:26.603)										
<i>Altersklasse in [a]</i>	1 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100	101 - 120	121 - 140	141 - 160	> 160	alle AKI*
[m³/ha]	27	208	343	379	430	445	447	448	445	333
* entspricht dem deutschlandweit durchschnittlichen Vorrat [m³/ha]										
Zugehörige Fläche des Auswertungsgebietes [ha] nach Land und AKI										
<i>Altersklasse in [a]</i>	1 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100	101 - 120	121 - 140	141 - 160	> 160	alle AKI
1000 [ha]	1066	1630	2228	1710	1389	1089	693	468	350	10627
Altersklassen	7,5	GWFI D/ Anzahl AKI (8, letzte Klasse durch 16)						141-150 Jahre		
GWFI D/ Anzahl Altersklassen in 1000 [ha]	1328	1328	1328	1328	1328	1328	1328	664		
Vorrat in 1000 m³ * Waldfläche einer AKI	36165	276408	456012	503398	570766	591029	594384	297251		
GWFI Deutschland					9.963.294			Vorrat [m³/ha]		
Summe m³ der Altersklasse über alle AKI					3.325.415.786			333		

Nach dem Auffinden der richtigen Altersklassen (Abbildung 30), in welcher der Normalwald-Vorrat dem durchschnittlichen Vorrat entspricht, wird diese als Umtriebszeit genutzt und in der Steuerdatei von WEHAM als Endnutzungsalter für Baumarten und Bundesländer differenziert eingetragen. Als Grundlage wurde die Steuerungsdatei des WEHAM Basisszenarios genutzt. In einigen durch Stichproben gering belegten Baumarten konnten keine Endnutzungsalter durch das NWM ermittelt werden. In diesen Fällen wurden weiterhin die Einstellungen des Basisszenarios übernommen. Nach der Modellierung fand ein Vergleich der Veränderung von der BWI 2002 zu BWI 2012 statt.

In den meisten Fällen lag der reale Holzvorrat über dem größten Normalwaldvorrat. In einigen Bundesländern waren die Daten in verschiedenen Altersklassen lückenhaft. Die Ergebnisse der abgeleiteten Endnutzungsalter für die Baumart Fichte variieren grundsätzlich stärker als bei den anderen Hauptbaumarten. Die Ziel-Altersklassen höher als 140 Jahre waren deutlich seltener als bei der Kiefer. Insgesamt waren die abgeleiteten Endnutzungsalter bei den Nadelbaumarten geringer als bei den Laubbaumarten. In manchen Fällen stimmten Normalwaldvorrat und realer Vorrat gut überein, obwohl

Daten in mehr als zwei Altersklassen fehlten. Auch bei den Laubbaumarten besteht der Trend, dass der reale Vorrat den Normalvorrat deutlich übersteigt.

Abbildung 30: Mit dem Normalwaldmodell abgeleitete Endnutzungsalter der Hauptbaumarten nach Eigentumsarten und Bundesländern



Der Ansatz des NWM ist für die Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche, die einen Großteil der deutschen Waldfläche einnehmen, anwendbar. Für seltener vorkommende Baumarten, wie zum Beispiel Douglasie, Tanne und Lärche, ist der Ansatz eher ungeeignet, da diese geringe Flächenanteile haben. Sie werden in den derzeit gleichmäßig verdichteten Stichproben zu wenig aufgenommen und außerdem zu wenig genutzt, um die Methode sinnvoll anzuwenden. Zusätzlich unterstellt das NWM ein Gleichgewicht zwischen Holznutzung und Zuwachs, welches unter den derzeitigen Waldnutzungstrends nicht für alle Baumarten gleichermaßen gegeben ist. Erwähnenswert wäre die Fichte, die schon seit mehreren Jahren

über ihren Zuwachs hinaus stark übernutzt wird und deren Vorrat weiterhin sinkt (Schmitz et al. 2014). Die Vorräte aller anderen Baumartengruppen steigen allerdings weiterhin. Das Potenzial, besonders der Laubbaumarten wie der Buche, wird nicht abgeschöpft. Daher ist das NWM nicht geeignet für die Ableitung des Waldbehandlungs- und Nutzungstrends, sondern könnte eher als eine Art Kontrollmodell verstanden werden, welches das Gleichgewicht von Zuwachs und Nutzung im Vordergrund hat.

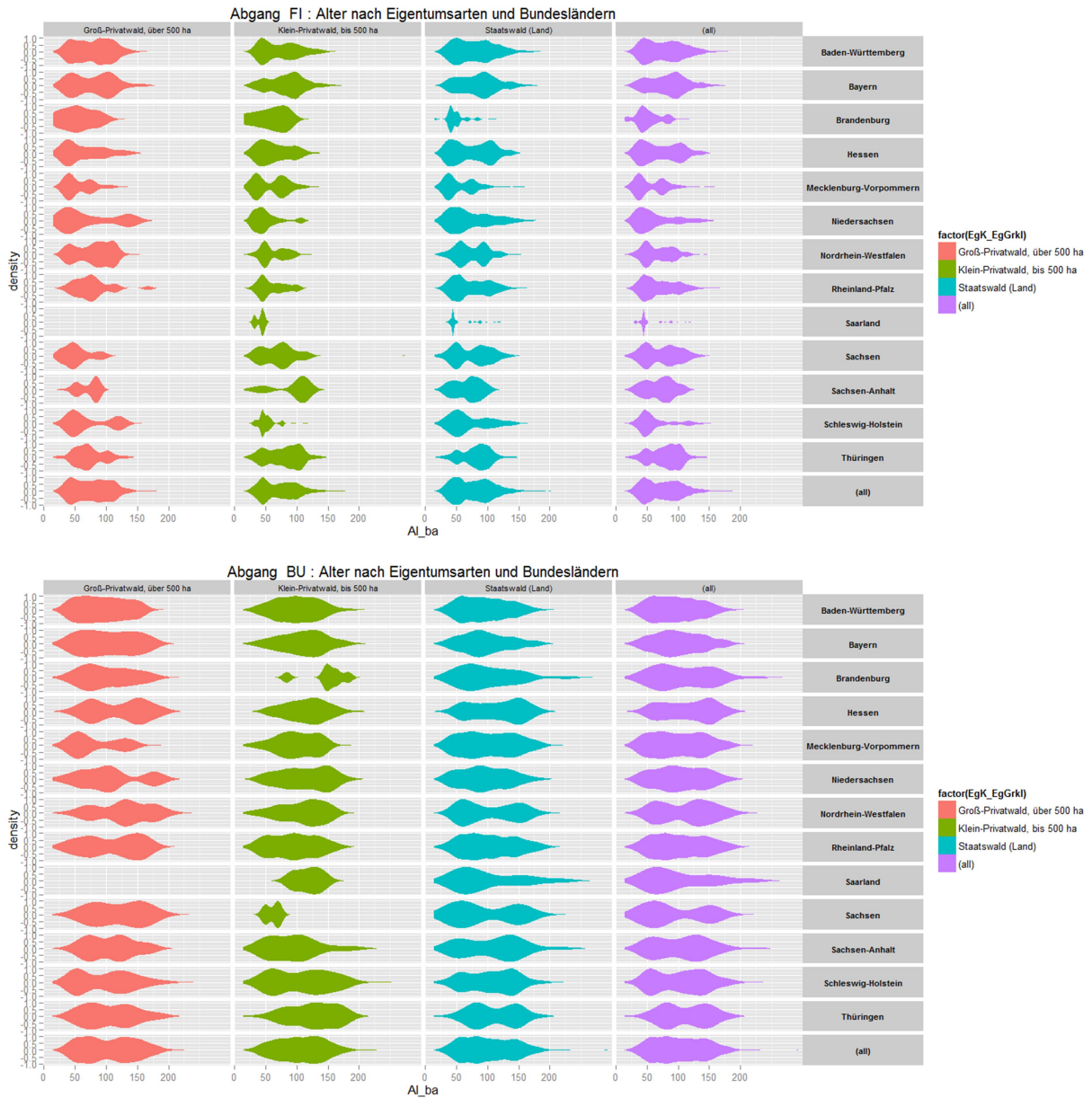
5.2.3 Detailanalyse der Abgangsdaten von BWI 2002 zu BWI 2012

Durchforstungen und Endnutzungen werden zum Großteil durch die ökophysiologischen Eigenschaften der Baumarten selbst bestimmt. Nutzungsentscheidungen werden jedoch aufgrund verschiedener Parameter getroffen, wie der Zugehörigkeit zu einem Bundesland, einer Eigentumsart verschiedener naturräumlicher Gegebenheiten. Weiterhin handeln die Bundesländer entsprechend der verschiedenen Waldbauordnungen. Die Nutzungen in den Eigentumsarten unterscheiden sich im Groben im Landes- und Bundeswald, aber vor allem im Privatwald. Die Bewirtschaftung privater Wälder ist besonders divers und variiert je nach ihren Größenklassen und den damit verbundenen sozioökonomischen Zielen der Besitzer, die selbst innerhalb der Bundesländer unterschiedlich sind. Aus den beschriebenen Gründen erfüllen die „traditionellen“ Ansätze kaum die an ein Trendfortschreibungsszenario gestellten Anforderungen. Besonders wenn man die Szenarienanalysen auch Stakeholdern wie der Sägeindustrie, dem Waldnaturschutz, den Landes- und Bundesforsten, und vielleicht den Privatwaldbesitzern als Entscheidungsunterstützung zur Verfügung stellen will, macht es Sinn für diese Einheiten den größtmöglichen Detailgrad zu erhalten. Deshalb war es nötig, und mit der nun zweiten bundesweiten Wiederholungsinventur auch möglich, eine direkte Analyse des Abgangs vorzunehmen. Ziel dabei war die Untersuchung von Merkmalsausprägungen wie Alter, BHD und Intensität der Nutzungen der zwischen den Bundeswaldinventuren 2002 und 2012 genutzten Bäume aus der Winkelzählprobe (Zählfaktor 4). Davon ausgehend sollen anschließend die Steuerungsparameter für WEHAM angepasst werden. Für die beschriebenen Analysen wurde das Kollektiv an Bäumen genutzt, welches über die Probekennziffer als selektiv entnommene Probebäume oder als flächig entnommen identifiziert werden konnte.

Das Endnutzungsalter und bei der Nutzung vorhandene BHD's wurden mit Hilfe eines Kerndichteschätzers im Statistikprogramm R abgeleitet. Es handelt sich dabei um ein nicht parametrisches Verfahren, das eine gleichmäßige stetige Schätzung der unbekanntem Verteilung und somit die Dichte eines unbekanntem Wahrscheinlichkeitsmaßes ermöglicht. Dabei werden mit Hilfe von fundamentaler Datenglättung basierend auf einer finiten Stichprobe Rückschlüsse auf die Population vorgenommen.

Die Variabilität der Nutzungen für verschiedene Baumarten in den Eigentumsarten und Bundesländern sind beispielhaft für Fichte und Buche in Abbildung 31 dargestellt. Die graphisch dargestellten „Verdickungen“ stehen für eine hohe Dichte an Nutzungsaktivitäten. Dabei ist anzunehmen, dass sie im vorderen Altersbereich für Nutzungen im Rahmen von Durchforstungen stehen und in den hinteren Altersklassen für Endnutzungen, die mit der Zeit immer seltener auftreten. Die genaue Ausformung jeder Grafik ist außerdem ein Zeiger für die Stetigkeit durchgängiger Nutzungen oder für verstärkte selektive Eingriffe, z.B. um das Alter 50 und ca. 80.

Abbildung 31: Intensität der Nutzung über das Alter für Fichte (oben) und Buche (unten) nach Eigentumsarten und Bundesländern



Die beiden nachfolgenden Grafiken (Abbildung 32, Abbildung 33) sind Beispiele für die detaillierte Extraktion der Nutzungsspitzen in den Kerndichteschätzungen. Diese zeigen die Unterschiede in den klassifizierten Abgangsdaten. Dabei sind deutliche Unterschiede bei den Nutzungen in den Bundesländern und Eigentumsarten zu verzeichnen.

Abbildung 32: Intensität der Nutzung über das Alter für Fichte im Landeswald (oben), Großprivatwald (Mitte) und Kleinprivatwald (unten) nach Eigentumsarten und Bundesländern

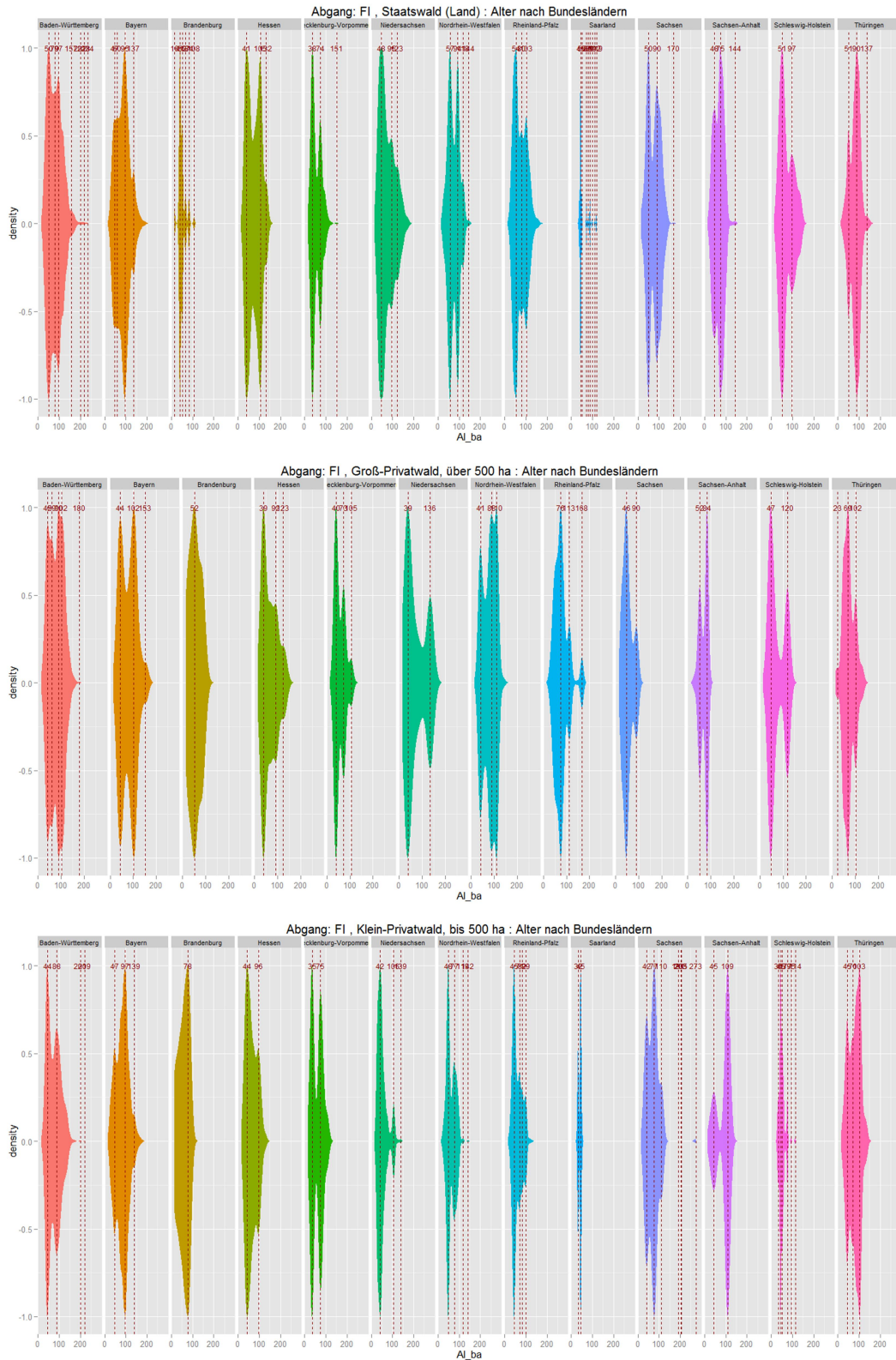
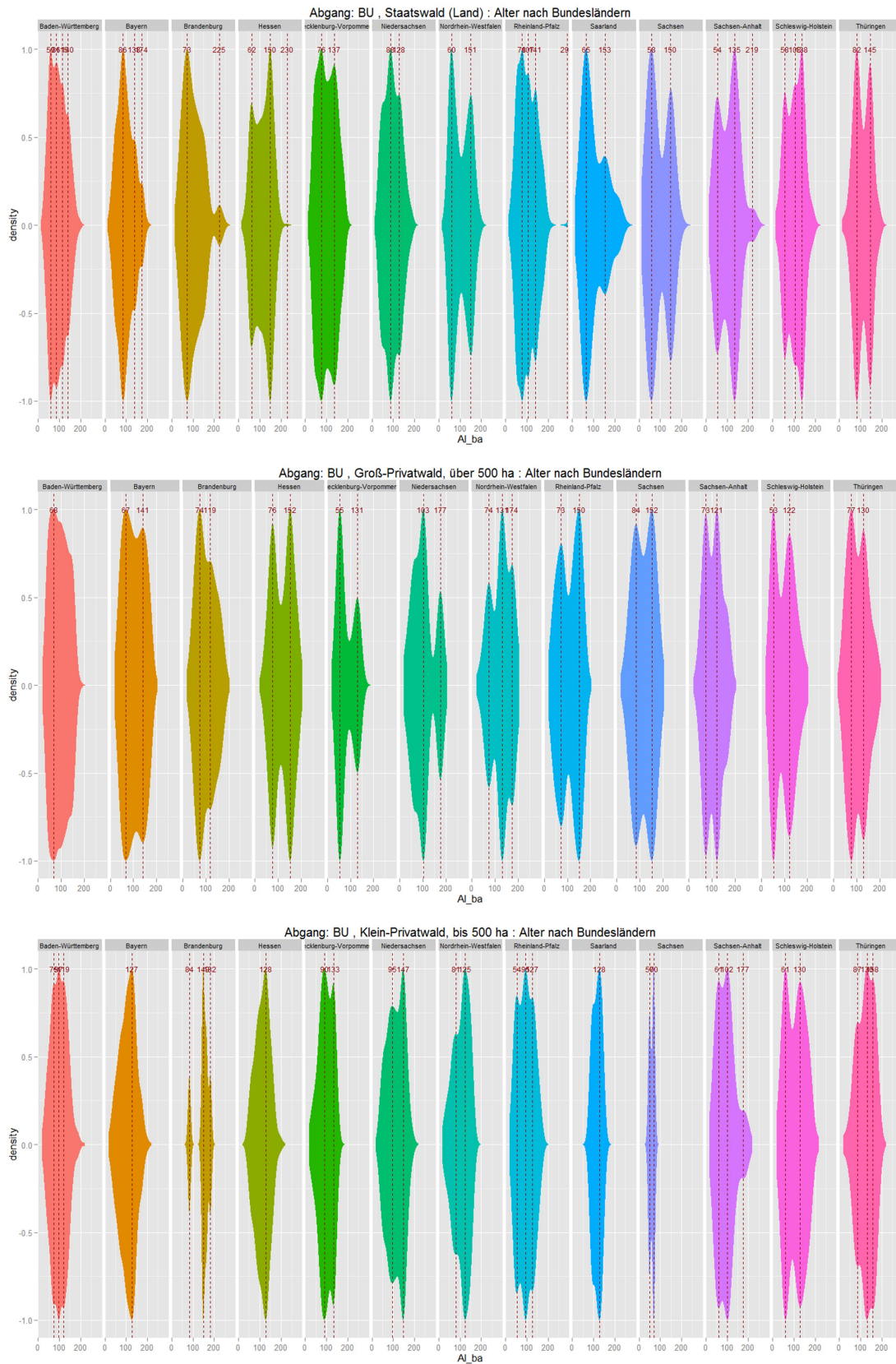


Abbildung 33: Intensität der Nutzung über das Alter für Buche im Landeswald (oben), Großprivatwald (Mitte) und Kleinprivatwald (unten) nach Eigentumsarten und Bundesländern



Nach der Identifizierung der Nutzungsspitzen in Altersklassen und BHD-Klassen, differenziert nach Bundesländern, Eigentumsarten und Baumarten, wurden diese Werte ausgeschrieben und als Zeitpunkt

für Durchforstungseingriffe und Endnutzungen in die Steuerungsdatei von WEHAM übernommen. Wiederholte Modellierungsläufe zeigten erneut, dass nicht nur die Endnutzung eine Rolle spielt, sondern auch der Zeitpunkt und vor allem die Intensität der Zwischendurchforstungen.

Der Umsetzungsprozess eines möglichst realistischen TFS hat gezeigt, dass eine detaillierte Analyse des Abgangs vielversprechende Informationen zur Erstellung des Szenarios liefern. Da die Parametrisierung der Steuerdatei allerdings iterativ ist und manuell vollführt werden muss, ist die Erstellung der Steuerdatei in Access sehr zeitintensiv. Daher können in diesem Bericht keine endgültigen Einzelauswertungen dargestellt werden. Aufgrund des großen Interesses und Bedarfs aus Stakeholderkreisen wird weiterhin an der Erstellung eines realistischen TFS gearbeitet. Ebenso zeigte sich, dass eine Überarbeitung des Modells WEHAM sinnvoll und notwendig ist. Im Vordergrund für ein zukünftiges TFS sollte eine Automatisierung zur Befüllung der Steuerdatei stehen.

6 Totholz

6.1 Einführung

Totholz ist Bestandteil des natürlichen Kreislaufes im Wald. Es entsteht durch das Absterben von Bäumen, die sich dann zersetzen. Die regelmäßige Nachlieferung von Totholz stellt den Erhalt eines Totholzvorkommens sicher. Im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertung und der ökologischen Betrachtung von Wäldern spielt Totholz eine entscheidende Rolle. Für die Erhaltung der Biodiversität im Wald ist Totholz als Strukturelement und Habitat für zahlreiche Arten unersetzlich. Die heutige nachhaltige Waldbewirtschaftung strebt einen angemessenen Totholzanteil an, was sich beispielsweise in den verschiedenen waldbaulichen Konzepten und Programmen der Bundesländer zur Erhaltung und Mehrung von Alt- und Totholz widerspiegelt (ForstBW 2016, MELFF 2002, NABU 2014).

Wie bereits in Kapitel 2.1 beschrieben, werden mit dem Modell WEHAM das Waldwachstum und die Waldbehandlung simuliert, wobei lebende Bäume die Grundlage der Modellierung bilden. In den Ergebnissen sind modellbedingt nur Angaben zu absterbenden Bäumen (Mortalität) mit einem Mitteldurchmesser kleiner als 12 cm (Verjüngung) und auf Flächen mit Nutzungseinschränkung enthalten. Es gibt keine Informationen zu dem bereits vorhandenen Totholzvorrat im Wald. Daher sind keine Aussagen zum Zustand und der Entwicklung des Totholzvorrates möglich.

Aus diesem Grund wurde ein Verfahren zur Totholzmodellierung außerhalb von WEHAM entwickelt. Dieses Verfahren basiert auf der Methodik von Kroiher und Oehmichen (2010). Durch die zusätzliche Totholzmodellierung kann eine Analyse und Interpretation der Totholzvorräte vorgenommen werden. Um den für das jeweilige Szenario entsprechenden Totholzzielvorrat im Jahr 2052 zu erreichen, müssen die Nachlieferungsraten vom ausgewiesenen Rohholzpotenzial abgezogen werden. Damit verringern sich die tatsächlich verfügbaren Rohholzpotenziale gegenüber den durch WEHAM ausgewiesenen Rohholzpotenzialen (Kapitel 4.5.4).

6.2 Definitionen, Eingangsdaten und Zielstellung

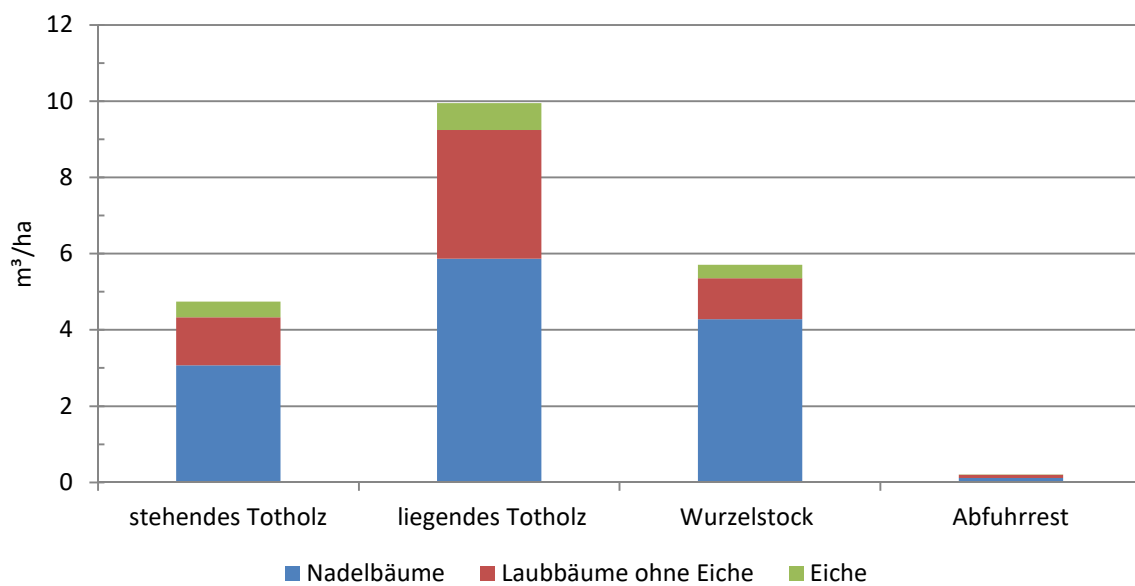
Für die Totholzmodellierung wurden die Daten der BWI 2012 verwendet. Bei der BWI 2012 wurde Totholz im Probekreis mit 5 m Radius erhoben. Die Aufnahme umfasste Totholzobjekte mit einem Durchmesser ab 10 cm am dickeren Ende und Wurzelstöcke ab einem Schnittflächendurchmesser ab 20 cm (BMELV 2011). Totholz wurde in die Baumartengruppe Nadelbäume, Laubbäume (außer Eiche) und Eiche unterteilt.

Die BWI 2012 weist einen Vorrat von durchschnittlich 20,6 m³ Totholz pro Hektar aus. Dies ergibt einen Totholzvorrat von 224 Mio. m³ im deutschen Wald. Der Totholzvorrat hat damit 6 % des lebenden Holzvorrates erreicht (Schmitz et al. 2014). Fast die Hälfte ist liegendes Totholz (48 %), während 28 % Wurzelstöcke, 23 % stehendes Totholz und 1 % Abfuhrreste sind (Abbildung 34). Mit 71 % befindet sich der Großteil des Totholzes in den Phasen der beginnenden und fortgeschrittenen Zersetzung, während 17 % stark vermodert und 12 % unzersetzt sind (Abbildung 35).

Für die Totholzmodellierung wurde stehendes Totholz (4,7 m³/ha) und liegendes Totholz (9,9 m³/ha) verwendet (Thünen-Institut 2017a). Dies summiert sich zu einem Vorrat von 14,6 m³/ha. Wurzelstöcke (5,7 m³/ha) und Abfuhrreste (0,2 m³/ha) wurden aufgrund ihrer geringeren naturschutzfachlichen Relevanz aus den Betrachtungen ausgeschlossen.

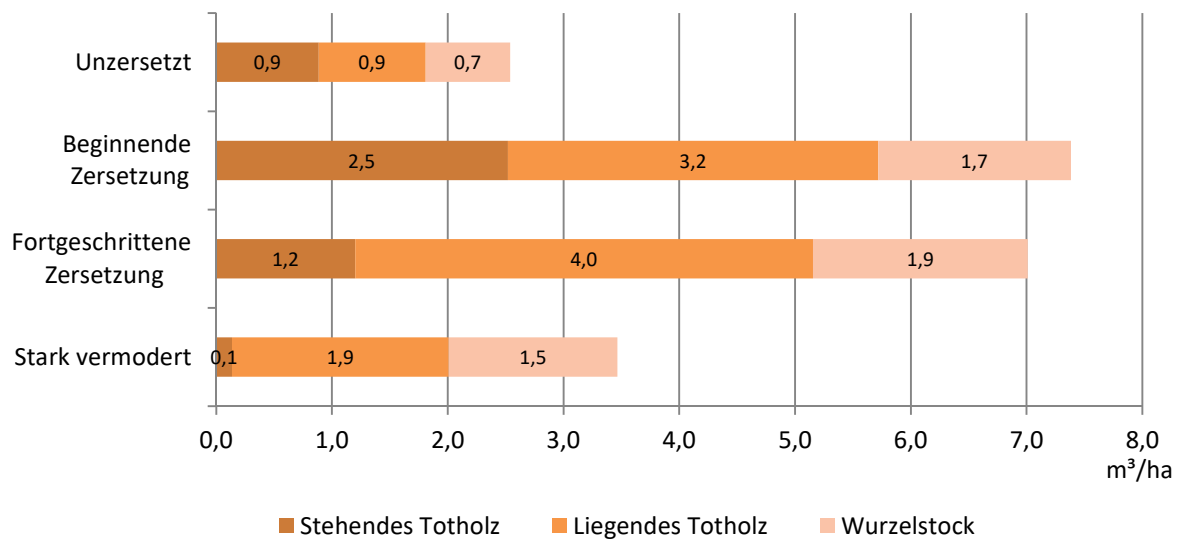
Das Ziel des Naturschutzpräferenzszenarios war der Anstieg des Totholzvorrates. Aus der großen Spannweite eines möglichen Totholzvorrates, die sich bei den Projektbefragungen aufgetan hatte (Kapitel 4.1), wurde der Wert von 35 m³/ha als Zielvorgabe für das Jahr 2052 ausgewählt. Die Zielstellung für das Holzpräferenz- und das Basisszenario war die Erhaltung des gegenwärtigen Totholzvorrates von 14,6 m³/ha zum Ende des Projektionszeitraumes.

Abbildung 34: Totholzvorrat der BWI 2012 nach Baumartengruppe und Totholztyp



basierend auf Daten aus Thünen Institut 2017b

Abbildung 35: Totholzvorrat der BWI 2012 nach Zersetzungsgrad Totholz und Totholztyp



basierend auf Daten aus Thünen Institut 2017c

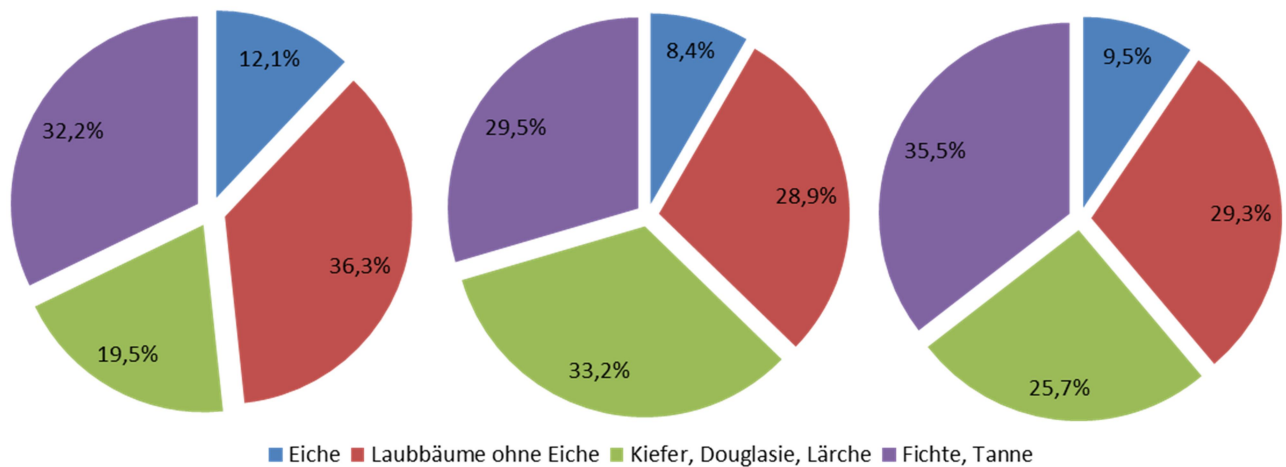
6.3 Methodik

Der exponentielle Abbau von Totholz (Olson 1963) über die Zeit wurde nach Gleichung 1 berechnet:

$$V_{TH}(t) = V_{TH} * e^{-kt} \quad (1)$$

Hierbei stellen V_{TH} den Totholzvorrat, t den Zersetzungszeitraum in Jahren und k die Zersetzungskonstante dar. Für die dichtebezogenen Zersetzungskonstanten wurden die von Rock et al. (2008) publizierten Werte von 0,067 für Buche, 0,0372 für Eiche, 0,0575 für Kiefer und 0,0525 für Fichte verwendet. Sie gelten sowohl für liegendes als auch stehendes Totholz mit einem Mindestdurchmesser von 5 cm. Für die Herleitung einer Zersetzungskonstante für den Totholzvorrat der BWI wurden die in Rock et al (2008) nicht berücksichtigten Baumarten wie folgt zugordnet: Alle Laubhölzer mit Ausnahme der Eiche wurden der Buche, die Douglasie und Lärche der Kiefer und die Tanne der Fichte zugeordnet. Anschließend wurde unterstellt, dass die Baumarten entsprechend ihres Anteiles am Gesamtvorrat den jährlich hinzukommenden Totholzvorrat bilden. Um hierbei die unterschiedliche Entwicklung der Szenarien zu berücksichtigen, wurde der Vorrat des Jahres 2052 für die Feststellung der Anteile der Baumartengruppen verwendet (Abbildung 36). Der Abbau der Vorratsanteile der vier Baumartengruppen erfolgte unter Verwendung der Zersetzungskonstanten nach Rock et al. (2008) nach Gleichung 1 über den vierzigjährigen Projektionszeitraum. Aus der Summe der Abbauraten der Baumartengruppen je Jahr wurde die Zersetzungskonstante $k = 0,054$ mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,99 für das NPS hergeleitet, die nachfolgend als baumartenunabhängige BWI-Zersetzungskonstante verwendet wird. Für das HPS beträgt $k = 0,055$ und für das Basisszenario ist $k = 0,054$.

Abbildung 36: Anteil der Baumartengruppierungen am Gesamtvorrat 2052 des NPS (links), HPS (Mitte) und des Basisszenarios (rechts)



Für einen konstanten Totholzvorrat muss der durch Zersetzung entstehende Verlust an Totholz ausgeglichen werden. Dafür ist eine jährliche Nachlieferung von Totholz erforderlich. Diese wird als die primäre Nachlieferungsrate (N_p) bezeichnet (Gleichung 2). Dabei sind V_{TH} der Totholzvorrat und k die baumartenunabhängige BWI-Zersetzungs-konstante.

$$N_p = V_{TH} * k \quad (2)$$

Die Ergebnisse der Modellierungen in WEHAM enthalten einen Totholzanteil (M_{WEHAM}). Dieser umfasst modellbedingt nur Angaben zu absterbenden Bäumen (Mortalität) mit einem Mittendurchmesser kleiner als 12 cm (Verjüngung) und auf Flächen mit Nutzungseinschränkung. Dieser Totholzanteil ist von der primären Nachlieferungsrate abzuziehen, um die noch ausstehende Totholznachlieferungsrate (N_{pa}) zu bestimmen (Gleichung 3). Die primäre ausstehende Totholznachlieferungsrate ist schließlich vom Rohholzpotenzial abzuziehen.

$$N_{pa} = N_p - M_{WEHAM} \quad (3)$$

Um einen Zieltotholzvorrat (V_{THZ}) verglichen zum Totholzvorrat der BWI 2012 in einem Zeitraum t zu erreichen, muss zusätzlich Totholz nachgeführt werden (Gleichung 4). Dies soll jährlich in gleichen Mengen erfolgen und wird als zusätzliche Nachlieferungsrate (N_z) bezeichnet.

$$V_{THZ} = N_z * \sum_{n=0}^{t-1} e^{-k*n} + V_{TH} \quad (4)$$

Die Berechnung der zusätzlichen jährliche Nachlieferungsrate N_z ist in Gleichung 5 dargestellt.

$$N_z = \frac{V_{THZ} - V_{TH}}{\sum_{n=0}^{t-1} e^{-k*n}} \quad (5)$$

Die Summe der primären ausstehenden Nachlieferungsrate (N_{pa}) und der zusätzlichen Nachlieferungsrate (N_z) ist die kumulative Nachlieferungsrate (N_k) (Gleichung 6).

$$N_k = N_{pa} + N_z \quad (6)$$

6.4 Ergebnisse

Um in allen Szenarien den gegenwärtigen Totholzvorrat von 14,6 m³/ha nachhaltig und stabil bis zum Jahr 2052 zu halten, muss der Zersetzungsverlust ausgeglichen werden. Für den Erhalt des „status quo“ sind jährlich bundesweit 0,79 m³/ha nachzuliefern. Von der primären Nachlieferungsrate ist anschließend jeweils die durch das Modell WEHAM ausgewiesene Mortalität für den entsprechenden Zeitraum abzuziehen.

Für das HPS muss somit vom projizierter Gesamtvorrat des mittleren Rohholzpotenzials (2013-2052) von 12,61 m³/ha*a [Vfm] (entspricht 9,86 m³/ha*a [Efm]) eine Nachlieferungsrate von 0,580 m³/ha*a [Vfm] (entspricht 0,454 m³/ha [Efm]) zur Verfügung gestellt werden.

Für das Basisszenario muss vom projizierter Gesamtvorrat des mittleren Rohholzpotenzials (2013-2052) von 9,26 m³/ha*a [Vfm] (entspricht 7,31 m³/ha*a [Efm]) eine Nachlieferungsrate von 0,579 m³/ha*a [Vfm] (entspricht 0,457 m³/ha [Efm]) zur Verfügung gestellt werden.

Für das NPS soll der gegenwärtige auf einen höheren Zielvorrat von 35 m³/ha innerhalb des Projektionszeitraumes von 40 Jahren angehoben werden. Daher ist eine zusätzliche Nachlieferungsrate von 1,21 m³/ha erforderlich. Somit ergibt sich für das NPS eine kumulative Nachlieferungsrate von 1,71 m³/ha. Vom projizierter Gesamtvorrat des mittleren Rohholzpotenzials (2013-2052) von 9,38 m³/ha*a [Vfm] (entspricht 7,36 m³/ha*a [Efm]) muss eine Nachlieferungsrate von 1,71 m³/ha*a [Vfm] (entspricht 1,34 m³/ha [Efm]) zur Verfügung gestellt werden.

Das mittlere Rohholzpotenzial des gesamten Projektionszeitraumes und die Nachlieferungsrate für einen Totholzvorrat von 14,6 m³/ha und 35 m³/ha im Jahr 2052 werden in Abbildung 37 für alle drei Szenarien dargestellt. Die Nachlieferungsrate für einen Zielvorrat von 14,6 m³/ha für das HPS entspricht 5 % des Rohholzpotenziales und für das Basisszenario 6 %. Für einen angestrebten Totholzvorrat von 35 m³/ha für das NPS werden 18 % des Rohholzpotenziales als Nachlieferungsrate benötigt.

Abbildung 37: Mittleres Rohholzpotenzial 2013-2052 und Nachlieferungsraten [Vfm] für Totholzvorräte von 14,6 m³/ha und 35 m³/ha in den drei Szenarien. Entsprechend des jeweiligen Totholzvorrates ist die Nachlieferungsrate vom verfügbaren Rohholzpotenzial abzuziehen.

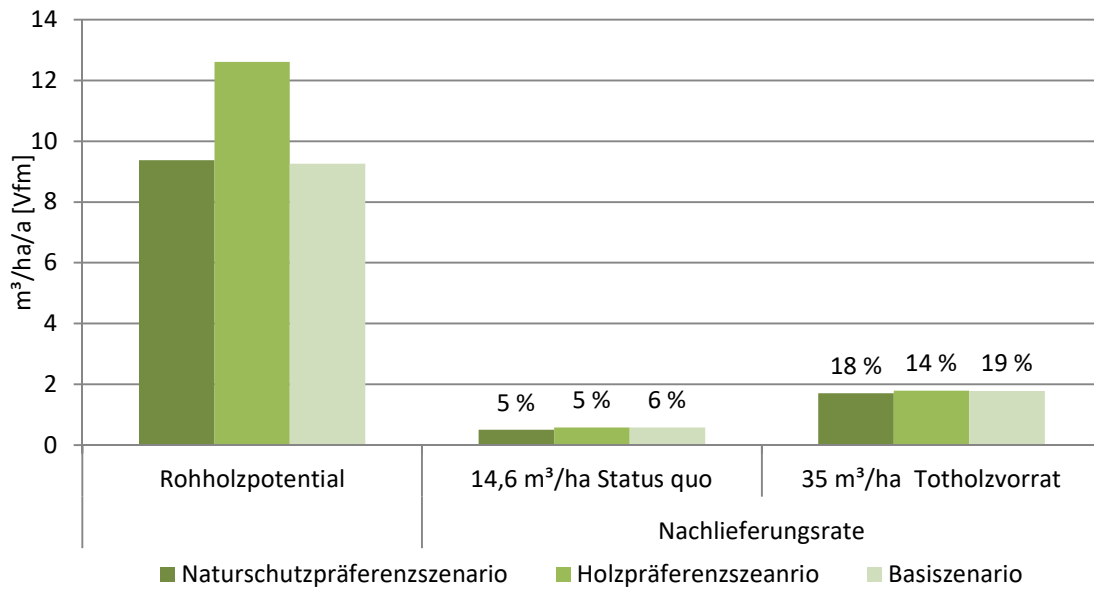
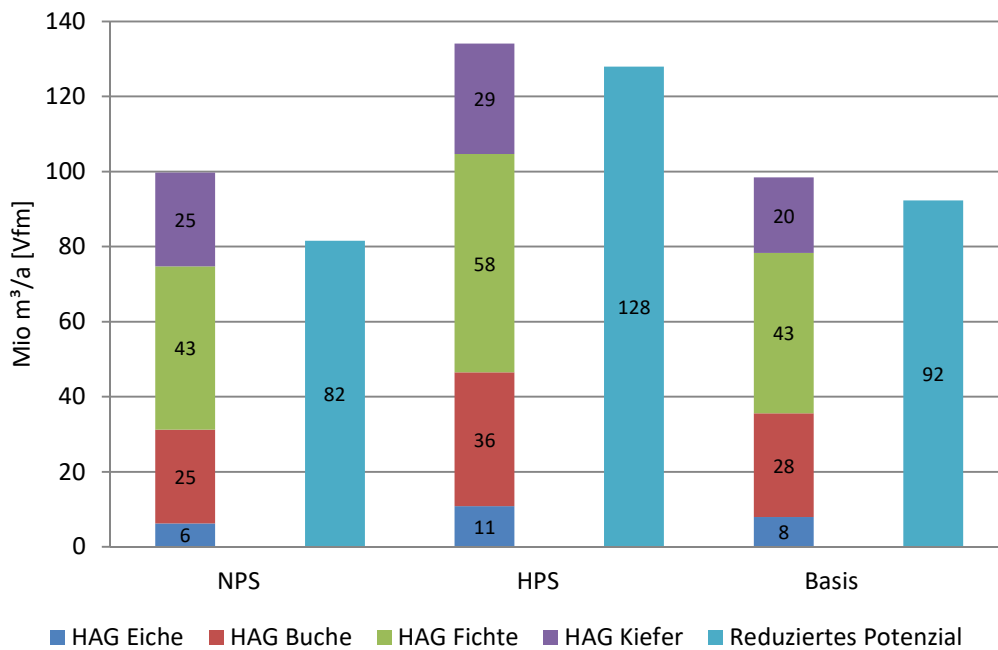
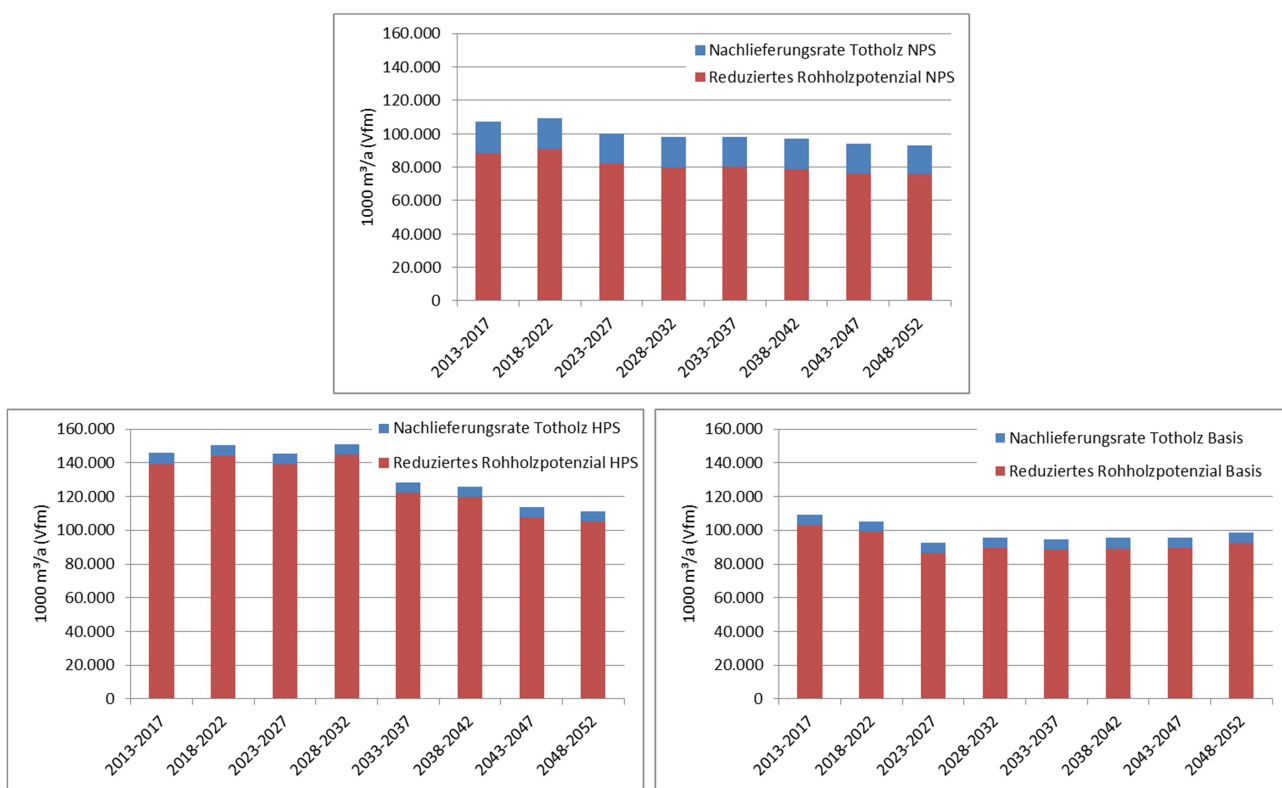


Abbildung 38: Mittleres Rohholzpotenzial nach Holzartengruppen und reduziertes Rohholzpotenzial aller Baumarten für den Projektionszeitraum in den drei Szenarien



In Abbildung 38 werden für jedes Szenario das mittlere Rohholzpotenzial (Mio. m³/a, Vfm) nach Holzartengruppen und das reduzierte Rohholzpotenzial aller Baumarten für den Zeitraum 2013-2052 gegenübergestellt. Um beim NPS einen Zielvorrat von 35 m³/ha zu erreichen, reduziert sich das Rohholzpotenzial um 18 Mio. m³/a. Damit steht ein mittleres Potenzial von 82 Mio. m³/a zur Verfügung. Für das HPS und das Basisszenario soll der gegenwärtige Zustand von 14,6 m³/ha gehalten werden. Bei beiden Szenarien reduziert sich das Rohholzpotenzial um 6 Mio. m³/a. Hier zeigt sich deutlich das größere Ausgangspotenzial des HPS, wodurch das nach Abzug der Nachlieferungsrate verbleibende Potenzial mit 128 Mio. m³/a weiterhin größer als das Potenzial des Basisszenarios und des NPS ist. Die Entwicklung des Rohholzpotenzials (1000 m³/a, Vfm) unter Berücksichtigung der jeweiligen Totholznachlieferungsrate über den Projektionszeitraum in Zeitschnitten von 5-Jahres-Perioden für die Szenarien zeigt Abbildung 39.

Abbildung 39: Gesamt-Rohholzpotenzial über die Projektionsperioden, unterteilt in Nachlieferungsrate und das dadurch reduzierte Rohholzpotenzial für die drei Szenarien



6.5 Totholznachlieferung

Für die Erhaltung eines definierten Totholzvorrates oder den Aufbau eines angestrebten Zieltottholzvorrates muss der Zersetzungsverlust ausgeglichen werden. Dafür ist eine entsprechende Menge an Totholz nachzuliefern. Die Nachlieferungsrate für die einzelnen Szenarien sind in Kapitel 6.4 beschrieben. Gemäß der Zielstellung ist die Nachlieferungsrate für Totholz aus dem projizierten Vorrat des Rohholzpotenzials, das in verschiedene Sorten unterteilt ist, zu entnehmen. Aufgrund der angewandten Methodik für die Totholzmodellierung wurde bei der Aufteilung der verschiedenen Sortimente die Wichtung der Baumartengruppierungen zum Zeitpunkt 2052 berücksichtigt. Entsprechend der Wichtung der Baumartengruppen wurde der Anteil der Nachlieferungsrate je Holzartengruppe berechnet. Dieser

Anteil der Nachlieferungsrate wurde ins Verhältnis zum Gesamtrohholzpotenzial aller Sorten der entsprechenden HAG gesetzt, um den prozentualen Anteil der Nachlieferungsrate für alle Sorten zu ermitteln. Dieser prozentuale Anteil (siehe Tabelle 10), angewendet auf alle einzelnen Sorten je HAG, ergibt die vom Rohholzpotenzial abzuziehende Nachlieferungsrate je HAG. Als Sortiervariante für die Bestückung der Nachlieferungsrate wurde für alle Szenarien eine anteilige Aufschlüsselung nach HAG gewählt.

6.5.1 Totholznachlieferung für das Naturschutzpräferenzszenario

Für das NPS soll im Jahr 2052 ein Zielvorrat an Totholz von 35 m³/ha erreicht werden. Dafür muss vom projizierten Gesamtvorrat des Rohholzpotenzials von 7,36 m³/ha*a [Efm] eine Nachlieferungsrate von 1,34 m³/ha*a [Efm] zur Verfügung gestellt werden. In Tabelle 10 sind die Datengrundlage für die Berechnung und die entsprechenden Abzüge in Prozent dargestellt. In Tabelle 11 sind die Ergebnisse der Berechnung abgebildet.

Tabelle 10: Datengrundlage für die Berechnung der anteiligen Aufschlüsselung des Rohholzpotenzials nach HAG [Efm] aus allen Sorten für eine Nachlieferungsrate von 1,34 m³/ha*a [Efm] für das NPS

Holzartengruppe	Einheit	Stammholz, MS	Industrieholz, MS	verwertbar	X-Holz, MS	sonst. Derbholz, incl. U-Holz, MS	nicht verwertbar inkl. X-Holz	Abzüge
Eiche	[m ³ /ha*a]	0,25	0,17	0,42	0,02	0,00	0,02	35%
Buche	[m ³ /ha*a]	1,12	0,71	1,83	0,07	0,00	0,07	26%
Fichte	[m ³ /ha*a]	3,04	0,07	3,10	0,13	0,01	0,14	13%
Kiefer	[m ³ /ha*a]	1,64	0,06	1,70	0,07	0,01	0,08	14%

Tabelle 11: Ergebnisse der anteiligen Aufschlüsselung des Rohholzpotenzials nach HAG [Efm] aus allen Sorten für eine Nachlieferungsrate von 1,34 m³/ha*a [Efm] für das NPS

Holzartengruppe	Einheit	Stammholz, MS	Industrieholz, MS	verwertbar	X-Holz, MS	sonst. Derbholz, incl. U-Holz, MS	nicht verwertbar inkl. X-Holz	Abzüge
Eiche	[m ³ /ha*a]	0,09	0,06	0,15	0,01	0,00	0,01	35%
Buche	[m ³ /ha*a]	0,30	0,19	0,48	0,02	0,00	0,02	26%
Fichte	[m ³ /ha*a]	0,41	0,01	0,42	0,02	0,00	0,02	13%
Kiefer	[m ³ /ha*a]	0,23	0,01	0,24	0,01	0,00	0,01	14%
Gesamt	[m ³ /ha*a]	1,02	0,26	1,29	0,05	0,00	0,05	1,34

6.5.2 Totholznachlieferung für das Holzpräferenzszenario

Für das HPS soll im Jahr 2052 ein Zielvorrat an Totholz von 14,6 m³/ha, was dem Status quo entspricht, erreicht werden. Dafür muss vom projizierten Gesamtvorrat des Rohholzpotenzials von 9,46 m³/ha*a [Efm] eine Nachlieferungsrate 0,45 m³/ha*a [Efm] zur Verfügung gestellt werden. Tabelle 12 zeigt die Datengrundlage für die Berechnung und die entsprechenden Abzüge in Prozent während in Tabelle 13 die Ergebnisse der Berechnung dargestellt sind.

Tabelle 12: Datengrundlage für die Berechnung der anteiligen Aufschlüsselung des Rohholzpotenzials nach HAG [Efm] aus allen Sorten für eine Nachlieferungsrate von 0,45 m³/ha*a [Efm] für das HPS

Holzartengruppe	Einheit	Stammholz, MS	Industrieholz, MS	verwertbar	X-Holz, MS	sonst. Derbholz, incl. U-Holz, MS	nicht verwertbar inkl. X-Holz	Abzüge
Eiche	[m³/ha*a]	0,44	0,28	0,73	0,03	0,00	0,03	5%
Buche	[m³/ha*a]	1,62	1,00	2,61	0,10	0,00	0,10	5%
Fichte	[m³/ha*a]	4,00	0,11	4,11	0,18	0,02	0,19	3%
Kiefer	[m³/ha*a]	1,90	0,08	1,99	0,09	0,01	0,10	7%

Tabelle 13: Ergebnisse der anteiligen Aufschlüsselung des Rohholzpotenzials nach HAG [Efm] aus allen Sorten für eine Nachlieferungsrate von 0,45 m³/ha*a [Efm] für das HPS

Holzartengruppe	Einheit	Stammholz, MS	Industrieholz, MS	verwertbar	X-Holz, MS	sonst. Derbholz, incl. U-Holz, MS	nicht verwertbar inkl. X-Holz	Abzüge
Eiche	[m³/ha*a]	0,02	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	5%
Buche	[m³/ha*a]	0,08	0,05	0,13	0,01	0,00	0,01	5%
Fichte	[m³/ha*a]	0,13	0,00	0,13	0,01	0,00	0,01	3%
Kiefer	[m³/ha*a]	0,13	0,01	0,14	0,01	0,00	0,01	7%
Gesamt	[m³/ha*a]	0,36	0,07	0,43	0,02	0,00	0,02	0,45

6.5.3 Totholznachlieferung für das Basisszenario

Für das Basisszenario soll im Jahr 2052 ein Zielvorrat an Totholz von 14,6 m³/ha, was dem heutigen Status quo entspricht, erreicht werden. Dafür muss vom projizierten Gesamtvorrat des Rohholzpotenzials von 7,31 m³/ha*a [Efm] eine Nachlieferungsrate von 0,46 m³/ha [Efm] zur Verfügung gestellt werden. Tabelle 14 zeigt die Datengrundlage für die Berechnung und die entsprechenden Abzüge in Prozent, während in Tabelle 15 die Ergebnisse der Berechnung dargestellt sind.

Tabelle 14: Datengrundlage für die Berechnung der anteiligen Aufschlüsselung des Rohholzpotenzials nach HAG [Efm] aus allen Sorten für eine Nachlieferungsrate von 0,46 m³/ha*a [Efm] für das Basisszenario

Holzartengruppe	Einheit	Stammholz, MS	Industrieholz, MS	verwertbar	X-Holz, MS	sonst. Derbholz, incl. U-Holz, MS	nicht verwertbar inkl. X-Holz	Abzüge
Eiche	[m³/ha*a]	0,32	0,15	0,47	0,02	0,06	0,08	7%
Buche	[m³/ha*a]	1,17	0,68	1,85	0,07	0,19	0,26	7%
Fichte	[m³/ha*a]	2,85	0,12	2,98	0,19	0,06	0,25	5%
Kiefer	[m³/ha*a]	1,22	0,10	1,32	0,06	0,05	0,11	8%

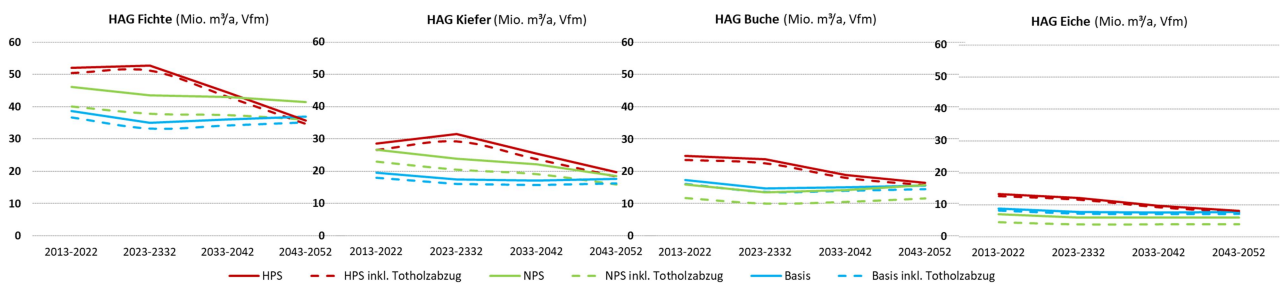
Tabelle 15: Ergebnisse der anteiligen Aufschlüsselung des Rohholzpotenzials nach HAG [Efm] aus allen Sorten für eine Nachlieferungsrate von 0,46 m³/ha*a [Efm] für das Basisszenario

Holzartengruppe	Einheit	Stammholz, MS	Industrieholz, MS	verwertbar	X-Holz, MS	sonst. Derbholz, incl. U-Holz, MS	nicht verwertbar inkl. X-Holz	Abzüge
Eiche	[m³/ha*a]	0,02	0,01	0,03	0,00	0,00	0,01	0,07
Buche	[m³/ha*a]	0,08	0,04	0,12	0,00	0,01	0,02	0,07
Fichte	[m³/ha*a]	0,15	0,01	0,15	0,01	0,00	0,01	0,05
Kiefer	[m³/ha*a]	0,10	0,01	0,10	0,00	0,00	0,01	0,08
Gesamt	[m³/ha*a]	0,34	0,07	0,41	0,02	0,02	0,04	0,46

6.5.4 Ergebnisse der Totholznachlieferung

Durch die oben beschriebene Methodik zur Bestückung der Nachlieferungsrate wurden die Raten nach Holzartengruppen getrennt für die drei Szenarien betrachtet. Anhand der anteiligen Aufschlüsselung nach HAG kann somit die bisherige Holznutzung im Zeitraum 2003-2012 mit den Rohholzpotenzialen und den um die Totholznachlieferungsrate reduzierten Potenzialen der folgenden 10-Jahresperioden verglichen werden. Bei dem nachfolgenden Vergleich reicht die Skala des Rohholzpotenzials bei Buche und Eiche bis 25 Mio. m³/a [Vfm] und bei Fichte und Kiefer bis 60 Mio. m³/a [Vfm]. Das größte Rohholzpotenzial für die drei Szenarien ist bei der HAG Fichte zu finden, währenddessen die HAG Eiche das geringste Potenzial hat (Abbildung 40).

Abbildung 40: Rohholzpotenziale für das NPS, HPS und Basisszenario (mit und ohne Totholzabzug) für die HAG Fichte, Kiefer, Buche und Eiche

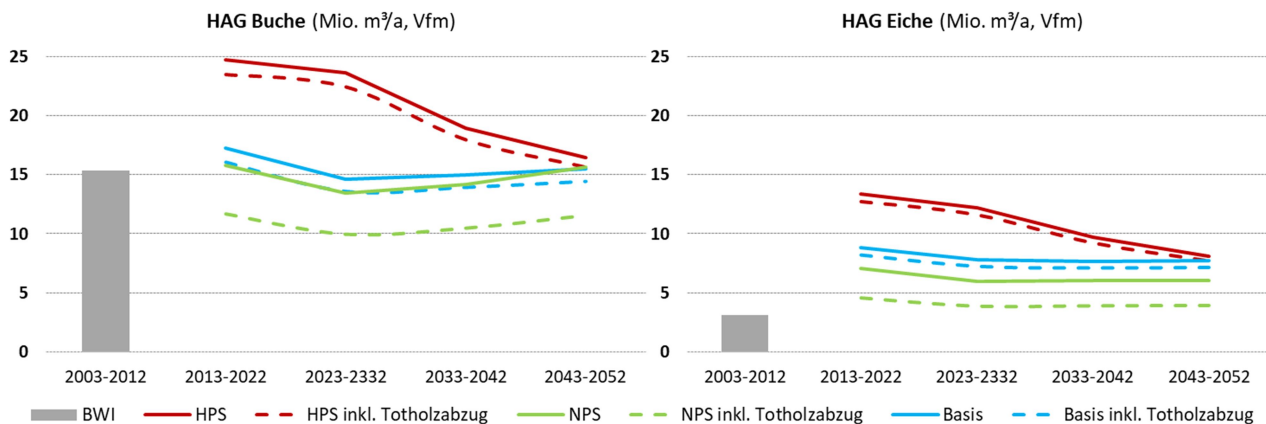


Bei der **HAG Buche** wurden zwischen den letzten BWI's 15 Mio. m³/a genutzt (Abbildung 41, links). Das Rohholzpotenzial für das HPS (mit und ohne Totholzabzug) erreicht ein mittleres Potenzial von 21 Mio. m³/a und liegt über den gesamten Zeitraum deutlich über der bisherigen Holznutzung. Das Rohholzpotenzial des Basisszenarios liegt zu Beginn der Projektion bei 17 Mio. m³/a, mittelfristig bei 15 Mio. m³/a und ist damit sehr nah an der realen bisherigen Holznutzung. Durch den Totholzabzug ist das Rohholzpotenzial des NPS mit einer mittleren Nutzung von 11 Mio. m³/a deutlich niedriger als der Referenzwert. Zudem wird deutlich, dass durch die waldbaulichen Behandlungen im NPS das niedrigste Rohholzpotenzial zu erwarten ist.

Die Rohholzpotenziale aller Szenarien liegen bei der **HAG Eiche** über der bisherigen Nutzungsmenge von 3 Mio. m³/a (Abbildung 41, rechts). Damit kann trotz des Aufbaus der festgelegten Totholzvorräte für die drei Szenarien mehr als bisher genutzt werden. Sowohl bei der HAG Buche als auch bei der HAG Eiche ist

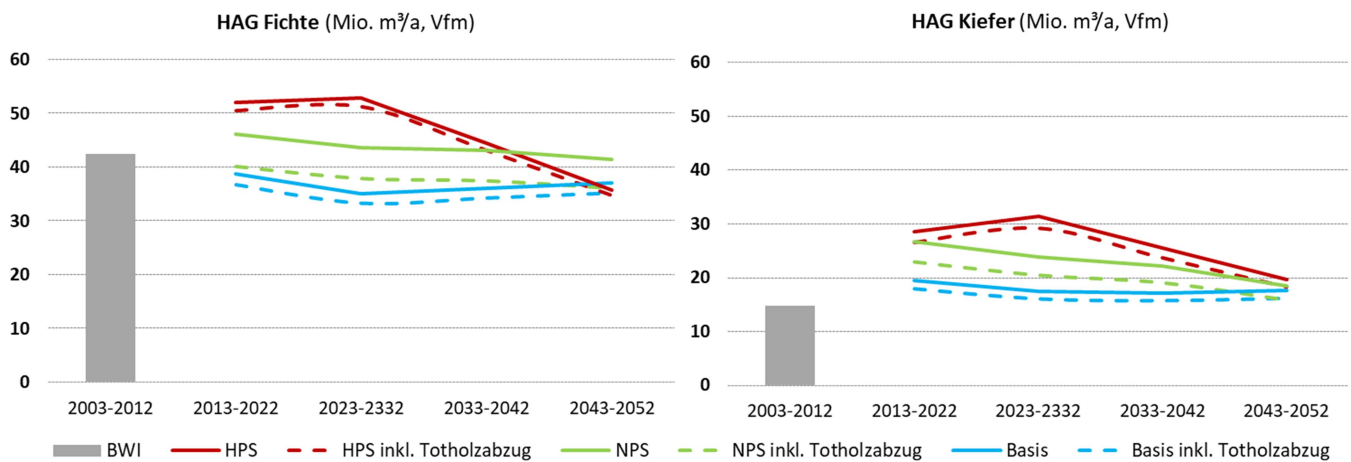
das NPS (mit und ohne Totholzabzug) das Szenario, bei dem das modellierte potenzielle Rohholzaufkommen am niedrigsten ist. Dies ist auf die waldbauliche Gestaltung des Szenarios zurückzuführen, da zahlreiche Flächen im Projektionszeitraum in Laubwälder umgewandelt werden. Daneben sollen die Laubbäume größtenteils in einen Dauerwaldbetrieb überführt werden. Somit stehen im Projektionszeitraum entsprechend weniger Bäume zur Nutzung zur Verfügung.

Abbildung 41: Vergleich der bisherigen Holznutzung 2003-2012 (BWI) und der Rohholzpotenziale bis 2052 für die HAG Buche und HAG Eiche jeweils mit und ohne Totholzabzug für das NPS, HPS und Basisszenario



Das Niveau der Rohholzpotenziale und des tatsächlichen Einschlags bei der **HAG Fichte** liegt deutlich über dem der anderen abgebildeten Holzartengruppen (Abbildung 42, links). Am Anfang des Projektionszeitraumes ist das um den Totholzabzug reduzierte NPS der tatsächlichen Nutzungsmenge von 42 Mio. m³/a im Zeitraum 2002 bis 2012 sehr ähnlich. Dann geht dieses Potenzial bis 2052 auf 36 Mio. m³/a zurück. Das modellierte Rohholzaufkommen des Basisszenarios ist niedriger als beim NPS und liegt mit und ohne Totholzabzug deutlich unter der bisherigen Einschlagsmenge. Während das potenzielle Rohholzaufkommen des HPS (mit und ohne Totholzabzug) in der ersten Zehnjahresperiode auf einem Rekordniveau von 52 Mio. m³/a liegt, endet die Projektion mit 36 Mio. m³/a und ist damit sogar niedriger als die des Basisszenarios. Dies ist auf den Umbau von Fichtenflächen zu ertragreichen Douglasien zurückzuführen. Im Gegensatz zum Basisszenario wird die HAG Fichte im HPS und NPS stärker genutzt, da im HPS das Rohholzaufkommen gesteigert werden soll und im NPS ein Waldumbau der Fichtenflächen stattfindet.

Abbildung 42: Vergleich der bisherigen Holznutzung 2003-2012 (BWI) und der Rohholzpotenziale bis 2052 für die HAG Fichte (links) und HAG Kiefer (rechts) jeweils mit und ohne Totholzabzug für das NPS, HPS und Basisszenario



Auch bei der **HAG Kiefer** liegen die Rohholzpotenziale aller Szenarien deutlich über der tatsächlichen Nutzungsmenge von 15 Mio. m³/a im Zeitraum 2002 bis 2012 (Abbildung 42, rechts). Gemäß der Zielstellung des Szenarios liegt das HPS (mit und ohne Totholzabzug) mit einem mittleren Rohholzpotenzial von 26 Mio. m³/a über den anderen Szenarien. Die Waldumbaumaßnahmen, die aufgrund des Vorkommens und des Flächenanteils der Kiefer geringer als bei der Fichte sind, spiegelt das Niveau des Rohholzpotenzials des NPS in Höhe von 23 Mio. m³/a wider. Bei allen Szenarien kann damit das vorhandene Potenzial über die Totholzabzüge hinaus genutzt werden, um an die tatsächliche Nutzungsmenge heranzureichen.

6.6 Diskussion

Sowohl der Erhalt des gegenwärtigen als auch der Aufbau eines angestrebten höheren Totholzvorrates sind mit der Bereitstellung von zusätzlichem Totholz verbunden. In Abhängigkeit der jeweiligen Totholzzielvorgaben muss ein entsprechender Anteil für die Nachlieferungsrate vom verfügbaren Rohholzpotenzial abgezogen werden. Dies führt zur Reduzierung des Rohholzpotenzials und der zur Verfügung stehenden Nutzungsmenge. Dennoch zeigt die detaillierte Betrachtung der Rohholzpotenziale einzelner Holzartengruppen, dass trotz des Totholzabzuges ungenutztes Potenzial bei Kiefer und Eiche zur Verfügung steht.

Die Ergebnisse der Totholzmodellierung liefern ein Mengengerüst für die Totholznachlieferung. Dieser theoretischen Betrachtung fehlt derzeit die Schnittstelle und Verknüpfung zur Umsetzung in die Praxis. Durch ein entsprechendes Waldmanagement ist es möglich, das Totholzvorkommen nach festgelegten Zielstellungen zu gestalten. So könnten beispielsweise bei Endnutzungen nur die qualitativ hochwertigen Stammholzstücke entnommen werden und der Rest des Baumes verbleibt im Wald. Durch die Art der Eingriffe kann differenziert in die gewünschten Durchmesserklassen eingegriffen werden. Eine andere Möglichkeit zur Erhaltung und Anreicherung von Totholz ist das Ausweisen von qualitativ minderwertigen Baumgruppen als naturschutzfachlich wertvolle Struktur (in Anlehnung an ForstBW 2016). Diese

Baumgruppen werden aus der Nutzung genommen. Dabei sind die wirtschaftlichen Verluste gering und die Bäume in der Gruppe werden vor den möglichen Effekten einer schnellen Freistellung geschützt. Somit können ökologisch wertvolle und auf den Flächen benötigte Dimensionen und Baumarten in den Totholzpool überführt werden. Zugleich kann damit der Anteil von stehendem und liegendem Totholz gesteuert werden.

Der Erhalt und Aufbau von Totholzvorräten ist eine langfristige Zielstellung, die stetig über ausgedehnte Zeiträume umzusetzen ist. Der bei der Modellierung betrachtete Projektionszeitraum von 40 Jahren bildet nur die Initiierungsphase für die Entwicklung des Totholzvorkommens ab. Die Wirkungen entsprechender Maßnahmen und Totholzförderprogramme zeigen sich aufgrund der langen forstlichen Produktionszeiträume erst stark zeitverzögert. Daher sollte die Modellierung von Totholz über längere Zeiträume erfolgen. Damit könnten auch natürliche Abbauprozesse integriert werden. Für eine umfassende Totholzmodellierung müssen weitere quantitative und qualitative Parameter analysiert werden, wie Durchmesserklassen, Zersetzungsstufen und Baumartengruppen von Totholz. Dies war im Rahmen des Projektes nicht möglich.

Die Erhaltung und Stärkung der biologischen Vielfalt sind ein gesellschaftliches Ziel. Von naturschutzfachlicher Seite wird ein Anstieg des Totholzvorrates in den Wäldern gefordert (BMEL 2017), wobei insbesondere der Vorrat von stehendem, stark dimensioniertem Totholz heimischer Laubhölzer erhöht werden soll (Hennenberg et al. 2017). Aus wirtschaftlicher Sicht ist die Bereitstellung von Totholz mit ökonomischen Einbußen verbunden. Für Forstbetriebe stellen die Beiträge zu Schutz- und Erholungsleistungen einen Mehraufwand dar, der für sie nicht vergütet wird und mit Mindererträgen verbunden ist (Rosenkranz et al. 2015). Das Erreichen dieser Zielstellung ist mit dem Einsatz finanzieller Mittel verbunden, was zu Spannungen zwischen wirtschaftlichen und naturschutzfachlichen Ansprüchen führt. Die Bewertung und Priorität der Ziele ist abhängig von der jeweiligen Interessengruppe aus Politik und Gesellschaft, so dass hier große Unterschiede bestehen. Daher müssen Lösungen geschaffen werden, beispielsweise in Form von Ausgleichszahlungen, öffentlichen Fördermitteln oder Vertragsnaturschutz, um ökologische Leistungen zu honorieren. Durch die Untersuchungen und Ergebnisse der vorliegenden Totholzmodellierung kann der Zielkonflikt nicht aufgelöst werden, aber es werden quantitative Abschätzungen und Daten zur weiterführenden Verwendung geliefert.

7 Gegenüberstellung der Szenarien anhand ausgewählter Ergebnisse

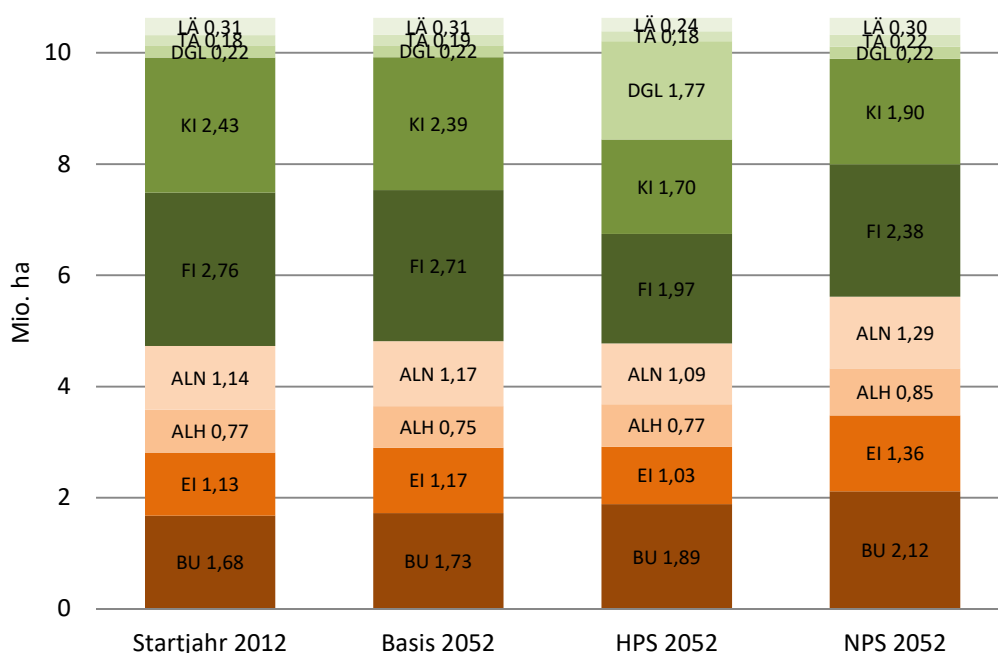
7.1 Baumartenflächen

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Waldbehandlungen in den Szenarien zeigt die Entwicklung der Baumartenflächen (Abbildung 43). Zu Beginn der Modellierung im Startjahr 2012 ist die Fläche der Nadelbäume um 1,2 Mio. ha größer als die der Laubbäume. Fichte und Kiefer sind dabei flächenmäßig an der Spitze gefolgt von Lärche, Douglasie und Tanne. Bei den Laubbaumarten nehmen zuerst die Buche mit 1,7 Mio. ha und dann die Eiche mit 1,2 Mio. ha die meiste Waldfläche in Anspruch. Im Endjahr der Modellierung 2052 sind im Basisszenario im Vergleich zum Startjahr 2012 nur geringfügige Flächenveränderungen in den Baumartengruppen zu verzeichnen.

Das HPS zeigt eine deutliche Änderung der Flächenanteile der Nadelbaumartengruppen, wobei die Verteilung der Flächen zwischen Nadelbäumen und Laubbäumen nahezu unverändert bleibt. Die Douglasienfläche steigt innerhalb von 40 Jahren um 1,6 Mio. ha auf das Achtfache an, da sie vor allem anstelle der geernteten Fichten und Kiefern nachwächst. Bei einer Trendfortschreibung aus der BWI 2002 und BWI 2012 wäre lediglich eine Zunahme der Douglasienfläche um 150.000 ha in 40 Jahren zu erwarten. Die Zunahme der Douglasienfläche geht etwa zu gleichen Teilen zu Lasten der Fichte und Kiefer. Alle anderen Veränderungen sind im HPS zu vernachlässigen.

Das NPS zeigt eine Zunahme der Laubbaumfläche um 19 % (0,9 Mio. ha). Die größte Flächenzunahme ergibt sich für die Buche mit 26 % (0,4 Mio. ha) und die Eiche mit 20 % (0,2 Mio. ha). Dahingegen nimmt die Nadelbaumfläche entsprechend ab, wobei der Flächenrückgang bei der Fichte 22 % und bei der Kiefer 14 % beträgt.

Abbildung 43: Flächenentwicklung der Szenarien nach Baumartengruppen im Startjahr 2012 und im Endjahr der Modellierung 2052



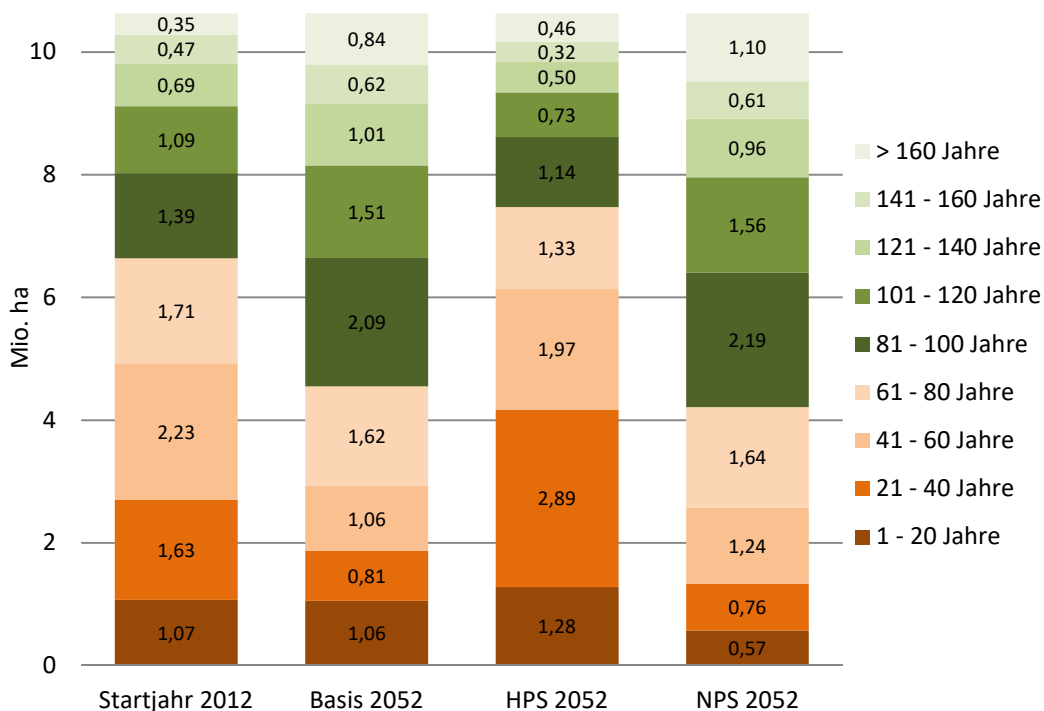
7.2 Altersklassen

Die Entwicklung der Altersklassenverteilung in den Szenarien unterscheidet sich stark (Abbildung 44). In der Ausgangssituation 2012 wird die größte Waldfläche von 40-60 Jahre alten Beständen eingenommen. Im Simulations-Endjahr 2052 hat sich beim Basisszenario die größte Fläche auf die 81-100 jährigen Bestände verschoben. Die jeweilige Altersklasse darüber und darunter haben die nächstgrößeren Flächenanteile. Im Vergleich zum Startjahr steigen im Basisszenario die Flächen der Bestände über 100 Jahre, womit der Wald insgesamt älter wird.

Das NPS verhält sich im Vergleich zum Basisszenario sehr ähnlich, bis auf einen erhöhten Flächenanteil der Bäume über 160 Jahre. Dies resultiert vor allem aus der extensiven Nutzung der Laubbäume und deren Überführung in eine Dauerwaldbewirtschaftung. Daneben ist trotz des Waldumbaus ein Absinken der Verjüngungsfläche zu verzeichnen, was auf den komplexen Modellierungsprozess der beiden Datenkollektive des NPS und die implementierte Verjüngungsdynamik in WEHAM zurückzuführen ist.

Die Altersklassenstruktur des HPS unterscheidet sich deutlich von den anderen Szenarien. Insbesondere die Fläche der Jungbestände bis zum Alter von 40 Jahren ist mit einer Zunahme um 55 % stark angestiegen, bedingt durch die verkürzten Umtriebszeiten und der somit verstärkten Verjüngung. Die Fläche der höheren Altersklassen geht zurück. Im Vergleich zu den anderen Szenarien nehmen die Altersklassen über 60 Jahre nur noch einen Flächenanteil von 42 % ein.

Abbildung 44: Flächenentwicklung der Szenarien nach Altersklassen



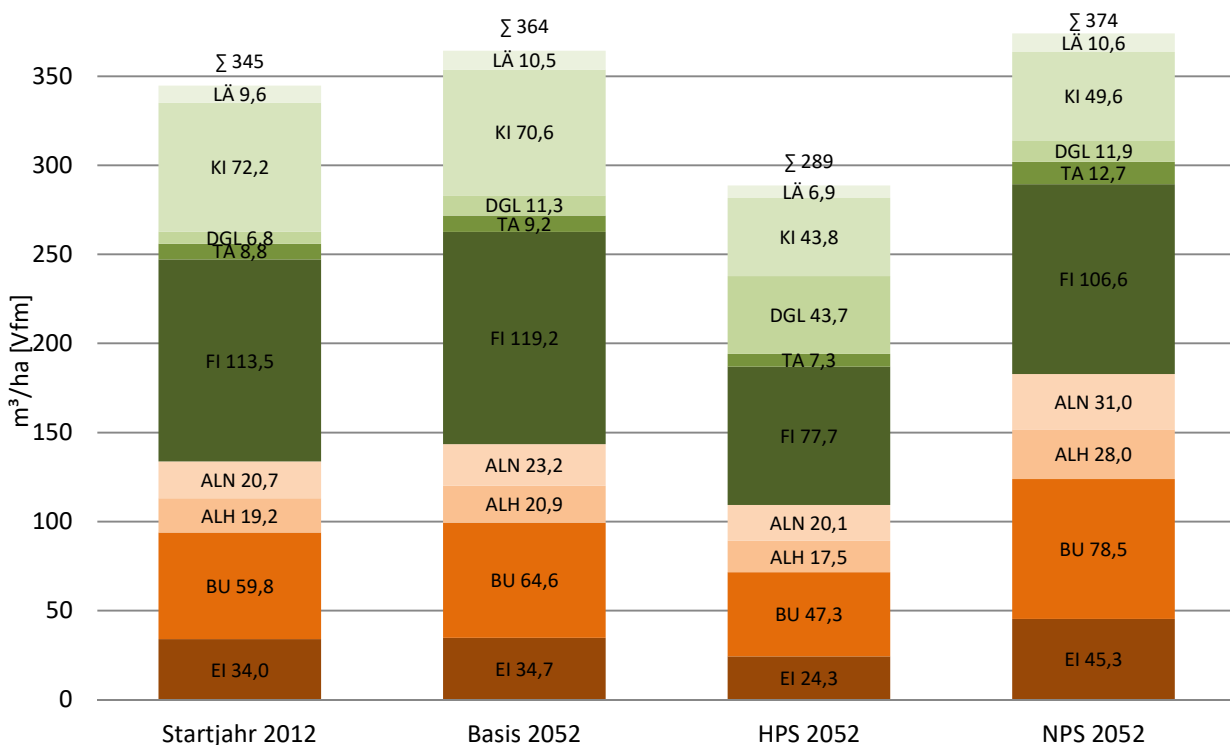
7.3 Vorräte

Der größte Hektarvorrat ist mit 374 m³/ha im NPS zu finden. Im Vergleich zum Startjahr ist dies ein Anstieg um 9 % und damit der größte Anstieg aller Szenarien (Abbildung 45), der einem Gesamtvorrat von 4,0 Mrd. m³ entspricht. Dies resultiert aus der Zielstellung für das Szenario und deren Umsetzung in Form der waldbaulichen Behandlung. Die Umtriebszeiten der ausgewählten Hauptbaumarten wurden verlängert, wenn diese Baumarten zur hpnV gehören. Im Weiteren war es ein Ziel, den Holzvorrat in alten Beständen zu erhöhen. Darüber hinaus zeichnet sich das NPS durch einen deutlichen Anstieg des Anteils der Laubbaumarten am Vorrat aus. Der Vorratsanteil der Laubbäume steigt um 49 m³/ha auf 183 m³/ha (37 %). Ein Anstieg der Vorräte bei Buche um 19 m³/ha ist und bei Eiche um 11 m³/ha zu verzeichnen. Dahingegen reduzieren sich die Nadelbaumvorräte um 20 m³/ha auf 191 m³/ha (-9 %), wobei ein Vorratsrückgang nur bei Kiefer (um 20 m³/ha, -31 %) und Fichte (um 7 m³/ha, -6 %) auftritt.

Auch das Basisszenario zeichnet sich durch einen moderaten Vorratsaufbau aus. Es hat mit 364 m³/ha nur 10 m³/ha weniger als das NPS. Jedoch unterscheidet sich die Vorratsverteilung nach Baumarten zwischen den Szenarien. Im Basisszenario ist am Ende des Projektionszeitraumes der Anteil der Laubbäume am Vorrat um 10 % niedriger als im NPS. Der Anteil aller Laubbäume ist im NPS höher, bei der BAG Buche um 14 % und Eiche um 10 %. Entsprechend höher ist der Vorratsanteil der Nadelbäume im Basisszenario. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei der Modellierung des Basisszenarios kein aktiver Baumartenwechsel durchgeführt wurde.

Mit nur 289 m³ ist der Hektarvorrat des HPS deutlich niedriger als der Vorrat aller anderen Szenarien. Der Vorrat der Nadelbäume sinkt zwischen 2012 und 2052 um 32 m³/ha auf insgesamt 179 m³/ha. Die Vorratsabsenkung fällt bei den Laubbäumen mit 24 m³/ha auf insgesamt 109 m³/ha hingegen geringer aus. Besonders deutlich ist der Rückgang des Vorrates bei Fichte um 36 m³/ha und bei Kiefer um 28 m³/ha. Die starke Vorratsabsenkung resultiert aus der intensivierten Holznutzung in allen Baumartengruppen. Auffällig ist der Anstieg des Vorratsanteils durch die Baumart Douglasie, der um 37 m³/ha (13 %) steigt. Dies ist ein Effekt der intensiven Einbringung von Douglasie als Verjüngungsbaumart anstelle von Fichte und Kiefer.

Abbildung 45: Vorratsentwicklung der Szenarien nach Baumartengruppen



7.4 Projiziertes Rohholzpotential

Im Vergleich der drei Szenarien zeigt das HPS das größte mittlere Rohholzpotential (Abbildung 46). Mit durchschnittlich 105 Mio. m³/a ist das mittlere Rohholzpotential des HPS somit um 27 Mio. m³/a höher als das des Basisszenarios und des NPS. Dabei liegt der Anteil der Nadelbaumarten im HPS bei 65 %. Die HAG Fichte nimmt mit 44 % den größten Anteil ein, gefolgt von der HAG Buche (28 %), HAG Kiefer (21 %) und HAG Eiche (8 %). Diese Reihenfolge ist bei allen Szenarien gleich. Das niedrigere mittlere Potenzial von 78 Mio. m³/a im NPS verdeutlicht, dass deutlich weniger Holz als beim HPS verfügbar ist und ein Vorrat aufgebaut wird. Die Nadelbaumarten haben mit einem Anteil von 68 % einen höheren Anteil am Rohholzpotential als beim HPS, weil diese Baumarten im Waldumbauprozess geerntet werden.

Der Szenarienvergleich hinsichtlich der mittleren Durchmesserverteilung des Abgangs aller Baumartengruppen zeigt, dass beim HPS im Gegensatz zu den anderen Szenarien in allen Durchmesserklassen mehr genutzt wird (Abbildung 47). Der Schwerpunkt liegt in der BHD-Stufe 40,0-49,9 cm, gefolgt von 30,0-39,9 cm. Im NPS wird im Bereich von 30,0-49,9 cm am meisten genutzt, wohingegen im Basisszenario in den Klassen von 10,0-59,9 cm die größte Nutzung stattfindet.

Abbildung 46: Mittleres Rohholzpotenzial der Szenarien im Projektionszeitraum nach den Holzartengruppen Fichte, Kiefer, Buche und Eiche

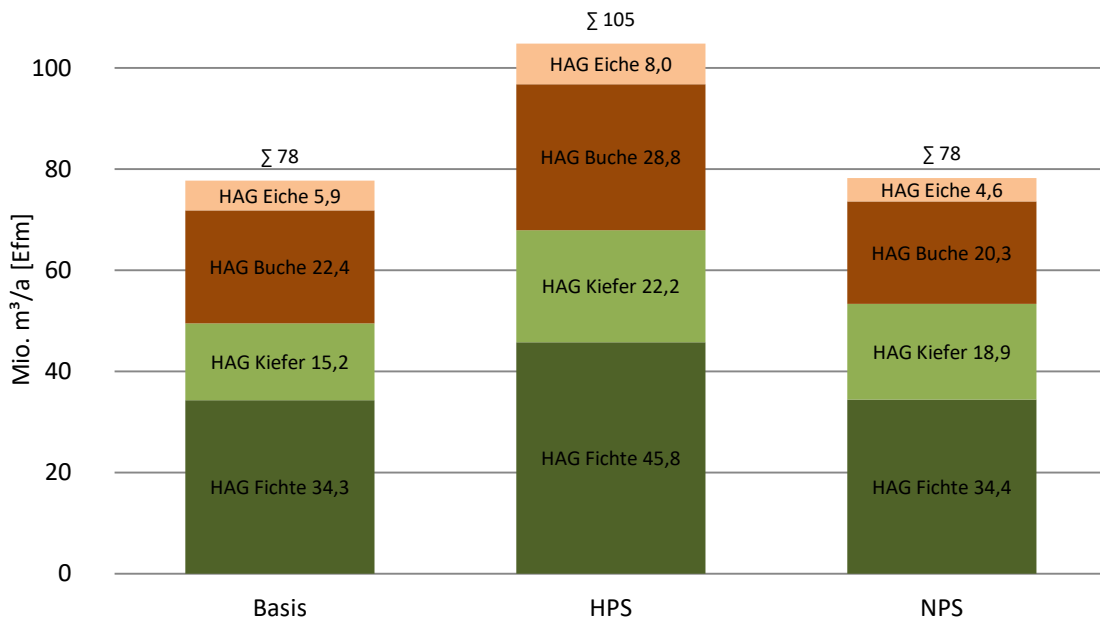
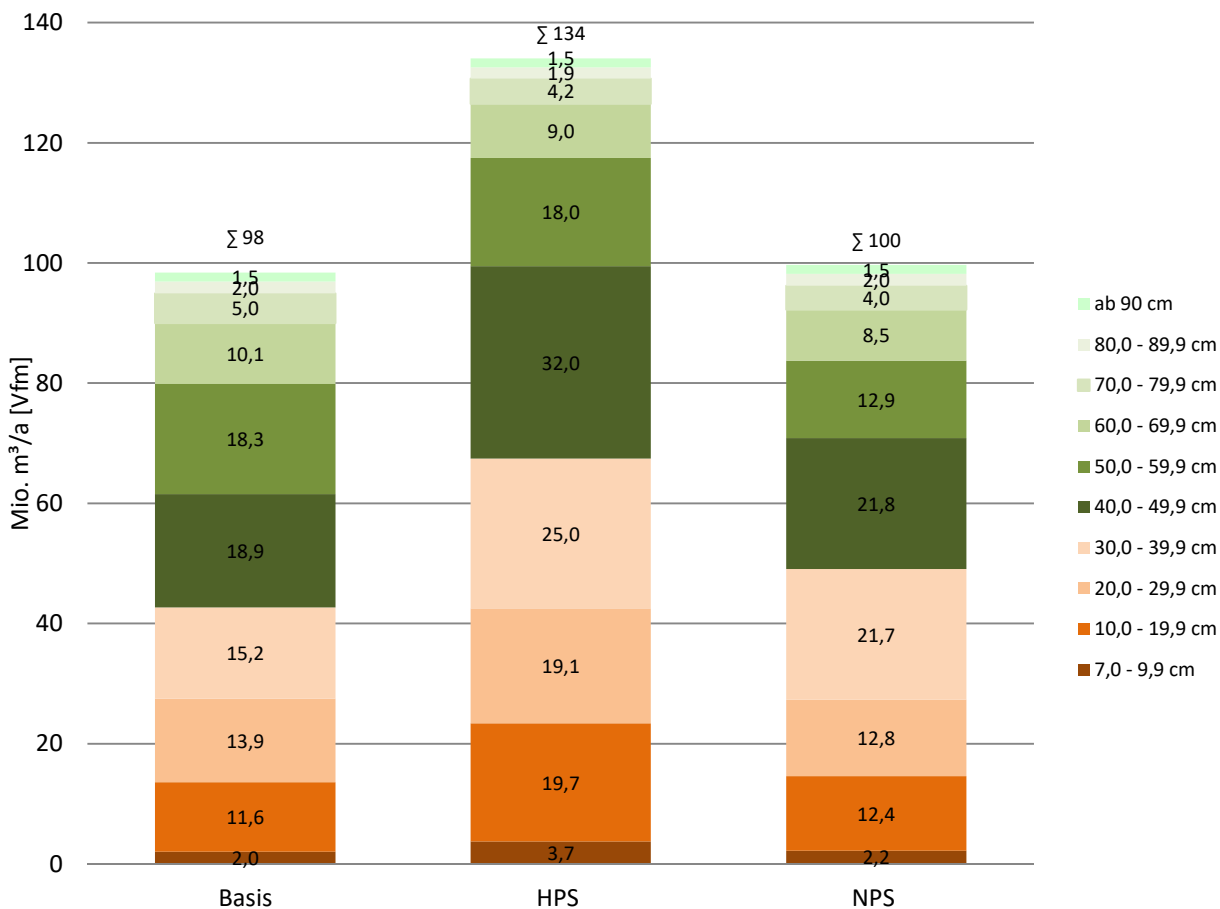
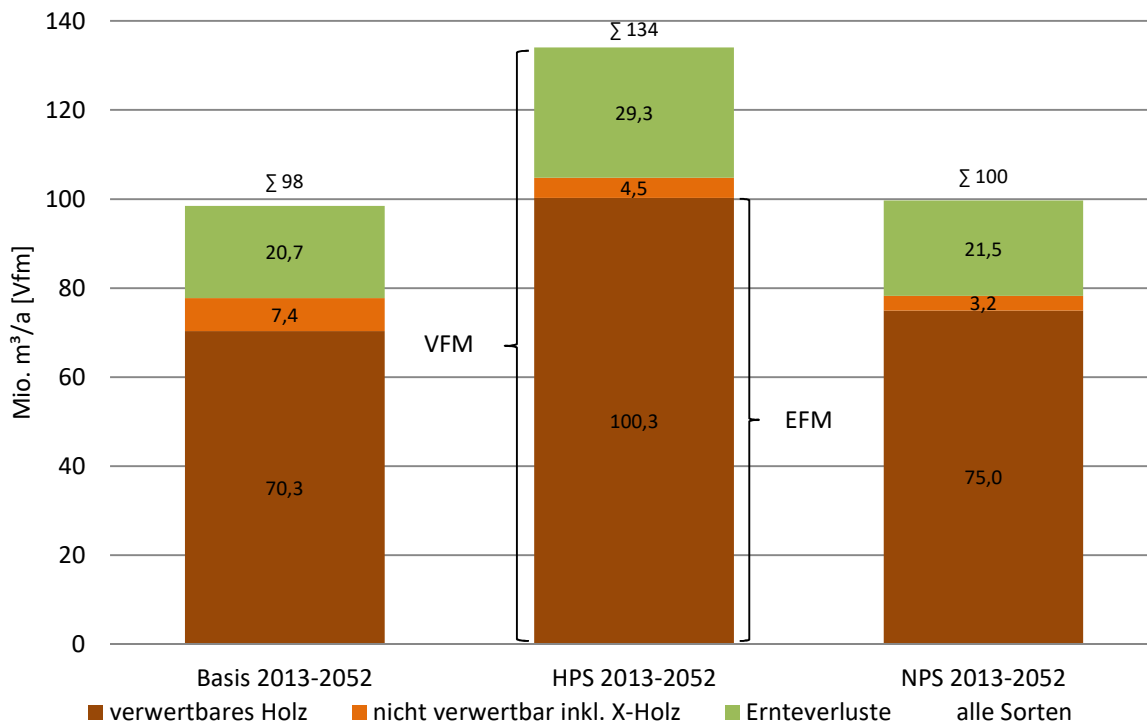


Abbildung 47: Mittlere Durchmesserverteilung des Abgangs aller Baumartengruppen im Projektionszeitraum



Das HPS liefert im Mittel entsprechend der höheren Nutzungsmengen mehr Rohholzpotenzial und verwertbares Holz. Der mittlere projizierte Vorrat des verwertbaren Holzes beträgt 100,3 Mio. m³/a (Abbildung 48). Im NPS beläuft sich das verwertbare Holz auf 75,0 Mio. m³/a und im Basisszenario auf 70,3 Mio. m³/a.

Abbildung 48: Mittlere Sortenentwicklung des projizierten Vorrats des Rohholzpotenzials aller Baumartengruppen nach Szenario



verwertbares Holz = Stammholz, Industrieholz, nichtverwertbares Holz = X-Holz, sonstiges Derbholz inklusive U-Holz

8 Abschließende Diskussion und Gesamtfazit

Mit dem Holzpräferenzszenario und dem Naturschutzpräferenzszenario wurden zwei alternative WEHAM-Szenarien erarbeitet, die neben dem Basisszenario als mögliche Leitplanken für die Holznutzung und den Naturschutz im Wald stehen. Um möglichst praxisrelevante Anforderungen aus einem breiten Kreis der Gesellschaft in den Szenarien umsetzen zu können, wurden basierend auf einem Stakeholderbeteiligungsprozess und fachlicher Expertise Orientierungsrahmen für die Szenarien erarbeitet. Als Ergebnis zeigen die beiden alternativen Szenarien entsprechend der Zielstellungen deutliche Unterschiede in der Waldentwicklung und damit auch bei den Potenzialen für die Holznutzung. Damit werden die Wirkungen unterschiedlicher Handlungsoptionen in Form von konkret umgesetzten Waldbewirtschaftungsmaßnahmen in gegensätzlicher Form dargestellt. Die Ergebnisse beider Szenarien dienen der weiteren Diskussion zum Management und der Nutzung des Waldes, um den vielfältigen Anforderungen der Gesellschaft gerecht zu werden. Eine Bewertung der Ergebnisse der beiden alternativen Szenarien wurde im Rahmen des Verbundprojektes durchgeführt. Dabei wurden langfristige ökonomische Analysen (Rosenkranz und Seintsch 2017) und Betrachtungen zum Rohholzangebot des deutschen Waldes und dessen Auswirkungen auf die heimische Holzverarbeitung und den internationalen Holzmarkt durchgeführt (Schier und Weimar 2017). Darüber hinaus wurden die Nachhaltigkeit (Meier-Landsberg und Schweinle 2017) und Waldbiodiversität (Reise et al. 2017) der beiden alternativen Szenarien bewertet.

Das Trendfortschreibungsszenario bildet gegenüber den alternativen Szenarien hinsichtlich der Entwicklung und Umsetzung eine Ausnahme. Das TFS soll den Waldbehandlungstrend zwischen den Bundeswaldinventuren 2002 und 2012 möglichst so abbilden, wie er in diesem Zeitraum aufgetreten ist. Demzufolge enthält es indirekt ebenso Störungen, aber auch Änderungen in Wirtschaft, Gesellschaft und Politik. Das Waldmanagement mit spezifischen Nutzungsentscheidungen basiert auf diversen Parametern wie den ökophysiologischen Eigenschaften der Baumarten, der Zugehörigkeit zu einem Bundesland, einer Eigentumsart sowie verschiedener naturräumlicher Gegebenheiten, den verschiedenen Waldbauordnungen der Bundesländer, aber auch den sozioökonomischen Zielen der Waldeigentümer. Aus diesen Gründen macht es Sinn, den größtmöglichen Detailgrad bei der Analyse des mit der BWI aufgenommenen Abgangs zur Erstellung des Szenarios zu erhalten, um die an ein Trendfortschreibungsszenario gestellten Anforderungen zu erfüllen. Die Umsetzung des Waldbehandlungstrends im Sinne der Fortschreibung ist in WEHAM derzeit sehr zeitaufwendig, wodurch die Erstellung des TFS noch nicht endgültig beendet ist und keine Ergebnisse vorgestellt werden konnten.

Zur Modellierung der Szenarien wurde WEHAM verwendet. In der derzeitigen Version ist das Modell nicht in der Lage, den Einfluss von klimatischen Parametern zu berücksichtigen. Ebenso bleiben Boden oder veränderliche Standortfaktoren bei der direkten Modellierung unberücksichtigt. Diese sind bedingt indirekt in den Daten enthalten. Vor dem Hintergrund des Klimawandels ist es wünschenswert, entsprechende Optionen in das Modell einzubauen, um neben der Modifikation der Waldbehandlung auch das Wachstum adaptieren zu können. Ebenso wäre das Einbringen klimaangepasster Baumarten, was Gegenstand zahlreicher Forschungsaktivitäten ist, eine zukunftssträchtige Funktionalität im Bereich des WEHAM-Zuwachsmodells. Geeignete, klimaangepasste Baumarten könnten auf entsprechenden Flächen über die Verjüngung in die Bestände eingebracht werden. Grundsätzlich sollte WEHAM flexibler in

der Auswahl der Identifikationsmerkmale der Steuerungsgrößen sein. Nicht immer sind Bundesland, Eigentumsart und Baumart die eine Waldbehandlung beeinflussenden Kerngrößen. Konkurrenz- und störungsbedingte Mortalität sollten über Wahrscheinlichkeiten zu Ausfall bzw. Überleben integriert werden. Schadereignisse, wie Stürme oder Schädlingsbefall, werden in WEHAM nicht konkret dargestellt und können nicht von anderen Nutzungen differenziert werden. Sie sind aber indirekt in den Daten der BWI und damit im Modellierungsprozess enthalten. Eine Erweiterung der BWI-Aufnahme im Bereich der Nutzungen würde hier einen großen Mehrwert erbringen. Die bisherige Einteilung enthält flächige oder selektive Entnahmen und sollte um die Ausprägungen Absterben oder anderweitiges Ausscheiden vor der Nutzung erweitert werden. Dieses zusätzliche Merkmal wäre sehr wichtig zur Unterstützung der Abschätzung von Mortalität und Risiko.

Der Schwerpunkt des Holzpräferenzszenarios war die Ertragssteigerung des Rohholzaufkommens. Die Ergebnisse der Modellierung des HPS zeigen, dass mit einer Verkürzung der Umtriebszeit und dem Anbau der ertragsreichen Baumart Douglasie anstelle anderer Nadelbaumarten eine Steigerung des potenziellen Nadelholzaufkommens und damit auch des gesamten Rohholzaufkommens möglich ist. Damit einher geht eine deutliche Änderung der Baumartenzusammensetzung und der Altersstruktur der Wälder. Die Douglasie wäre am Ende des Projektionszeitraumes mit geringem Abstand zu Fichte und Buche die dritthäufigste Baumart in Deutschland. Zudem würde die Fläche der Jungbestände erheblich zunehmen. Ein vielversprechender Ansatz zur Ertragssteigerung wäre ein optimierter Verjüngungsprozess. Vorstellbar ist hier anstatt der reinen Einbringung von Douglasie eine Kombination von ertragreichen, gut wüchsigen Baumarten. Weiteres Potenzial zur Erhöhung der Holznutzung birgt ebenso die waldbauliche Umgestaltung der laubbaumbestockten Flächen durch eine an die Zielstellung des HPS angepasste Verjüngung. Bei der Wahl der neu einzubringenden Baumarten sollte neben der Wüchsigkeit und des hohen Ertrages ebenso die Standorteignung in Hinblick auf den Klimawandel, insbesondere im Zusammenhang mit Schadereignissen, und ökologische Eigenschaften berücksichtigt werden. In der vorliegenden Form ist das HPS ein theoretisches Extremszenario, das die Herausforderungen einer multifunktionalen nachhaltigen Waldbewirtschaftung nicht erfüllen kann, weil nur der Nutzungsaspekt als Zielgröße betrachtet wurde.

Die Zielstellungen des Naturschutzpräferenzszenarios wurden im Rahmen der Möglichkeiten des Modells WEHAM umgesetzt und erreicht. Zur Erfüllung dieser komplexen Anforderungen waren neue und innovative Ansätze und Lösungsschritte bei der Modellierung mit WEHAM gefragt. Aufgrund der Wirkungsweise der Steuereinstellungen musste der Eingangsdatensatz, also die Traktecken der BWI, vorstratifiziert werden, um unterschiedliche waldbauliche Maßnahmen für „naturnahe“ und „naturferne“ Waldflächen umzusetzen. Für eine gezieltere Auswahl und anschließende Behandlung ausgewählter Baumarten an bestimmten Standorten kann eine baumbezogene Modellierung bessere Ergebnisse liefern. Der für das NPS gewünschte Baumartenwechsel in Richtung der heutigen potentiell natürlichen Vegetation gestaltete sich schwierig. Im Modell ist ein Baumartenwechsel nur dann möglich, wenn die jeweilige Betrachtungseinheit flächig beräumt ist. Dadurch ist eine differenzierte Entnahme und auch Neueinbringung von Bäumen einzelner Baumartengruppen nicht möglich. Gerade bei naturschutzfachlichen Fragestellungen ist dies ein entscheidender Aspekt, der hier nur im Rahmen der Modellgrenzen von WEHAM umgesetzt werden konnte. Diese Schnittstelle birgt großes Verbesserungspotenzial.

Totholz wird in der derzeitigen WEHAM-Mortalitätsmodellkonfiguration nur für absterbende Bäume im Unterstand und auf Flächen mit Nutzungseinschränkung ausgewiesen. Da WEHAM nicht auf die in der BWI erhobenen Totholzdaten zugreift, gibt es auch keine Informationen zu dem bereits vorhandenen Totholzvorrat im Wald. Demzufolge sind keine Aussagen zum Zustand, der Entwicklung und zum Abbau des Totholzvorrates möglich. Aufgrund der Bedeutung von Totholz ist es anzustreben, die Totholzmodellierung zukünftig in die Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung zu integrieren. Dabei sollten auch natürliche Absterbeprozesse von Bäumen berücksichtigt werden.

Die WEHAM-Modellierungen für die Szenarien erstrecken sich über einen Zeitraum von 40 Jahren. Dies ist für waldbauliche Maßnahmen und forstliche Planungsprozesse eine sehr kurze Zeit. Wie die Ergebnisse des NPS zeigen, kann beispielsweise die Änderungen der Baumartenzusammensetzung in dieser Zeit nur in Ansätzen umgesetzt werden. Lediglich erste Effekte des Waldumbauprozesses sind durch höhere Nutzungsmengen im Nadelholzbereich deutlich zu erkennen. Andererseits ist an dieser Stelle zu erwähnen, dass der Simulationszeitraum von WEHAM bewusst auf 40 Jahre beschränkt ist, um Unsicherheiten einzugrenzen. Je länger der Projektionszeitraum ist, desto mehr nehmen die Unschärfen der Modellergebnisse zu.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei allen Institutionen und interessierten Teilnehmern, die durch ihre Beteiligung an den Befragungen und den verschiedenen Stakeholder-Workshops zum Erfolg des Projektes beigetragen haben. Ebenso danken wir dem gesamten Verbundforschungsteam für die Zusammenarbeit und den fachlichen Austausch, die einen wichtigen Anteil an der Genese der alternativen WEHAM-Szenarien haben. Ganz besonders möchten wir unseren Kolleginnen und Kollegen des Instituts, insbesondere Petra Hennig, Franz Kroiher, Dr. Joachim Rock und Dr. Sabine Henders danken, ohne deren tatkräftige Unterstützung und Fachexpertise ein erfolgreiches Gelingen der Arbeiten nicht möglich gewesen wäre. Ein weiteres Dankeschön geht an Dr. Bernhard Bösch und Dr. Gerald Kändler (Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg) für die unkomplizierte Beantwortung spezifischer Fragestellungen zu WEHAM.

Darüber hinaus danken wir dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft sowie dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit für die finanzielle Förderung des Vorhabens im Rahmen des Waldklimafonds über den Projektträger Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung.

Literaturverzeichnis

- Bösch B, Kändler G, Polley H, Hennig P (2016): Fachkonzept WEHAM 2012. Modelle und Algorithmen, Version: 2.1. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA)
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2017): Waldbericht der Bundesregierung 2017. September 2017, Bonn, 287 S
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) (Hrsg.) (2011): Aufnahmeanweisung für die dritte Bundeswaldinventur (BWI³) (2011-2012). 2. geänderte Auflage. Bonn, 107 S.
- ForstBW (Hrsg) (2016): Alt- und Totholzkonzept Baden-Württemberg. Stuttgart, 44 S.
- Hennenberg KJ, Winter S, Reise J (2017): Die dritte Bundeswaldinventur aus Sicht des Naturschutzes. Natur und Landschaft 92; Heft 5, 201-208, DOI 10.17433/5.2017.50153463.201-208
- Kroiher F, Oehmichen K (2010): Das Potenzial der Totholzakкумуляtion im deutschen Wald. Schweiz Z Forstwesen 161(5):171-180
- Kroiher F, Schmitz F (2015): Baumarten-Atlas zur dritten Bundeswaldinventur (BWI 2012)- Tree Species Atlas of the Third National Forest Inventory (BWI 2012). Thünen Working Paper 49. Eberswalde: Johann-Heinrich von Thünen Institut, 40p DOI:10.3220/WP1447078602000
- Meier-Landsberg E, Schweinle J (2017) Nachhaltigkeitsbewertung der WEHAM-Szenarien. AFZ Wald 72(13): 27-29
- Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (MELFF) (Hrsg) (2002): Richtlinie zur Sicherung von Alt- und Totholzanteilen im Wirtschaftswald mit erläuternder Einführung. Schwerin, 16 S.
- Naturschutzbund Deutschland (NABU) (2014): Wertvoller Wald durch Alt- und Totholz. Landesverband Saarland e.V.. 36 S.
- Olson JS (1963): Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. Ecology 44: 322-331
- Polley H, Kroiher F (2006): Arbeitsbericht. Struktur und regionale Verteilung des Holzvorrates und des potenziellen Rohholzaufkommens in Deutschland als Grundlage für eine Clusterstudie Forst- und Holzwirtschaft. 88 S.
- Polley, H (2008). Orientierungsgröße für Szenarien der Waldentwicklung - Der Normalvorrat. AFZ - Der Wald, pp. 1155- 1158
- Reise J, Wenz E, Kukulka F, Line A, Winter S (2017): Bewertung der Waldbiodiversität der WEHAM-Szenarien. AFZ Wald 72(13): 32-34
- Riedel T, Hennig P, Kroiher F, Polley H, Schmitz F, Schwitzgebel F (2017): Die dritte Bundeswaldinventur (BWI 2012). Inventur- und Auswertemethoden, 124 S.
- Rock J, Badeck FW, Harmon ME (2008) Estimating decay rates for European tree species from literature sources. Eur J For Res: 301–313.
- Rock, J., Bösch, B., Kändler, G. (2013): WEHAM 2012 – Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung für die dritte Bundeswaldinventur. DVFFA, Sektion Ertragskunde: Beiträge zur Jahrestagung 2013
- Rock J, Gerber K, Klatt S, Oehmichen K (2016a): Das WEHAM 2012 „Basisszenario“: Mittellinie oder Leitplanke? Forstarchiv 87, Heft 2, 66-69.

- Rock J, Dunger K, Marks A, Schmidt U, Seintsch B (2016b): Wald und Rohholzpotenzial der nächsten 40 Jahre: ausgewählte Ergebnisse der Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung 2013 bis 2052. Berlin: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), 64 S.
- Rosenkranz L, Seintsch B (2015): Opportunitätskostenanalyse zur Implementierung des naturschutzorientierten Waldbehandlungskonzepts „Neue Multifunktionalität“. Landbauforschung, Applied Agricultural and Forestry Research Vol. 65 No. 3/4: 145 – 160. DOI:10.3220/LBF1452524672000
- Rosenkranz L, Diederichs S, Seintsch B, Dunger K, Döring P, Gerber K, Glasenapp S, Klatt S, Kukulka F, Meier-Landsberg E, Linde A, Mantau U, Oehmichen K, Reise J, Rock J, Röhling S, Rüter S, Saal U, Schier F, Schweinle J, Weimar H, Winter S (2015): Waldbehandlung und Holzverwendung in der Zukunft, in: AFZ-Der Wald, 23/2015: 45-47.
- Rosenkranz L, Selzer AM, Seintsch B, Dunger K, Döring P, Gerber K, Glasenapp S, Klatt S, Kukulka F, Meier-Landsberg E, Linde A, Mantau U, Oehmichen K, Reise J, Röhling S, Saal U, Schier F, Schweinle J, Weimar H, Winter S (2017): Verbundforschungsbericht WEHAM-Szenarien: Stakeholderbeteiligung bei der Entwicklung und Bewertung von Waldbehandlungs- und Holzverwendungsszenarien. Thünen Working Paper 73. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 129 S. DOI:10.3220/WP1499246183000
- Rosenkranz L, Seintsch B (2017): Ökonomische Analysen der Szenarien. AFZ Wald 72(13): 24-26
- Schmitz F, Polley H, Hennig P, Kroihner F, Marks A, Riedel T, Schmidt U, Schwitzgebel F, Stauber T (2014): Der Wald in Deutschland: ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. Bonn: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 52 S.
- Schmitz F, Polley H, Hennig P, Kroihner F, Marks A, Oehmichen K, Riedel T, Schmidt U, Schwitzgebel F, Stauber T (2017a) Ergebnisse der Bundeswaldinventur 2012. Bonn: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 277 p
- Schmitz F, Dunger K, Hennig P, Klatt S, Marks A, Oehmichen K, Rock J, Stauber T (2017b) Ergebnisse der Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung 2012. Bonn: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 165 p
- Schober (1987): Ertragstabellen wichtigster Baumarten. Frankfurt am Main, 166 S.
- Thünen-Institut (2017), Dritte Bundeswaldinventur - Ergebnisdatenbank, <https://bwi.info>, Aufruf am: 10.10.2015, 77Z1JI_L634of_2012_bi/ 2014-6-5 9:19:26.603, Vorrat [m³/ha] nach Land und Baumaltersklasse (BAkl)/ Zugehörige Fläche des Auswertungsgebietes [ha], Filter: Jahr=2012
- Thünen-Institut (2017 a), Dritte Bundeswaldinventur - Ergebnisdatenbank, <https://bwi.info>, Aufruf am: 16.09.2017, 69Z1JI_L202of_2012_L203 / 2014-5-26 11:47:39.740, Totholzvorrat [m³/ha] nach Land und Totholztyp, Filter: Jahr=2012
- Thünen-Institut (2017 b), Dritte Bundeswaldinventur - Ergebnisdatenbank, <https://bwi.info>, Aufruf am: 18.09.2017, 69Z1JI_L202of_2012_L203 / 2014-5-26 11:47:39.740, Totholzvorrat [m³/ha] nach Baumartengruppe Totholz und Totholztyp, Filter: Jahr=2012
- Thünen-Institut (2017 c), Dritte Bundeswaldinventur - Ergebnisdatenbank, <https://bwi.info>, Aufruf am: 18.09.2017, 69Z1JI_L202of_2012_L203 / 2014-5-26 11:47:39.740, Totholzvorrat [m³/ha] nach Zersetzungsgrad Totholz und Totholztyp, Filter: Jahr=2012

Thünen Report

Bereits in dieser Reihe erschienene Hefte – *Volumes already published in this series*

1 - 39	siehe http://www.thuenen.de/de/infothek/publikationen/thuenen-report/
40	Frank Offermann, Martin Banse, Claus Deblitz, Alexander Gocht, Aida Gonzalez-Mellado, Peter Kreins, Sandra Marquardt, Bernhard Osterburg, Janine Pelikan, Claus Rösemann, Petra Salamon, Jörn Sanders Thünen-Baseline 2015 – 2025: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland
41	Stefan Kundolf, Patrick Küpper, Anne Margarian und Christian Wandinger Koordination, Lernen und Innovation zur Entwicklung peripherer ländlicher Regionen Phase II der Begleitforschung zum Modellvorhaben <i>LandZukunft</i>
42	Sebastian Rüter, Frank Werner, Nicklas Forsell, Christopher Prins, Estelle Vial, Anne-Laure Levet ClimWood2030 ‘Climate benefits of material substitution by forest biomass and harvested wood products: Perspective 2030’ Final Report
43	Nicole Wellbrock, Andreas Bolte, Heinz Flessa (eds) Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland – Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008
44	Walter Dirksmeyer, Michael Schulte und Ludwig Theuvsen (eds) Aktuelle Forschung in der Gartenbauökonomie – Nachhaltigkeit und Regionalität – Chancen und Herausforderungen für den Gartenbau – Tagungsband zum 2. Symposium für Ökonomie im Gartenbau
45	Mirko Liesebach (ed) Forstgenetik und Naturschutz – 5. Tagung der Sektion Forstgenetik/Forstpflanzenzüchtung am 15./16. Juni 2016 in Chorin – Tagungsband
46	Claus Rösemann, Hans-Dieter Haenel, Ulrich Dämmgen, Annette Freibauer, Ulrike Döring, Sebastian Wulf, Brigitte Eurich-Menden, Helmut Döhler, Carsten Schreiner, Bernhard Osterburg Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2015 Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 – 2015
47	Niko Sähn, Stefan Reiser, Reinhold Hanel und Ulfert Focken Verfügbarkeit umweltrelevanter Daten zur deutschen Süßwasseraquakultur
48	Markus Ehrmann Modellgestützte Analyse von Einkommens- und Umweltwirkungen auf Basis von Testbetriebsdaten
49	Mirko Liesebach, Wolfgang Ahrenhövel, Alwin Janßen, Manuel Karopka, Hans-Martin Rau, Bernd Rose, Randolf Schirmer, Dagmar Schneck, Volker Schneck, Wilfried Steiner, Silvio Schüler, Heino Wolf Planung, Anlage und Betreuung von Versuchsflächen der Forstpflanzenzüchtung Handbuch für die Versuchsanstellung
50	Tobias Mettenberger Jugendliche Zukunftsorientierungen in ländlichen Mittelstädten Zur Rolle des alltäglichen (sozial-)räumlichen Kontexts beim Übergang von der Hauptschule in den weiteren Ausbildungsweg
51	Stefan Neumeier Modellvorhaben chance.natur – Endbericht der Begleitforschung –



- 52 Andreas Tietz
Überregional aktive Kapitaleigentümer in ostdeutschen Agrarunternehmen: Entwicklungen bis 2017
- 53 Peter Mehl (ed)
Aufnahme und Integration von Geflüchteten in ländliche Räume: Spezifika und (Forschungs-)herausforderungen
Beiträge und Ergebnisse eines Workshops am 6. und 7. März 2017 in Braunschweig
- 54 G. Rahmann, C. Andres, A.K. Yadav, R. Ardakani, H.B. Babalad, N. Devakumar, S.L. Goel, V. Olowe, N. Ravisankar, J.P. Saini, G. Soto, H. Willer
Innovative Research for Organic 3.0 - Volume 1
Proceedings of the Scientific Track at the Organic World Congress 2017 November 9-11 in Delhi, India
- 54 G. Rahmann, C. Andres, A.K. Yadav, R. Ardakani, H.B. Babalad, N. Devakumar, S.L. Goel, V. Olowe, N. Ravisankar, J.P. Saini, G. Soto, H. Willer
Innovative Research for Organic 3.0 - Volume 2
Proceedings of the Scientific Track at the Organic World Congress 2017 November 9-11 in Delhi, India
- 55 Anne Margarian unter Mitarbeit von Matthias Lankau und Alena Lilje
Strategien kleiner und mittlerer Betriebe in angespannten Arbeitsmarktlagen
Eine Untersuchung am Beispiel der niedersächsischen Ernährungswirtschaft
- 56 Frank Offermann, Martin Banse, Florian Freund, Marlen Haß, Peter Kreins, Verena Laquai, Bernhard Osterburg, Janine Pelikan, Claus Rösemann, Petra Salamon
Thünen-Baseline 2017 – 2027: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland
- 57 Hans-Dieter Haenel, Claus Rösemann, Ulrich Dämmgen, Ulrike Döring, Sebastian Wulf, Brigitte Eurich-Menden, Annette Freibauer, Helmut Döhler, Carsten Schreiner, Bernhard Osterburg
Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2016
Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 – 2016
- 58 Anja-Kristina Techen
Reduzierung von landwirtschaftlichen Stickstoffeinträgen in Gewässer: die Wirksamkeit von Beratung am Beispiel der hessischen WRRL-Beratung
- 59 Katja Oehmichen, Susann Klatt, Kristin Gerber, Heino Polley, Steffi Röhling, Karsten Dunger
Die alternativen WEHAM-Szenarien: Holzpräferenz, Naturschutzpräferenz und Trendfortschreibung Szenarienentwicklung, Ergebnisse und Analyse



THÜNEN

Thünen Report 59

Herausgeber/Redaktionsanschrift

Johann Heinrich von Thünen-Institut

Bundesallee 50

38116 Braunschweig

Germany

www.thuenen.de

