

CLIMATE CHANGE

33/2024

Anhang

Auswirkungen der energetischen Nutzung forstlicher Biomasse in Deutschland auf deutsche und internationale LULUCF-Senken

von:

Mirjam Pfeiffer, Anke Benndorf, Klaus Hennenberg
Öko-Institut e.V., Darmstadt, Berlin

Susanne Köppen, Horst Fehrenbach
ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH, Berlin, Heidelberg

Herausgeber:

Umweltbundesamt

CLIMATE CHANGE 33/2024

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für
Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3720435020

FB001558

Anhang

Auswirkungen der energetischen Nutzung forstlicher Biomasse in Deutschland auf deutsche und internationale LULUCF-Senken

von

Mirjam Pfeiffer, Anke Benndorf, Klaus Hennenberg
Öko-Institut e.V., Darmstadt, Berlin

Susanne Köppen, Horst Fehrenbach
ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg
gGmbH, Berlin, Heidelberg

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 [/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

 [/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

Öko-Institut e.V.
Rheinstraße 95
64295 Darmstadt

Abschlussdatum:

September 2023

Redaktion:

Fachgebiet V 1.3 Erneuerbare Energien
Katja Hofmeier

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, August 2024

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Auswirkungen der energetischen Nutzung forstlicher Biomasse in Deutschland auf deutsche und internationale LULUCF-Senken (BioSINK)

Das Projekt BioSINK erforscht die Auswirkungen der Energieholznutzung auf die Kohlenstoffsenkenleistung des Waldes in Deutschland. Hierzu wurden mit dem Holzverwendungsmodell TRAW, dem Waldmodell FABio-Forest und der Treibhausgasbilanzierung für Energieholz mit dem Modell HoLCA ein Referenzszenario und drei Holzenergieszenarien berechnet. In diesem Anhangsdokument werden ergänzende Ergebnisse und Daten zum Endbericht des Projekts bereitgestellt.

Abstract: Impacts of the energetic use of forest biomass in Germany on national and international LULUCF sinks (BioSINK)

The BioSINK project researches the effects of wood energy use on the carbon sink performance of German forests. For this purpose, a reference scenario and three wood energy scenarios were simulated using the wood utilisation model TRAW, the forest model FABio-Forest, and the greenhouse gas balancing for energy wood with the HoLCA model. This appendix document provides supplementary results and data for the project's final report.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis	11
Abkürzungsverzeichnis.....	12
A Überblick über die Anhänge.....	13
B Holzenergieszenarien – Wald.....	14
B.1 Referenzszenario.....	14
B.1.1 Holzentnahme im Referenzszenario (REF).....	14
B.1.2 Abbildungen für das Referenzszenario (REF).....	18
B.2 Intensivierte Holzenergieverwendung (HE-int)	32
B.2.1 Holzentnahme in HE-int.....	32
B.2.2 Abbildungen für HE-int	35
B.3 Reduzierte Holzenergieverwendung (HE-red)	49
B.3.1 Holzentnahme in HE-red.....	49
B.3.2 Abbildungen für HE-red	52
B.4 Extensivierte Holzenergieverwendung (HE-ext)	66
B.4.1 Holzentnahme in HE-ext	66
B.4.2 Abbildungen für das HE-ext	69
C Hintergrundinformationen zur Treibhausgasbilanzierung.....	83
C.1 CO ₂ -Speichersaldo.....	83
C.2 Hintergrundinformation zur THG-Bilanzierung von Holzprodukten.....	87
C.3 Berechnung der Substitution von konventioneller Energie.....	89
D Flüsse der Holzrohstoffe in Endwarenssektoren im Jahr 2020.....	92
E Länderstudien.....	93
E.1 Kanada.....	93
E.1.1 Geltende Vorschriften und die gängige Praxis der Forstwirtschaft.....	94
E.1.2 Risikoabschätzung in Hinblick auf Umweltauswirkungen einer gesteigerten Energieholz-Entnahme.....	97
E.1.3 Export von Energieholz	98
E.2 USA.....	99
E.2.1 Geltende Vorschriften und die gängige Praxis der Forstwirtschaft.....	100
E.2.2 Risikoabschätzung in Hinblick auf Umweltauswirkungen einer gesteigerten Energieholz-Entnahme.....	101
E.2.3 Export von Energieholz	102

E.2.4	Sumpfwälder.....	103
E.3	Polen	104
E.3.1	Geltende Vorschriften und die gängige Praxis der Forstwirtschaft.....	105
E.3.2	Risikoabschätzung in Hinblick auf Umweltauswirkungen einer gesteigerten Energieholz-Entnahme.....	106
E.3.3	Export von Energieholz	107
E.4	Tschechien	109
E.4.1	Geltende Vorschriften und die gängige Praxis der Forstwirtschaft.....	109
E.4.2	Risikoabschätzung in Hinblick auf Umweltauswirkungen einer gesteigerten Energieholz-Entnahme.....	110
E.4.3	Export von Energieholz	111
E.5	Interviewleitfaden.....	112
E.5.1	Interviewleitfaden zu den Länderstudien in BioSink (deutsch)	112
E.5.2	Interviewleitfaden zu den Länderstudien in BioSink (englisch).....	113

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Simulierte Derbholzentnahme und offenbleibende Nachfrage in REF	18
Abbildung 2:	Flächenanteil der Baumartengruppen basierend auf der Basalfläche in REF für die Sensitivitäten geringe, mittlere und starke Störungen von 2013 bis 2076	19
Abbildung 3:	Zeitliche Entwicklung der Bestandsbasalflächen nach Häufigkeit in REF	20
Abbildung 4:	Derbholzvorrat in lebender Biomasse nach Baumartengruppen in REF	21
Abbildung 5:	Veränderungen des Derbholzvorrats in lebender Biomasse in REF im Vergleich der Sensitivitäten geringe, mittlere und starke Störungen	22
Abbildung 6:	Derbholzvorrat ohne Rinde für Industrie- und Stammholz in REF (beispielhaft für mittlere Störungen).....	23
Abbildung 7:	Hektarspezifischer Zuwachs nach Baumartengruppen in REF .	24
Abbildung 8:	Deutschlandweiter Derbholzzuwachs nach Baumartengruppen in REF	26
Abbildung 9:	Totholzvorrat nach Baumartengruppen in REF	27
Abbildung 10:	Bestandsstruktur als Derbholzvorrat (Vorratsfestmeter) von Laub- und Nadelbäumen für lebende Bäume nach Durchmesserklassen in REF	28
Abbildung 11:	Abgestorbenes Derbholzvolumen (Vorratsfestmeter) von Laub- und Nadelbäumen nach Durchmesserklassen in REF	29
Abbildung 12:	In Waldbiomasse gespeichertes CO ₂ und jährliche Senkenleistung in REF.....	30
Abbildung 13:	THG-Bilanz der lebenden Biomasse im Wald in REF für die Sensitivitäten geringe, mittlere und starke Störungen	31
Abbildung 14:	Simulierte Derbholzentnahme und offenbleibende Nachfrage in HE-int	35
Abbildung 15:	Flächenanteil der Baumartengruppen basierend auf der Basalfläche in HE-int für die Sensitivitäten geringe, mittlere und starke Störungen von 2013 bis 2076	36
Abbildung 16:	Zeitliche Entwicklung der Bestandsbasalflächen nach Häufigkeit in HE-int	37
Abbildung 17:	Derbholzvorrat in lebender Biomasse nach Baumartengruppen in HE-int	38
Abbildung 18:	Veränderungen des Derbholzvorrats in lebender Biomasse in HE-int im Vergleich der Sensitivitäten geringe, mittlere und starke Störungen	39
Abbildung 19:	Derbholzvorrat ohne Rinde für Industrie- und Stammholz in HE-int (beispielhaft für mittlere Störungen)	40

Abbildung 20:	Hektarspezifischer Zuwachs nach Baumartengruppen in HE-int	41
Abbildung 21:	Deutschlandweiter Derbholzzuwachs nach Baumartengruppen in HE-int	43
Abbildung 22:	Totholzvorrat nach Baumartengruppen in HE-int	44
Abbildung 23:	Bestandsstruktur als Derbholzvorrat (Vorratsfestmeter) von Laub- und Nadelbäumen für lebende Bäume nach Durchmesserklassen in HE-int	45
Abbildung 24:	Abgestorbenes Derbholzvolumen (Vorratsfestmeter) von Laub- und Nadelbäumen nach Durchmesserklassen in HE-int	46
Abbildung 25:	In Waldbiomasse gespeichertes CO ₂ und jährliche Senkenleistung in HE-int	47
Abbildung 26:	THG-Bilanz der lebenden Biomasse im Wald in HE-int für die Sensitivitäten geringe, mittlere und starke Störungen	48
Abbildung 27:	Simulierte Derbholzentnahme und offenbleibende Nachfrage in HE-red	52
Abbildung 28:	Flächenanteil der Baumartengruppen basierend auf der Basalfläche in HE-red für die Sensitivitäten geringe, mittlere und starke Störungen von 2013 bis 2076	53
Abbildung 29:	Zeitliche Entwicklung der Bestandsbasalflächen nach Häufigkeit in HE-red	54
Abbildung 30:	Derbholzvorrat in lebender Biomasse nach Baumartengruppen in HE-red	55
Abbildung 31:	Veränderungen des Derbholzvorrats in lebender Biomasse in HE-red im Vergleich der Sensitivitäten geringe, mittlere und starke Störungen	56
Abbildung 32:	Derbholzvorrat ohne Rinde für Industrie- und Stammholz in HE-red (beispielhaft für mittlere Störungen)	57
Abbildung 33:	Hektarspezifischer Zuwachs nach Baumartengruppen in HE-red	58
Abbildung 34:	Deutschlandweiter Derbholzzuwachs nach Baumartengruppen in HE-red	60
Abbildung 35:	Totholzvorrat nach Baumartengruppen in HE-red	61
Abbildung 36:	Bestandsstruktur als Derbholzvorrat (Vorratsfestmeter) von Laub- und Nadelbäumen für lebende Bäume nach Durchmesserklassen in HE-red	62
Abbildung 37:	Abgestorbenes Derbholzvolumen (Vorratsfestmeter) von Laub- und Nadelbäumen nach Durchmesserklassen in HE-red	63
Abbildung 38:	In Waldbiomasse gespeichertes CO ₂ und jährliche Senkenleistung in HE-red	64
Abbildung 39:	THG-Bilanz der lebenden Biomasse im Wald in HE-red für die Sensitivitäten geringe, mittlere und starke Störungen	65

Abbildung 40:	Simulierte Derbholzentnahme und offenbleibende Nachfrage in HE-ext	69
Abbildung 41:	Flächenanteil der Baumartengruppen basierend auf der Basalfläche in HE-ext für die Sensitivitäten geringe, mittlere und starke Störungen von 2013 bis 2076.....	70
Abbildung 42:	Zeitliche Entwicklung der Bestandsbasalflächen nach Häufigkeit in HE-ext	71
Abbildung 43:	Derbholzvorrat in lebender Biomasse nach Baumartengruppen in HE-ext	72
Abbildung 44:	Veränderungen des Derbholzvorrats in lebender Biomasse in HE-ext im Vergleich der Sensitivitäten geringe, mittlere und starke Störungen	73
Abbildung 45:	Derbholzvorrat ohne Rinde für Industrie- und Stammholz in HE-ext (beispielhaft für mittlere Störungen).....	74
Abbildung 46:	Hektarspezifischer Zuwachs nach Baumartengruppen in HE-ext	75
Abbildung 47:	Deutschlandweiter Derbholzzuwachs nach Baumartengruppen in HE-ext	77
Abbildung 48:	Totholzvorrat nach Baumartengruppen in HE-ext	78
Abbildung 49:	Bestandsstruktur als Derbholzvorrat (Vorratsfestmeter) von Laub- und Nadelbäumen für lebende Bäume nach Durchmesserklassen in HE-ext	79
Abbildung 50:	Abgestorbenes Derbholzvolumen (Vorratsfestmeter) von Laub- und Nadelbäumen nach Durchmesserklassen in HE-ext.....	80
Abbildung 51:	In Waldbiomasse gespeichertes CO ₂ und jährliche Senkenleistung in HE-ext.....	81
Abbildung 52:	THG-Bilanz der lebenden Biomasse im Wald in HE-ext für die Sensitivitäten geringe, mittlere und starke Störungen in HE-ext	82
Abbildung 53:	Auswirkung der Reduzierung der Holzentnahme im Referenzszenario auf die lebende Biomasse im Wald	83
Abbildung 54:	Beispielberechnung zum CO ₂ -Speichersaldo.....	84
Abbildung 55:	Verwendung von Holzrohstoffen in Endwarenssektoren im Jahr 2020 in Festmeteräquivalente (Mio. m ³ swe)	92
Abbildung 56:	Anteile der Holzenergieexporte aus Polen nach Energieholzart	108

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Historische Entnahme an Waldbiomasse in Mio. m ³ _{swe} (2013-2020).....	14
Tabelle 2:	Nachfrage nach Waldbiomasse im Referenzszenario in Mio. m ³ _{swe} (Übergabedaten von TRAW an FABio-Forest).....	14
Tabelle 3:	Angestrebte Holzentnahme im Referenzszenario in Mio. m ³ (mit Rinde)	16
Tabelle 4:	Nachfrage nach Waldbiomasse in HE-int in Mio. m ³ _{swe} (Übergabedaten von TRAW an FABio-Forest)	32
Tabelle 5:	Angestrebte Holzentnahme in HE-int in Mio. m ³ (mit Rinde) ..	33
Tabelle 6:	Nachfrage nach Waldbiomasse in HE-red in Mio. m ³ _{swe} (Übergabedaten von TRAW an FABio-Forest)	49
Tabelle 7:	Angestrebte Holzentnahme in HE-red in Mio. m ³ (mit Rinde) .	50
Tabelle 8:	Nachfrage nach Waldbiomasse in HE-ext in Mio. m ³ _{swe} (Übergabedaten von TRAW an FABio-Forest)	66
Tabelle 9:	Angestrebte Holzentnahme in HE-ext in Mio. m ³ (mit Rinde) .	67
Tabelle 10:	CO ₂ -Speichersaldo für Laubholz (lebende Biomasse) in Deutschland auf Basis von Modellergebnissen aus FABio-Forest (5-jährige Mittelwerte).....	85
Tabelle 11:	CO ₂ -Speichersaldo für Nadelholz (lebende Biomasse) in Deutschland auf Basis von Modellergebnissen aus FABio-Forest (5-jährige Mittelwerte).....	86
Tabelle 12:	Umrechnungsfaktoren getrennt nach Holzsortimenten	87
Tabelle 13:	Emissionsfaktoren für die in den Haushalten verwendeten Kategorien (g CO ₂ -Äq./MJ)	88
Tabelle 14:	Deutschlandweite Emissionsfaktoren für den konventionellen Strom- und Wärmemix	90
Tabelle 15:	Nutzungsgrade der Wärme- und Stromerzeugung	90

Abkürzungsverzeichnis

ERR	Einschlagsrückrechnung
FABio	Forestry and Agriculture Biomass Model
gS	geringe Störungen
HE-ext	Szenario „Extensivierte Holzenergieverwendung“
HE-int	Szenario „Intensivierte Holzenergienutzung“
HE-red	Szenario „Reduzierte Holzenergieverwendung“
m³_{sew}	Kubikmeter Holz in Einheit „solid wood equivalent“
mS	mittlere Störungen
REF	Referenzszenario
sS	starke Störungen
TRAW	Total Resource Assessment of Wood

A Überblick über die Anhänge

In diesem Anhangsdokument zum Abschlussbericht im Projekt BioSINK werden Detailinformationen zu den folgenden Themen zusammengestellt:

- ▶ B: Ergebnisse der Waldmodellierung
 - B.1: Referenzszenario (REF, siehe Pfeiffer et al. 2023¹)
 - B.2: Intensivierte Holzenergieverwendung (HE-int)
 - B.3: Reduzierte Holzenergieverwendung (HE-red)
 - B.4: Extensivierte Holzenergieverwendung (HE-ext)

- ▶ C: Hintergrundinformationen zur Treibhausgasbilanzierung
 - C.1: CO₂-Speichersaldo
 - C.2: Hintergrundinformation zur THG-Bilanzierung von Holzprodukten
 - C.3; Berechnung der Situation konventioneller Energie

- ▶ D: Flüsse der Holzrohstoffe in Endwarenssektoren im Jahr 2020

- ▶ E: Länderstudien
 - E.1: Kanada
 - E.2: USA
 - E.3: Polen
 - E.4: Tschechien

Alle im Dokument angegebenen Internet-Verweise wurden am 28.03.2024 geprüft.

¹ Pfeiffer, Mirjam; Hennenberg, Klaus; Böttcher, Hannes; Reise, Judith; Mantau, Udo (2023): Referenzszenario der Holzverwendung und der Waldentwicklung im UBA-Projekt BioSINK. Öko Institut e.V. Berlin (Öko-Institut Working Paper, 4/2023). Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/WP-Referenzszenario-BioSINK.pdf>.

B Holzenergieszzenarien – Wald

Für die historische Holzentnahme zwischen 2013 und 2021 wurden die Daten der Einschlagsrückrechnung (ERR) zugrunde gelegt (Jochem et al. 2022², Tabelle 1).

Tabelle 1: Historische Entnahme an Waldbiomasse in Mio. m³_{swe} (2013-2020)

Jahr	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz	Rinde
2013	35,665	39,268	8,436	3,108
2014	35,714	33,567	7,635	2,819
2015	37,102	33,776	7,261	2,699
2016	35,978	31,551	7,069	2,620
2017	37,458	30,809	6,737	2,547
2018	42,883	32,624	6,487	2,492
2019	44,754	33,067	5,629	2,314
2020	51,332	32,719	5,750	2,216
2021	48,683	35,393	6,478	2,438

Quelle: Jochem et al. (2022)²

B.1 Referenzszenario

B.1.1 Holzentnahme im Referenzszenario (REF)

Für den Zeitraum ab 2021 bis 2050 wurde die Nachfrage nach Waldbiomasse mithilfe von TRAW modelliert (Tabelle 2) und an FABio-Forest übergeben, um festzulegen, welche Holzentnahme im Modell unter Berücksichtigung der Bewirtschaftungsregeln (siehe Details im Endbericht unter Kap. 2.3.2 „Waldbewirtschaftung und Holzentnahme“) anzustreben ist (Tabelle 3).

Tabelle 2: Nachfrage nach Waldbiomasse im Referenzszenario in Mio. m³_{swe} (Übergabedaten von TRAW an FABio-Forest)

Jahr	Nadelholz				Laubholz			
	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz	Rinde	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz	Rinde
2022	42,728	17,146	5,125	1,907	3,013	11,472	1,240	0,461
2023	42,178	16,678	5,155	1,906	3,061	11,379	1,265	0,468
2024	41,891	16,291	5,194	1,905	3,110	11,332	1,289	0,473

² Jochem, D.; Weimar, H.; Dieter, M. (2022): Holzeinschlag steigt im Jahr 2021 auf 84,2 Mio. m³. In: Holz-Zentralblatt (41), S. 713–714. Online verfügbar unter https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn065561.pdf, zuletzt geprüft am 06.04.2023.

Jahr	Nadelholz				Laubholz			
	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz	Rinde	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz	Rinde
2025	41,292	15,895	5,231	1,902	3,177	11,328	1,327	0,483
2026	41,347	15,985	5,280	1,905	3,234	11,396	1,347	0,486
2027	41,631	15,963	5,333	1,912	3,250	11,339	1,351	0,484
2028	41,781	16,012	5,379	1,918	3,266	11,318	1,357	0,484
2029	42,087	16,119	5,426	1,926	3,286	11,302	1,360	0,483
2030	42,374	16,217	5,463	1,930	3,326	11,298	1,364	0,482
2031	42,453	16,338	5,445	1,908	3,360	11,311	1,359	0,476
2032	42,631	16,376	5,431	1,894	3,382	11,294	1,351	0,471
2033	42,774	16,388	5,366	1,857	3,412	11,255	1,330	0,460
2034	42,958	16,375	5,283	1,817	3,442	11,189	1,303	0,448
2035	43,129	16,336	5,213	1,785	3,475	11,109	1,279	0,438
2036	43,266	16,260	5,125	1,749	3,511	11,015	1,251	0,427
2037	43,468	16,202	5,047	1,724	3,545	10,908	1,222	0,418
2038	43,658	16,144	4,985	1,712	3,582	10,812	1,200	0,412
2039	43,819	16,055	4,910	1,696	3,620	10,686	1,173	0,405
2040	43,987	15,945	4,822	1,677	3,663	10,555	1,144	0,398
2041	44,142	15,870	4,753	1,659	3,699	10,447	1,120	0,391
2042	44,302	15,781	4,677	1,641	3,725	10,329	1,094	0,384
2043	44,429	15,693	4,600	1,622	3,758	10,210	1,069	0,377
2044	44,627	15,618	4,524	1,604	3,791	10,091	1,042	0,370
2045	44,785	15,527	4,447	1,586	3,824	9,970	1,017	0,363
2046	44,908	15,439	4,369	1,567	3,858	9,849	0,992	0,356
2047	45,076	15,349	4,292	1,549	3,889	9,727	0,967	0,349
2048	45,230	15,258	4,214	1,530	3,922	9,605	0,942	0,342
2049	45,373	15,188	4,135	1,511	3,959	9,486	0,918	0,336
2050	45,515	15,071	4,056	1,492	3,997	9,358	0,894	0,329
ab 2051	45,515	15,071	4,056	1,492	3,997	9,358	0,894	0,329

Quelle: Pfeiffer et al. (2023)¹

Da die Derbholzentnahme in FABio-Forest in Form von Vorratsfestmetern (Vfm.) erfolgt, wurden die von TRAW gelieferten Derbholz-Holznachfragewerte (Tabelle 2) vor der Übergabe an FABio um einen Rindenfaktor von 1,126 für Nadel- und 1,109 für Laubholz expandiert. Zusätzlich erfolgte vor der Expansion um den Rindenfaktor eine Expansion um Faktor 1,019 für Nadel- und 1,192 für Laubholz. Diese Werte ergaben sich als Mittel beim Vergleich der von TRAW modellierten Historie der Holzverwendung mit den Daten der ERR (Jochem et al. 2022²) und spiegeln wider, wieviel des eingeschlagenen Holzes am Ende tatsächlich Verwendung in der Nutzung findet (Verlustrate zwischen Einschlag und Nutzung, siehe Werte in Tabelle 3).

Tabelle 3: Angestrebte Holzentnahme im Referenzszenario in Mio. m³ (mit Rinde)

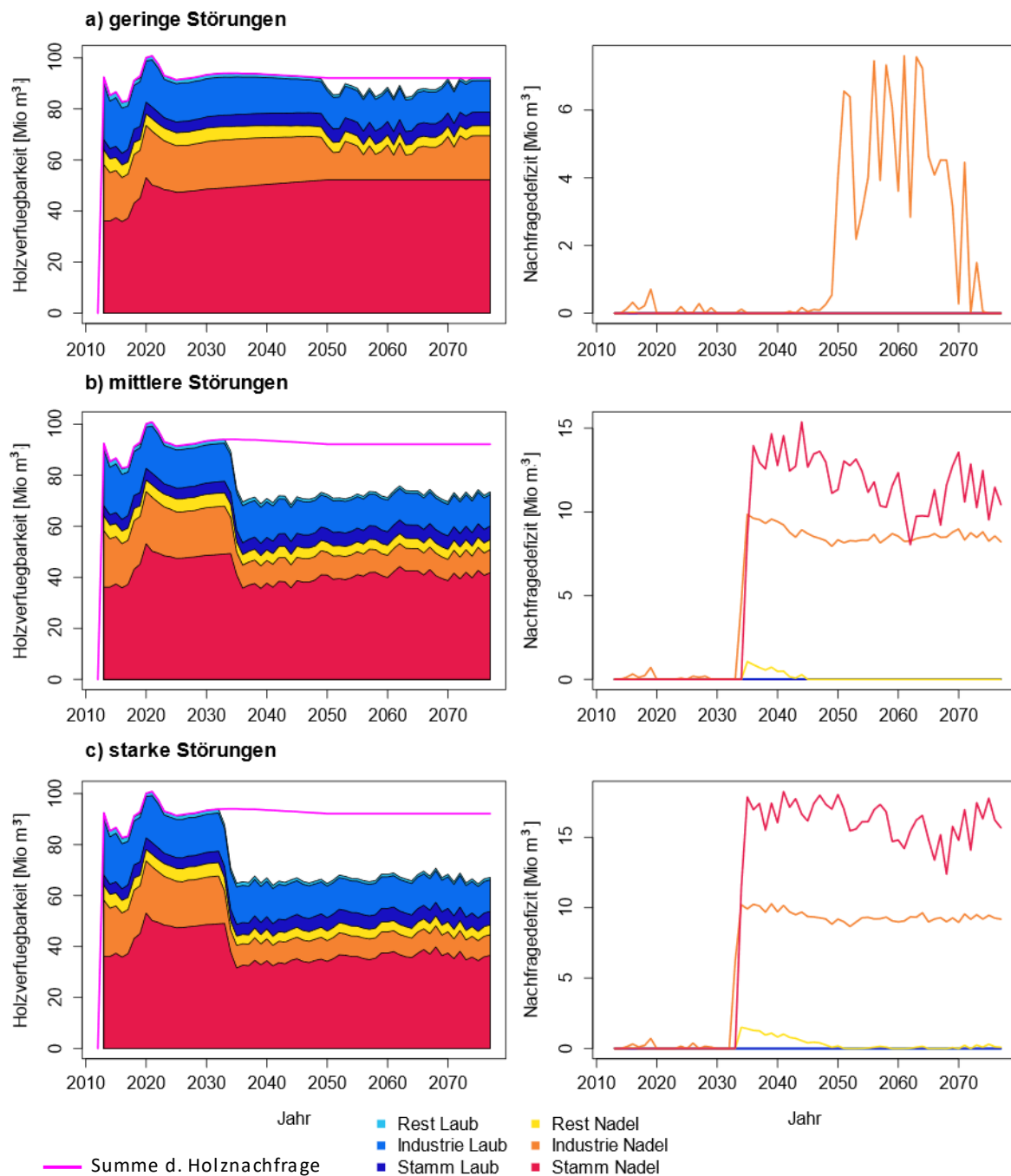
Jahr	Nadelholz			Laubholz		
	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz
2022	49,484	19,857	4,822	4,547	17,315	1,544
2023	48,391	19,135	4,988	4,047	15,047	1,432
2024	48,062	18,691	5,024	4,112	14,984	1,459
2025	47,375	18,236	5,056	4,202	14,980	1,501
2026	47,437	18,340	5,103	4,276	15,069	1,524
2027	47,763	18,314	5,155	4,298	14,994	1,528
2028	47,935	18,370	5,200	4,319	14,966	1,536
2029	48,286	18,493	5,247	4,345	14,946	1,539
2030	48,615	18,606	5,283	4,398	14,940	1,543
2031	48,706	18,745	5,266	4,443	14,957	1,538
2032	48,910	18,788	5,253	4,472	14,934	1,529
2033	49,074	18,802	5,190	4,512	14,883	1,506
2034	49,286	18,787	5,111	4,551	14,796	1,475
2035	49,482	18,742	5,044	4,595	14,690	1,448
2036	49,639	18,655	4,960	4,643	14,566	1,416
2037	49,871	18,589	4,885	4,688	14,424	1,385
2038	50,089	18,522	4,825	4,737	14,297	1,359
2039	50,273	18,420	4,754	4,786	14,131	1,329
2040	50,466	18,293	4,670	4,844	13,957	1,296
2041	50,645	18,208	4,603	4,891	13,815	1,270
2042	50,827	18,106	4,531	4,926	13,659	1,240
2043	50,974	18,005	4,457	4,970	13,501	1,212
2044	51,200	17,919	4,385	5,013	13,344	1,182
2045	51,382	17,815	4,311	5,057	13,184	1,154

Jahr	Nadelholz			Laubholz		
	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz
2046	51,523	17,714	4,236	5,102	13,023	1,126
2047	51,716	17,610	4,162	5,143	12,863	1,097
2048	51,892	17,505	4,087	5,186	12,702	1,069
2049	52,056	17,425	4,011	5,235	12,544	1,042
2050	52,219	17,291	3,935	5,286	12,375	1,015
ab 2051	52,219	17,291	3,935	5,286	12,375	1,015

Quelle: Pfeiffer et al. (2023)¹. Die Entnahme von Rinde erfolgt in Verbindung mit der Entnahme von Derbholz.

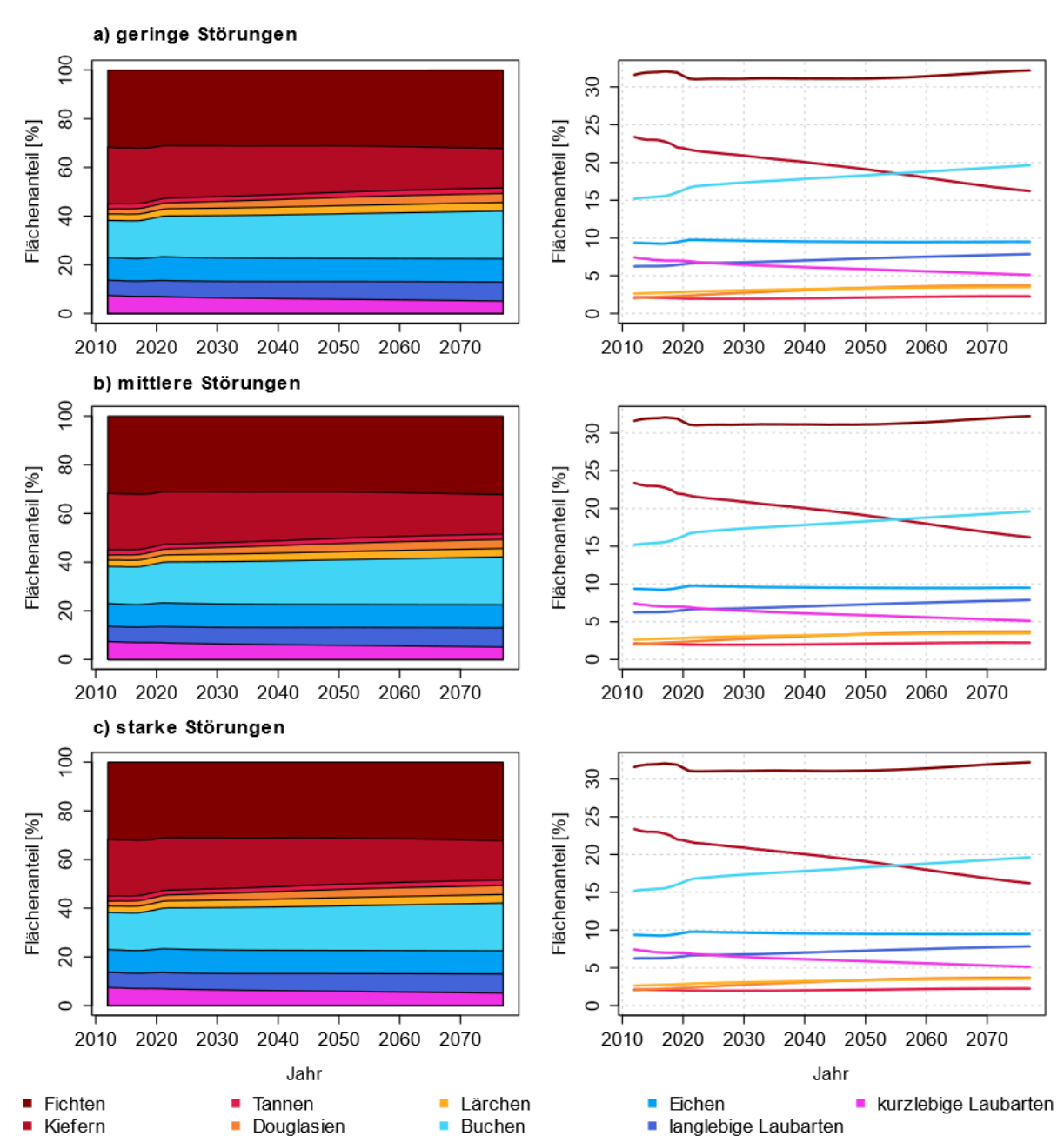
B.1.2 Abbildungen für das Referenzszenario (REF)

Abbildung 1: Simulierte Derbolzentnahme und offenbleibende Nachfrage in REF



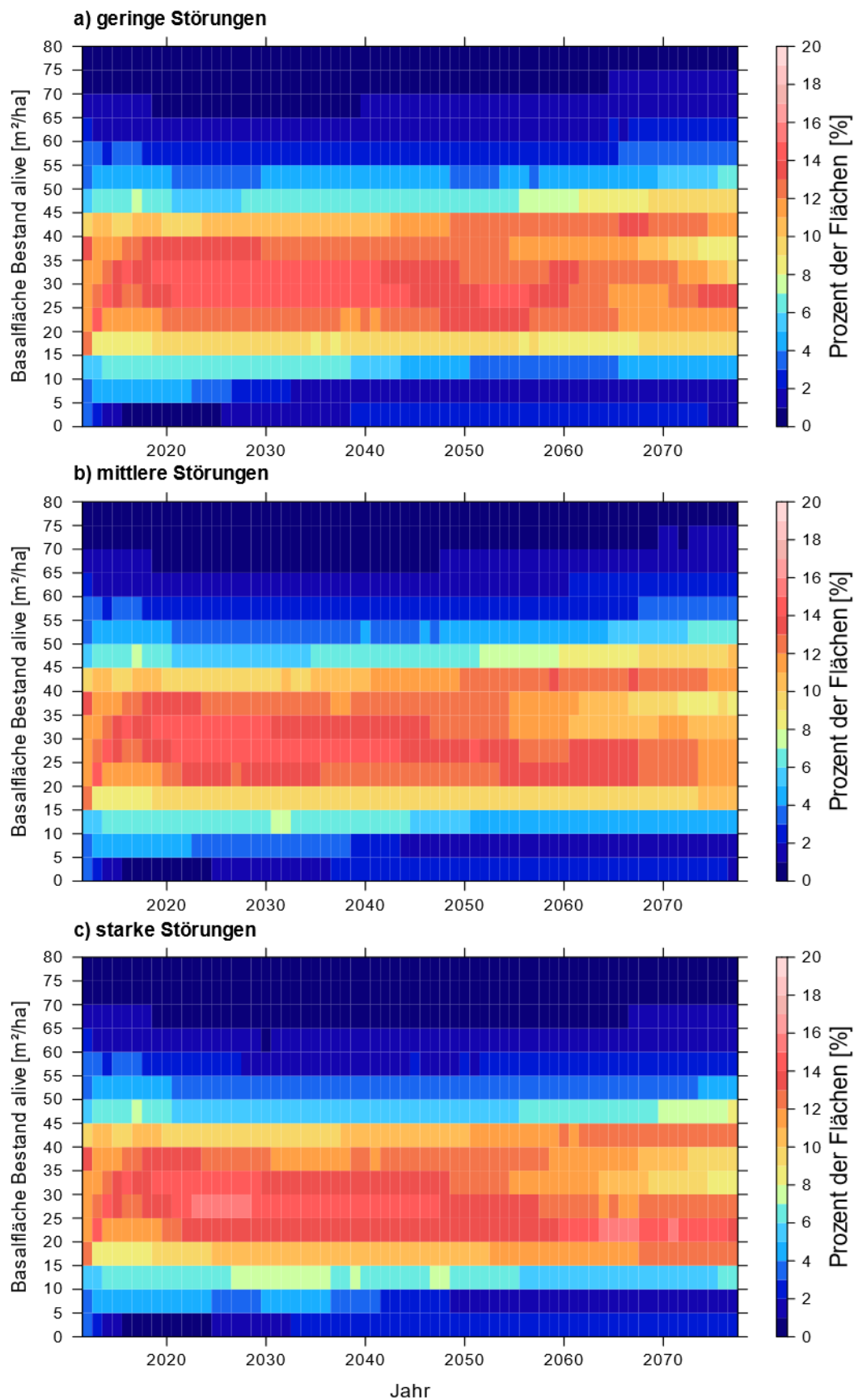
Quelle: Pfeiffer et al. (2023)¹

Abbildung 2: Flächenanteil der Baumartengruppen basierend auf der Basalfläche in REF für die Sensitivitäten geringe, mittlere und starke Störungen von 2013 bis 2076



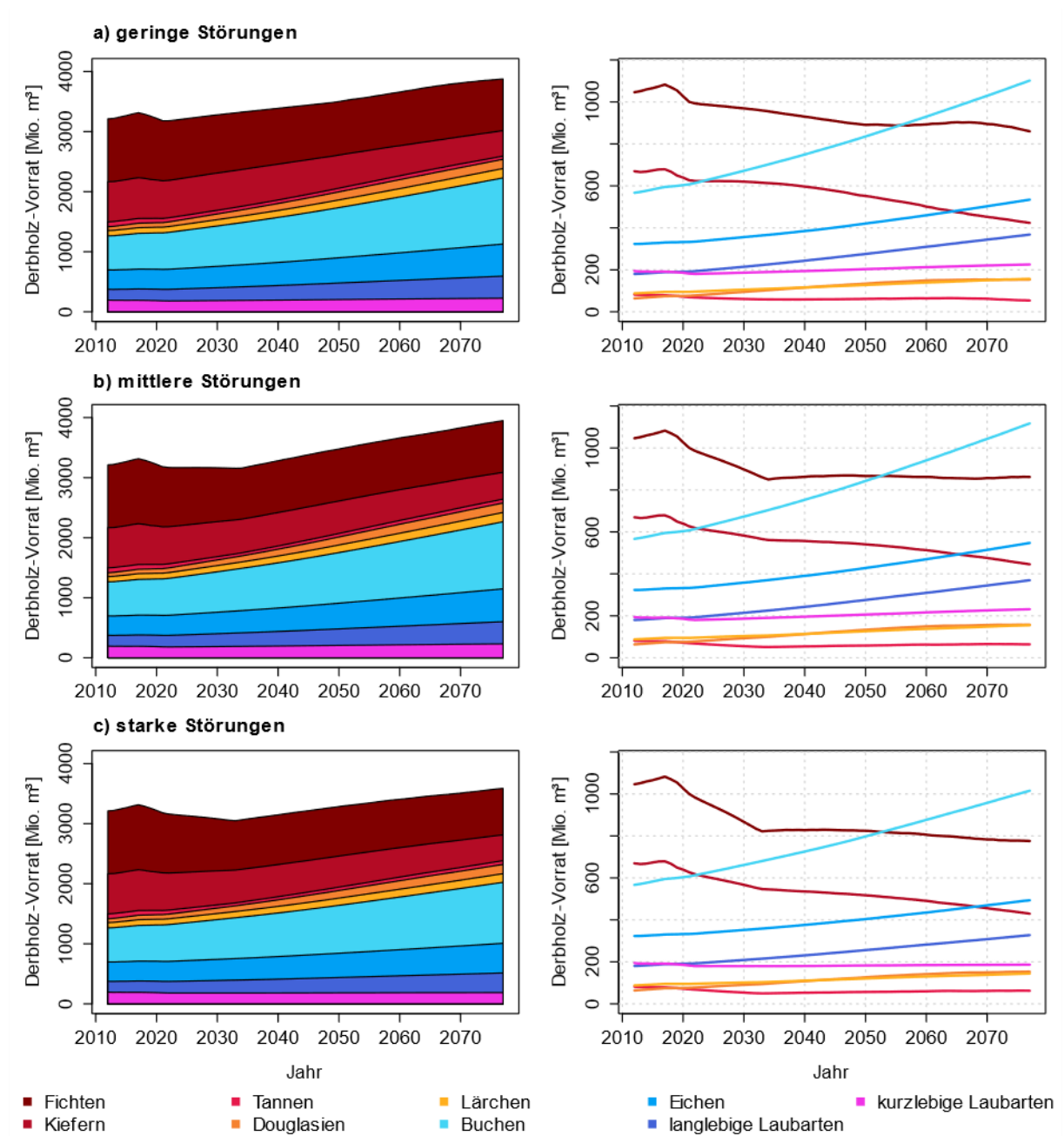
Quelle: Pfeiffer et al. (2023)¹

Abbildung 3: Zeitliche Entwicklung der Bestandsbasalflächen nach Häufigkeit in REF



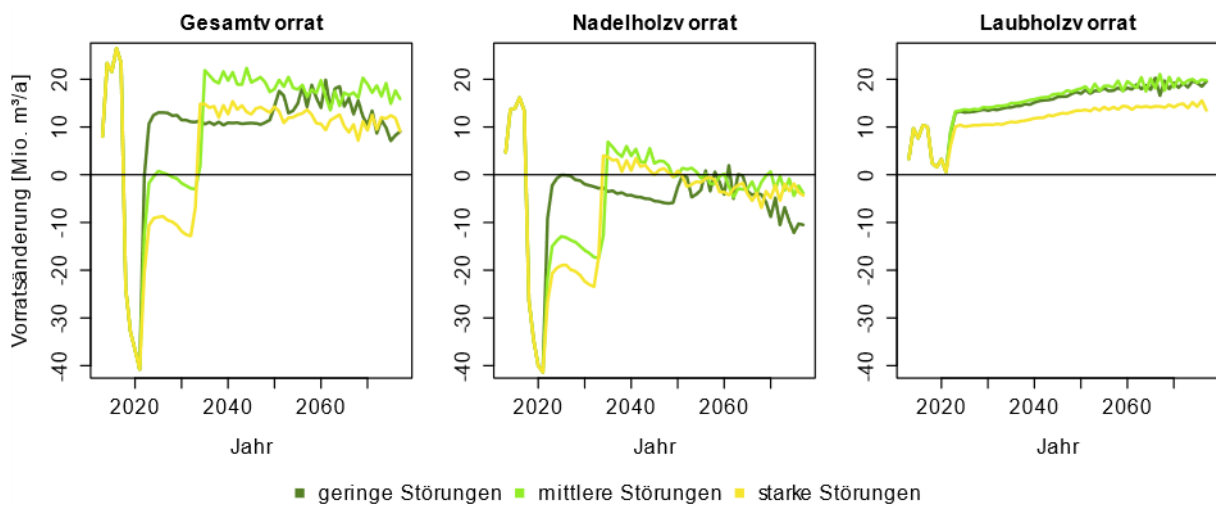
Quelle: Pfeiffer et al. (2023)¹

Abbildung 4: Derbholzvorrat in lebender Biomasse nach Baumartengruppen in REF



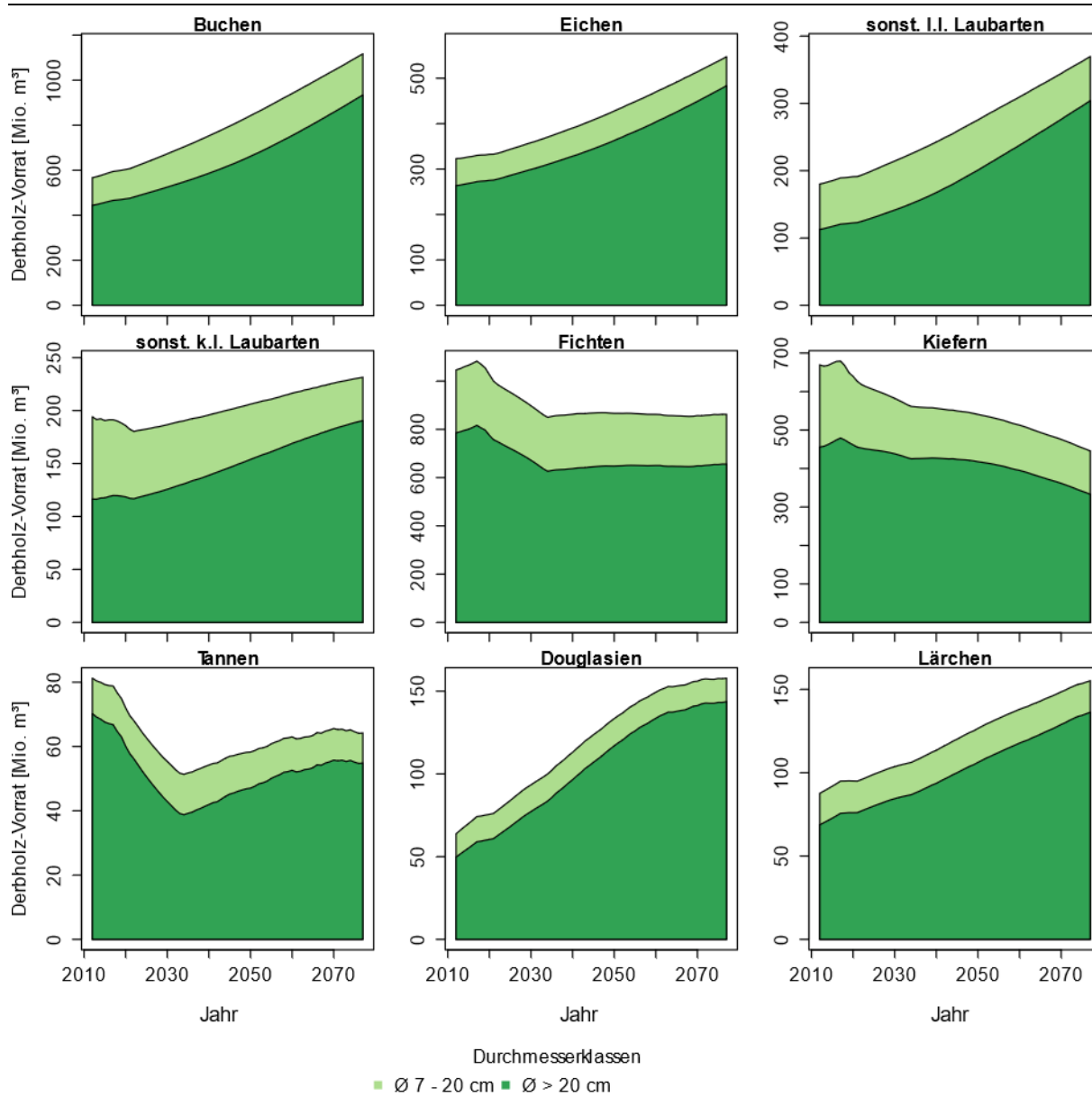
Quelle: Pfeiffer et al. (2023)¹

Abbildung 5: Veränderungen des Derbholzvorrats in lebender Biomasse in REF im Vergleich der Sensitivitäten geringe, mittlere und starke Störungen



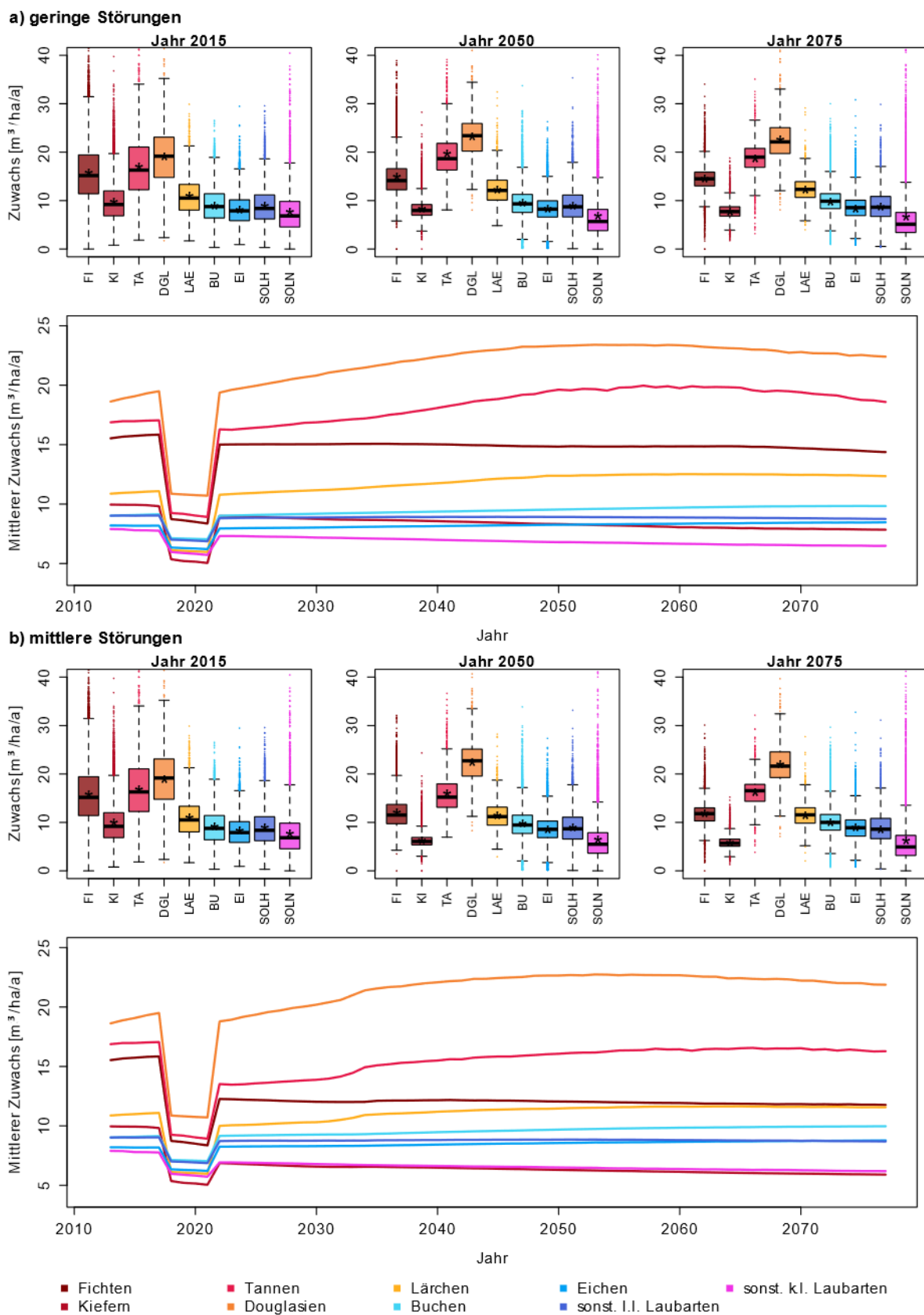
Quelle: Pfeiffer et al. (2023)¹

Abbildung 6: Derbholzvorrat ohne Rinde für Industrie- und Stammholz in REF (beispielhaft für mittlere Störungen)

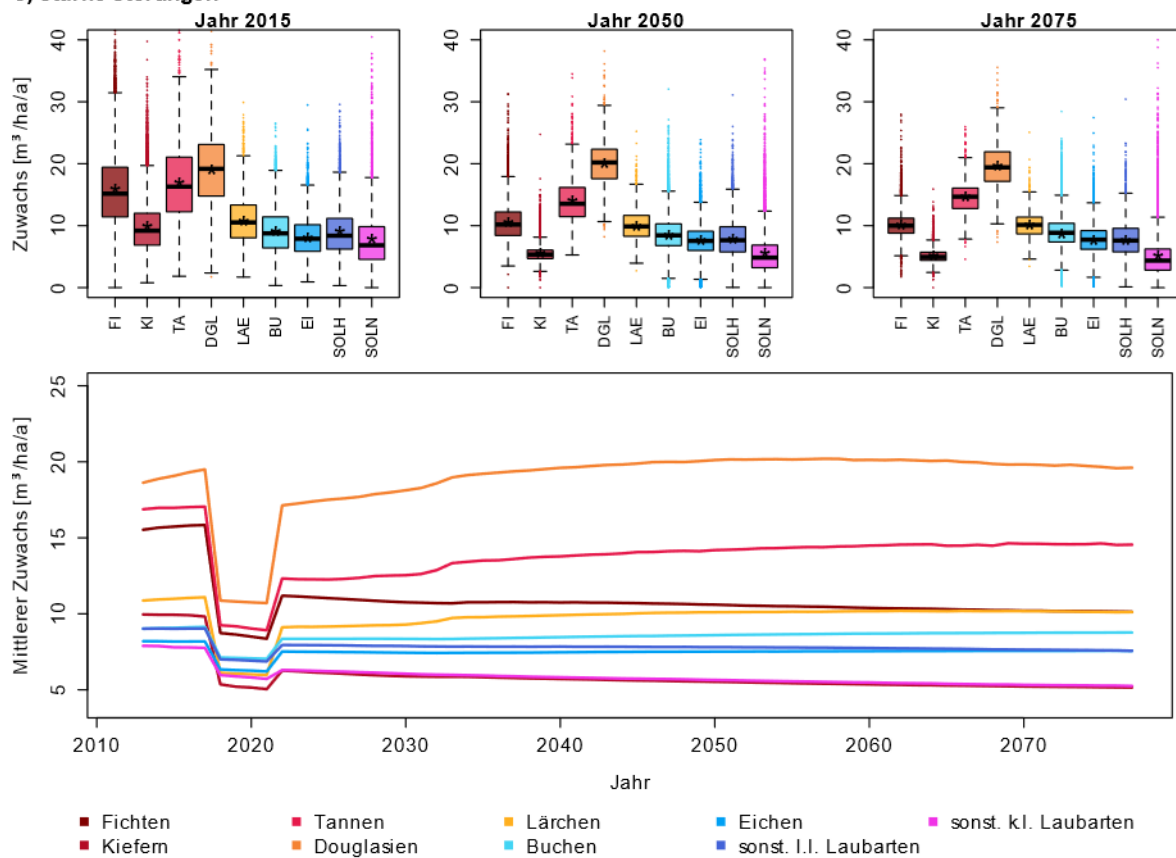


Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 7: Hektarspezifischer Zuwachs nach Baumartengruppen in REF

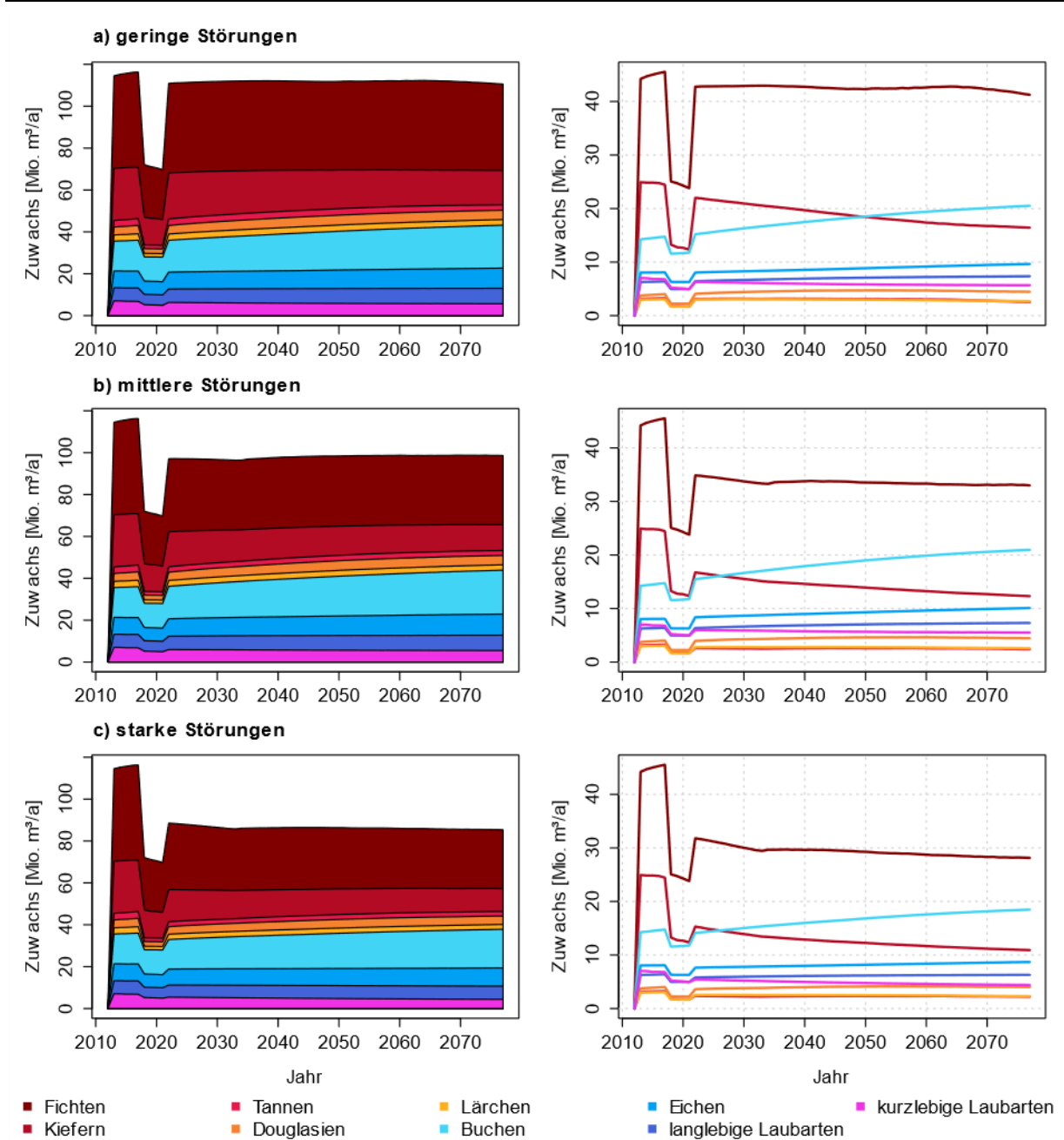


c) starke Störungen



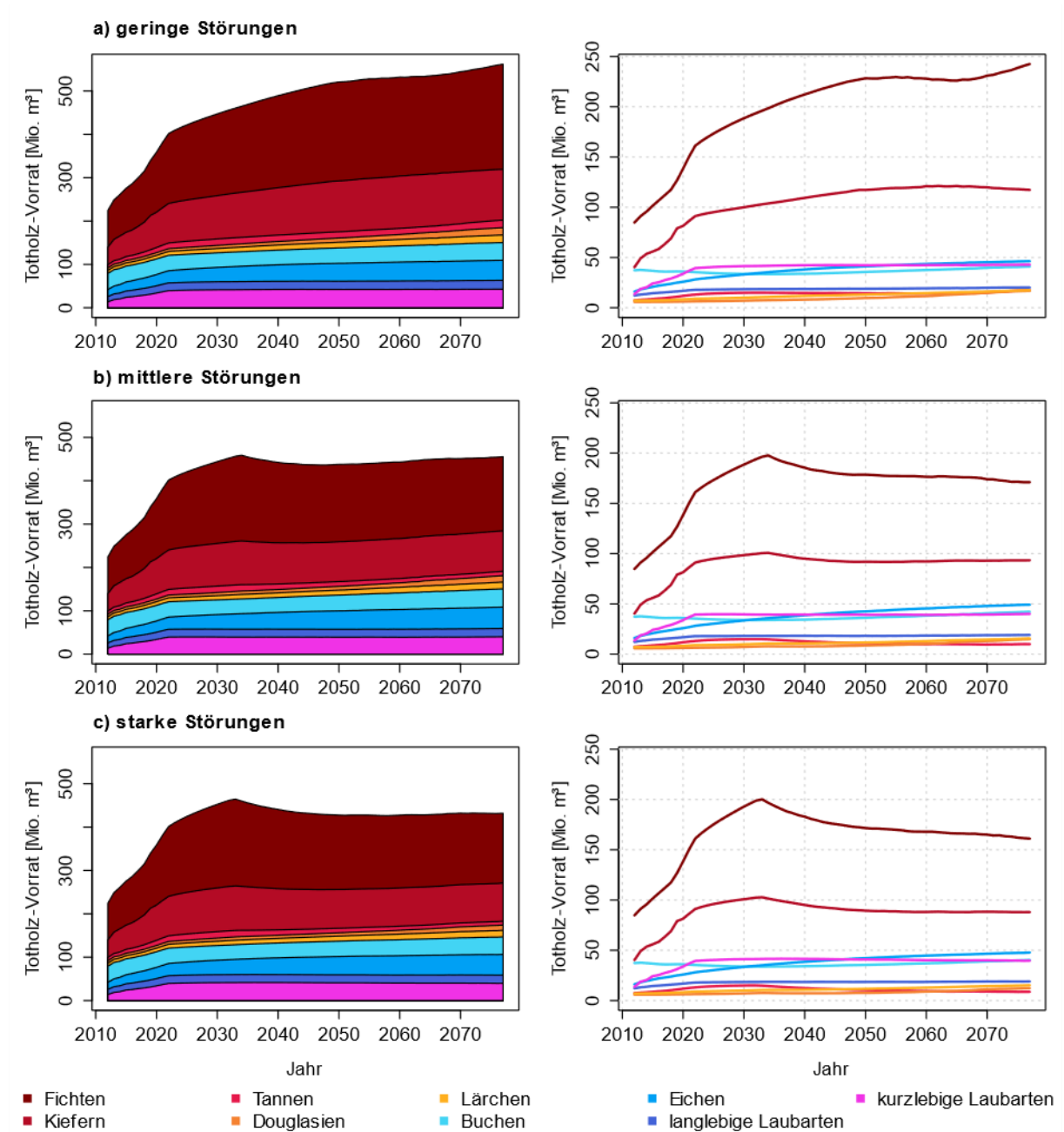
Quelle: Pfeiffer et al. (2023)¹

Abbildung 8: Deutschlandweiter Derbholzzuwachs nach Baumartengruppen in REF



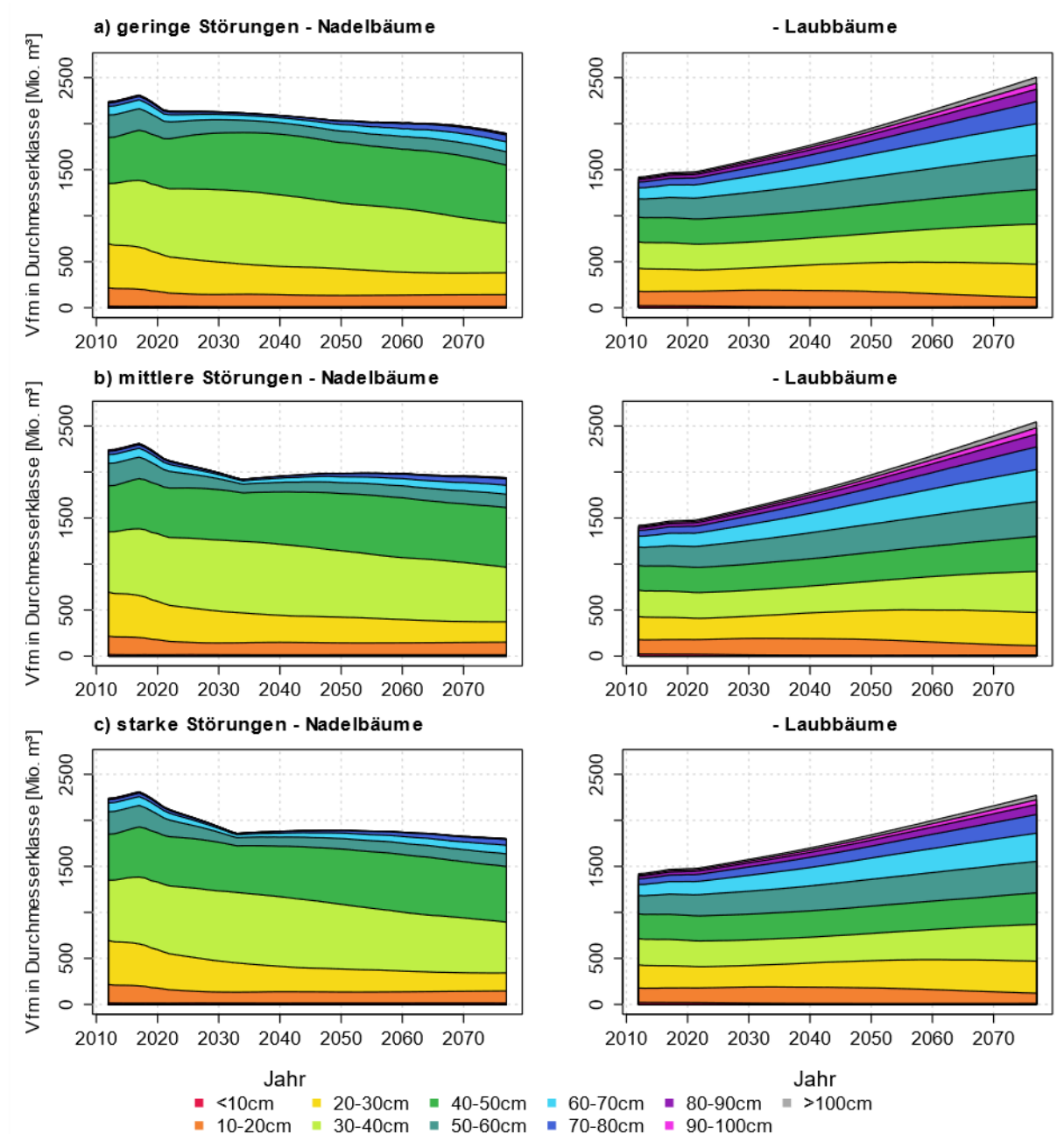
Quelle: Pfeiffer et al. (2023)¹

Abbildung 9: Totholz-vorrat nach Baumartengruppen in REF



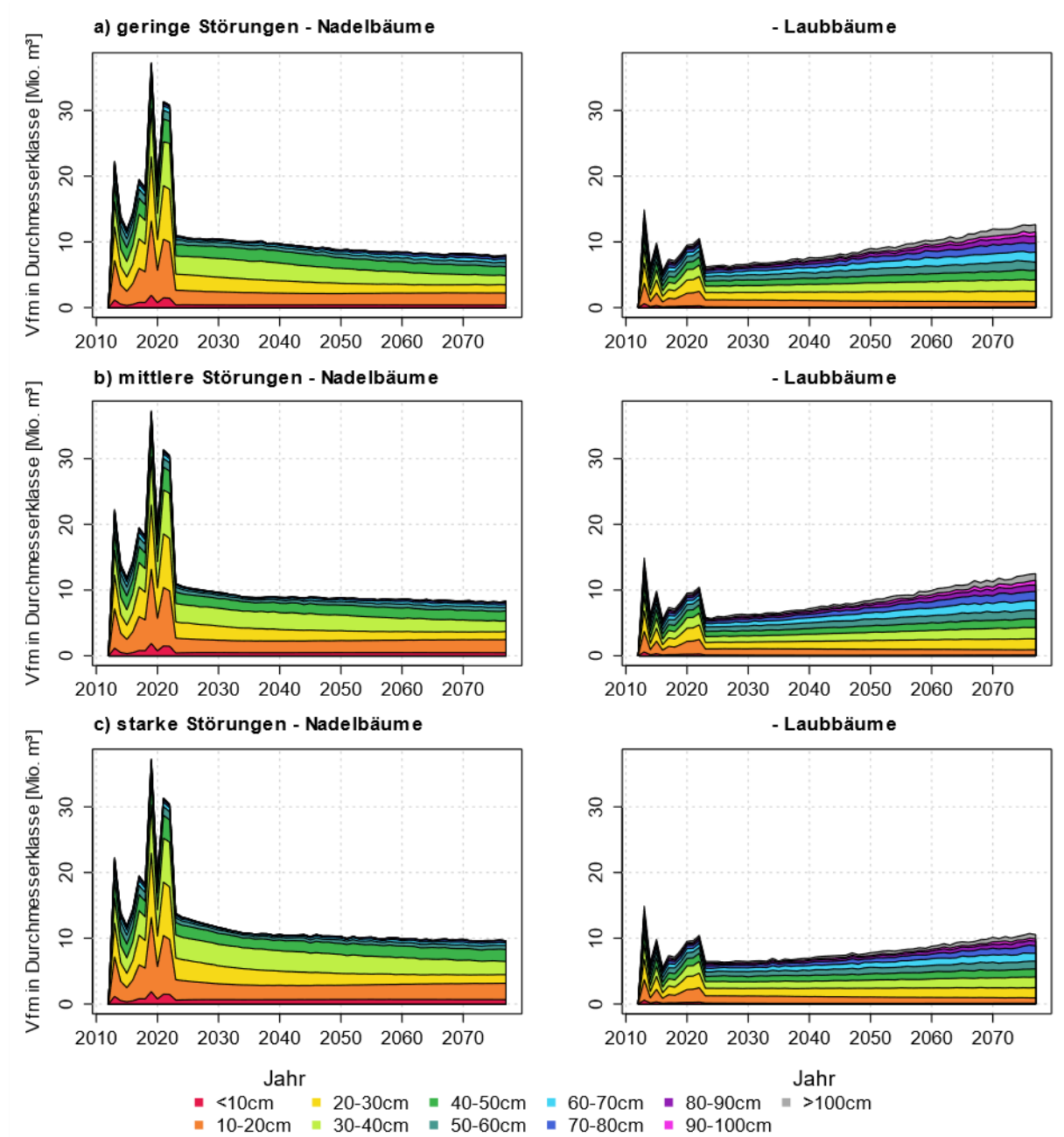
Quelle: Pfeiffer et al. (2023)¹

Abbildung 10: Bestandsstruktur als Derbholzvorrat (Vorratsfestmeter) von Laub- und Nadelbäumen für lebende Bäume nach Durchmesserklassen in REF



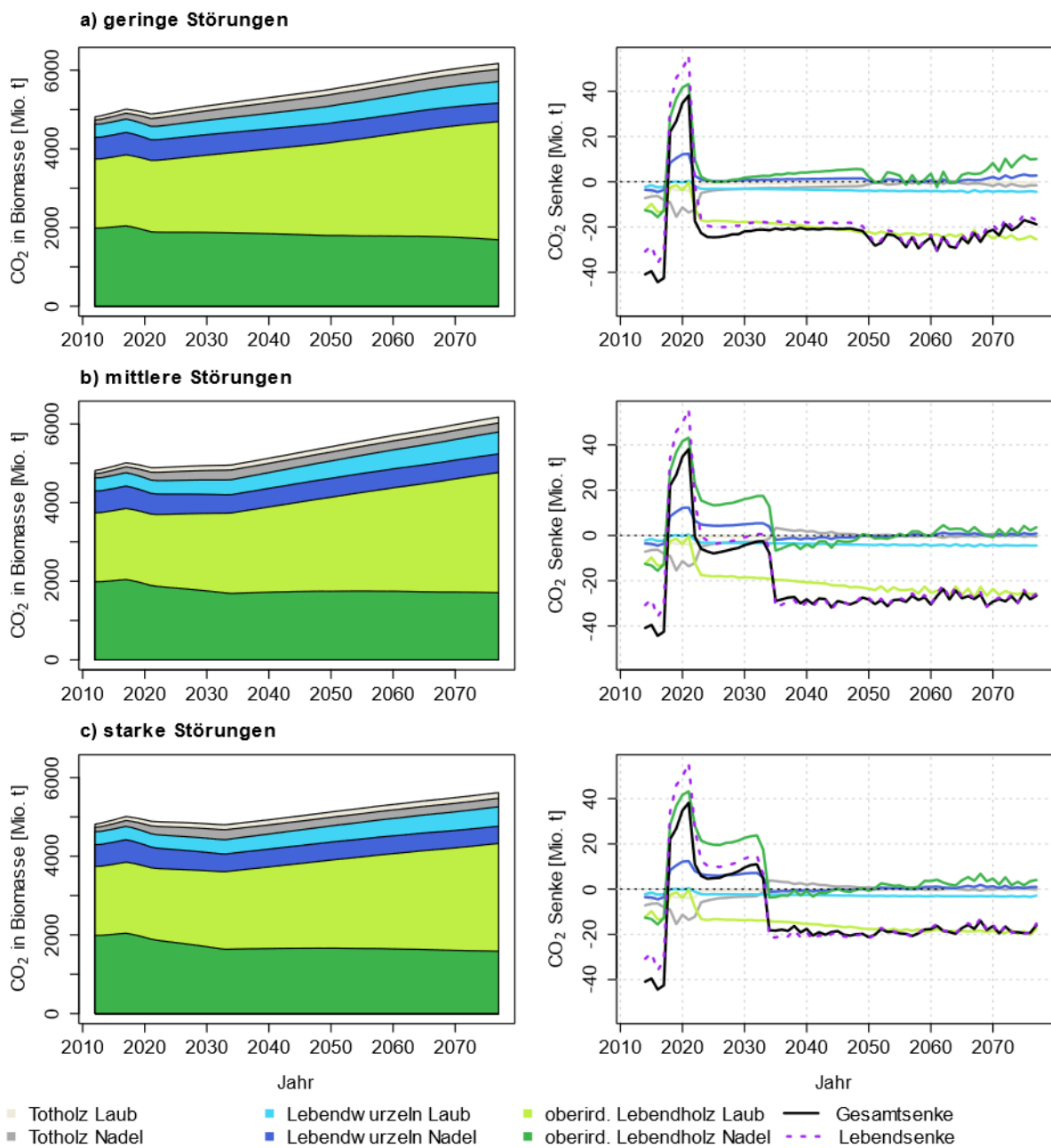
Quelle: Pfeiffer et al. (2023)¹

Abbildung 11: Abgestorbenes Derbholzvolumen (Vorratsfestmeter) von Laub- und Nadelbäumen nach Durchmesserklassen in REF



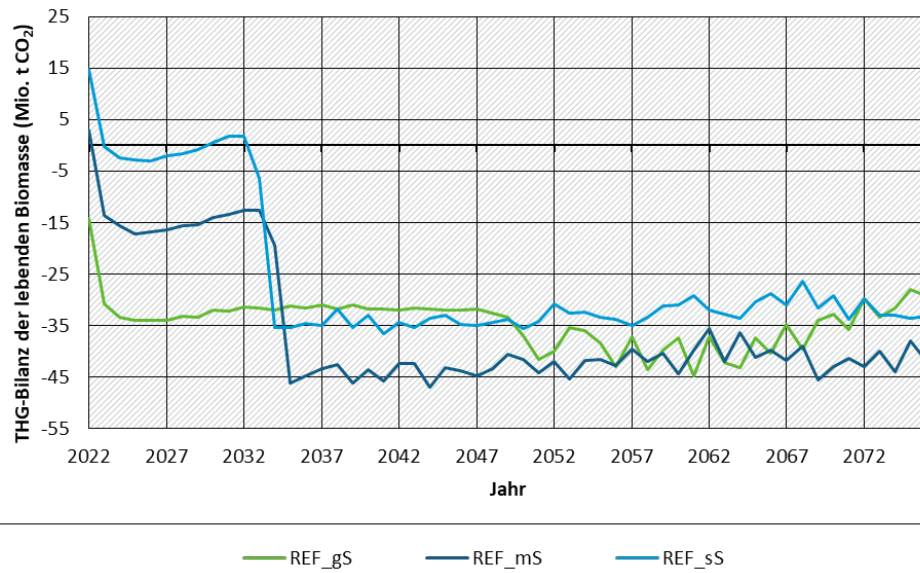
Quelle: Pfeiffer et al. (2023)¹

Abbildung 12: In Waldbiomasse gespeichertes CO₂ und jährliche Senkenleistung in REF



Quelle: Pfeiffer et al. (2023)¹

Abbildung 13: THG-Bilanz der lebenden Biomasse im Wald in REF für die Sensitivitäten geringe, mittlere und starke Störungen



Quelle: Pfeiffer et al. (2023)¹

B.2 Intensivierte Holzenergieverwendung (HE-int)

B.2.1 Holzentnahme in HE-int

Tabelle 4: Nachfrage nach Waldbiomasse in HE-int in Mio. m³_{swe} (Übergabedaten von TRAW an FABio-Forest)

Jahr	Nadelholz				Laubholz			
	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz	Rinde	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz	Rinde
2022	42,728	17,146	5,125	1,907	3,013	11,472	1,240	0,461
2023	42,178	16,678	5,155	1,906	3,061	11,379	1,265	0,468
2024	41,891	16,291	5,194	1,905	3,110	11,332	1,289	0,473
2025	41,292	16,041	5,273	1,925	3,177	11,557	1,355	0,495
2026	41,347	16,136	5,324	1,928	3,234	11,632	1,377	0,499
2027	41,631	16,118	5,378	1,936	3,250	11,583	1,381	0,497
2028	41,781	16,172	5,425	1,943	3,266	11,569	1,389	0,497
2029	42,087	16,284	5,474	1,951	3,286	11,560	1,392	0,496
2030	42,374	16,386	5,512	1,956	3,326	11,564	1,397	0,496
2031	42,453	16,509	5,495	1,934	3,360	11,579	1,392	0,490
2032	42,631	16,548	5,481	1,920	3,382	11,562	1,384	0,485
2033	42,774	16,559	5,416	1,884	3,412	11,524	1,363	0,474
2034	42,958	16,546	5,334	1,843	3,442	11,457	1,335	0,462
2035	43,129	16,505	5,263	1,812	3,475	11,374	1,311	0,451
2036	43,266	16,425	5,175	1,776	3,511	11,274	1,282	0,440
2037	43,468	16,362	5,095	1,750	3,545	11,159	1,252	0,430
2038	43,658	16,300	5,032	1,737	3,582	11,057	1,229	0,424
2039	43,819	16,206	4,956	1,720	3,620	10,923	1,201	0,417
2040	43,987	16,091	4,867	1,700	3,663	10,783	1,170	0,409
2041	44,142	16,011	4,796	1,681	3,699	10,669	1,146	0,402
2042	44,302	15,918	4,719	1,663	3,725	10,544	1,118	0,394
2043	44,429	15,826	4,641	1,644	3,758	10,417	1,092	0,387
2044	44,627	15,746	4,564	1,625	3,791	10,291	1,065	0,379
2045	44,785	15,651	4,486	1,606	3,824	10,163	1,038	0,372
2046	44,908	15,558	4,407	1,587	3,858	10,035	1,013	0,365
2047	45,076	15,464	4,328	1,568	3,889	9,907	0,986	0,357

Jahr	Nadelholz				Laubholz			
	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz	Rinde	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz	Rinde
2048	45,230	15,368	4,249	1,548	3,922	9,778	0,961	0,350
2049	45,373	15,294	4,169	1,529	3,959	9,653	0,935	0,343
2050	45,515	15,173	4,089	1,509	3,997	9,518	0,911	0,336
ab 2051	45,515	15,173	4,089	1,509	3,997	9,518	0,911	0,336

Quelle: Eigene Darstellung, INFRO.

Tabelle 5: Angestrebte Holzentnahme in HE-int in Mio. m³ (mit Rinde)

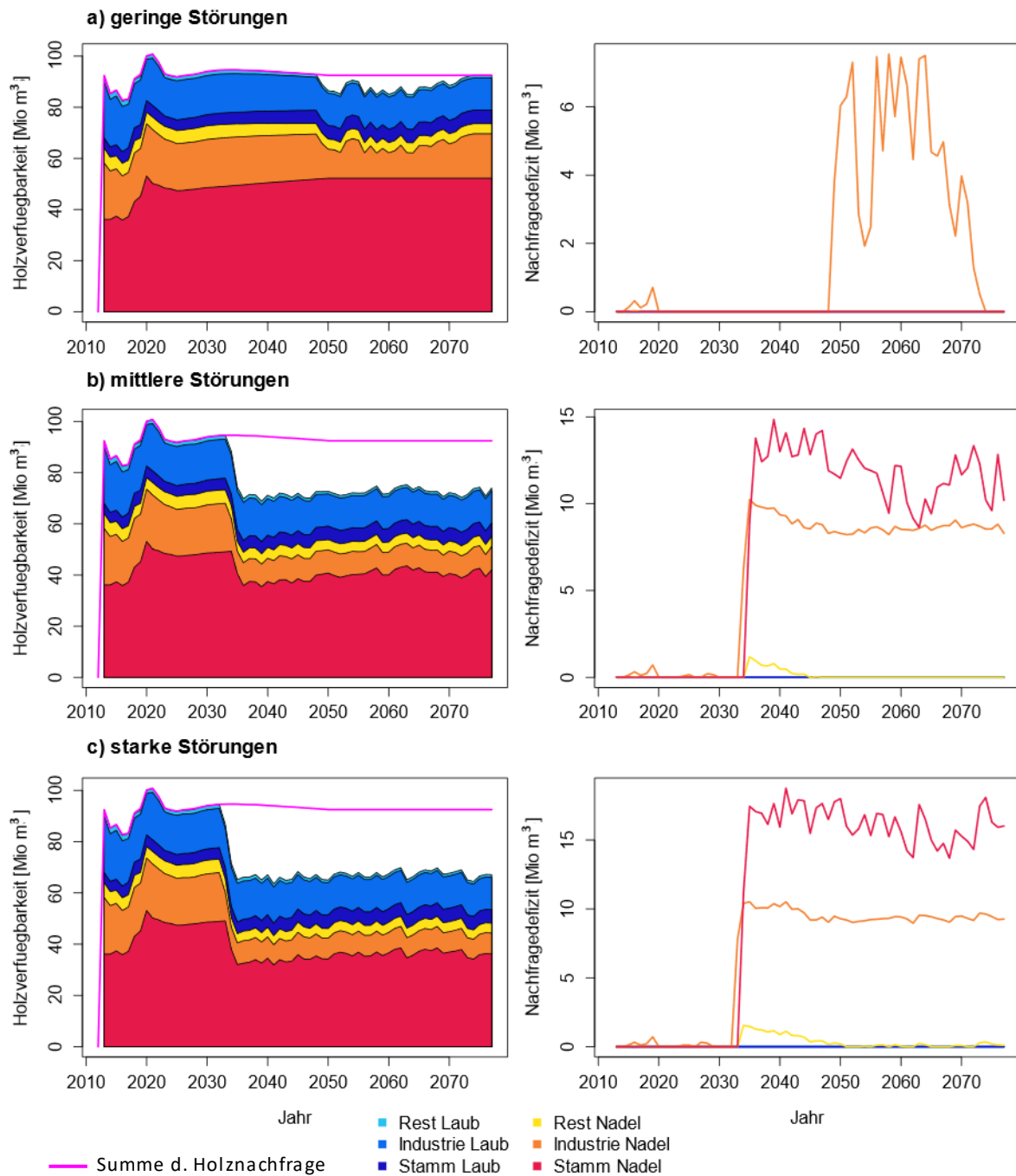
Jahr	Nadelholz			Laubholz		
	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz
2022	49,484	19,857	4,822	4,547	17,315	1,544
2023	48,391	19,135	4,988	4,047	15,047	1,432
2024	48,062	18,691	5,024	4,112	14,984	1,459
2025	47,375	18,404	5,096	4,202	15,283	1,533
2026	47,437	18,513	5,144	4,276	15,382	1,557
2027	47,763	18,493	5,197	4,298	15,316	1,562
2028	47,935	18,554	5,243	4,319	15,299	1,571
2029	48,286	18,682	5,291	4,345	15,287	1,575
2030	48,615	18,800	5,329	4,398	15,292	1,580
2031	48,706	18,941	5,312	4,443	15,311	1,575
2032	48,910	18,985	5,299	4,472	15,289	1,566
2033	49,074	18,998	5,237	4,512	15,239	1,543
2034	49,286	18,983	5,158	4,551	15,150	1,511
2035	49,482	18,936	5,091	4,595	15,040	1,483
2036	49,639	18,844	5,005	4,643	14,908	1,451
2037	49,871	18,773	4,930	4,688	14,756	1,418
2038	50,089	18,701	4,869	4,737	14,621	1,391
2039	50,273	18,593	4,796	4,786	14,444	1,360
2040	50,466	18,461	4,711	4,844	14,259	1,326
2041	50,645	18,370	4,644	4,891	14,109	1,298
2042	50,827	18,263	4,570	4,926	13,943	1,267

Jahr	Nadelholz			Laubholz		
	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz
2043	50,974	18,157	4,496	4,970	13,775	1,238
2044	51,200	18,066	4,422	5,013	13,609	1,207
2045	51,382	17,956	4,347	5,057	13,440	1,177
2046	51,523	17,850	4,271	5,102	13,270	1,148
2047	51,716	17,741	4,196	5,143	13,101	1,119
2048	51,892	17,632	4,120	5,186	12,931	1,090
2049	52,056	17,547	4,043	5,235	12,764	1,062
2050	52,219	17,408	3,966	5,286	12,587	1,034
ab 2051	52,219	17,408	3,966	5,286	12,587	1,034

Quelle: Eigene Darstellung, INFRO, Öko-Institut. Die Entnahme von Rinde erfolgt in Verbindung mit der Entnahme von Derbholz.

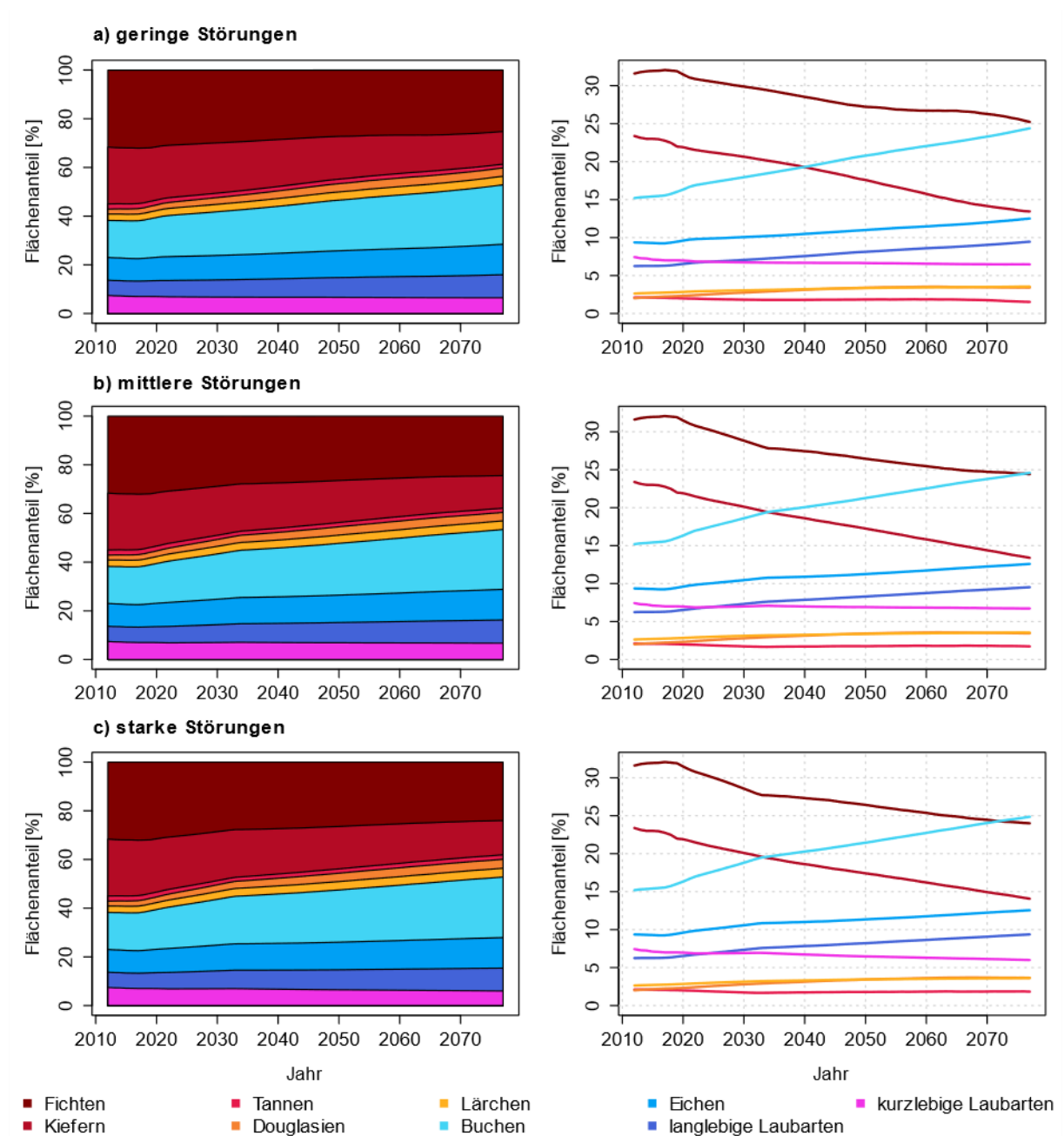
B.2.2 Abbildungen für HE-int

Abbildung 14: Simulierte Derbholzentnahme und offenbleibende Nachfrage in HE-int



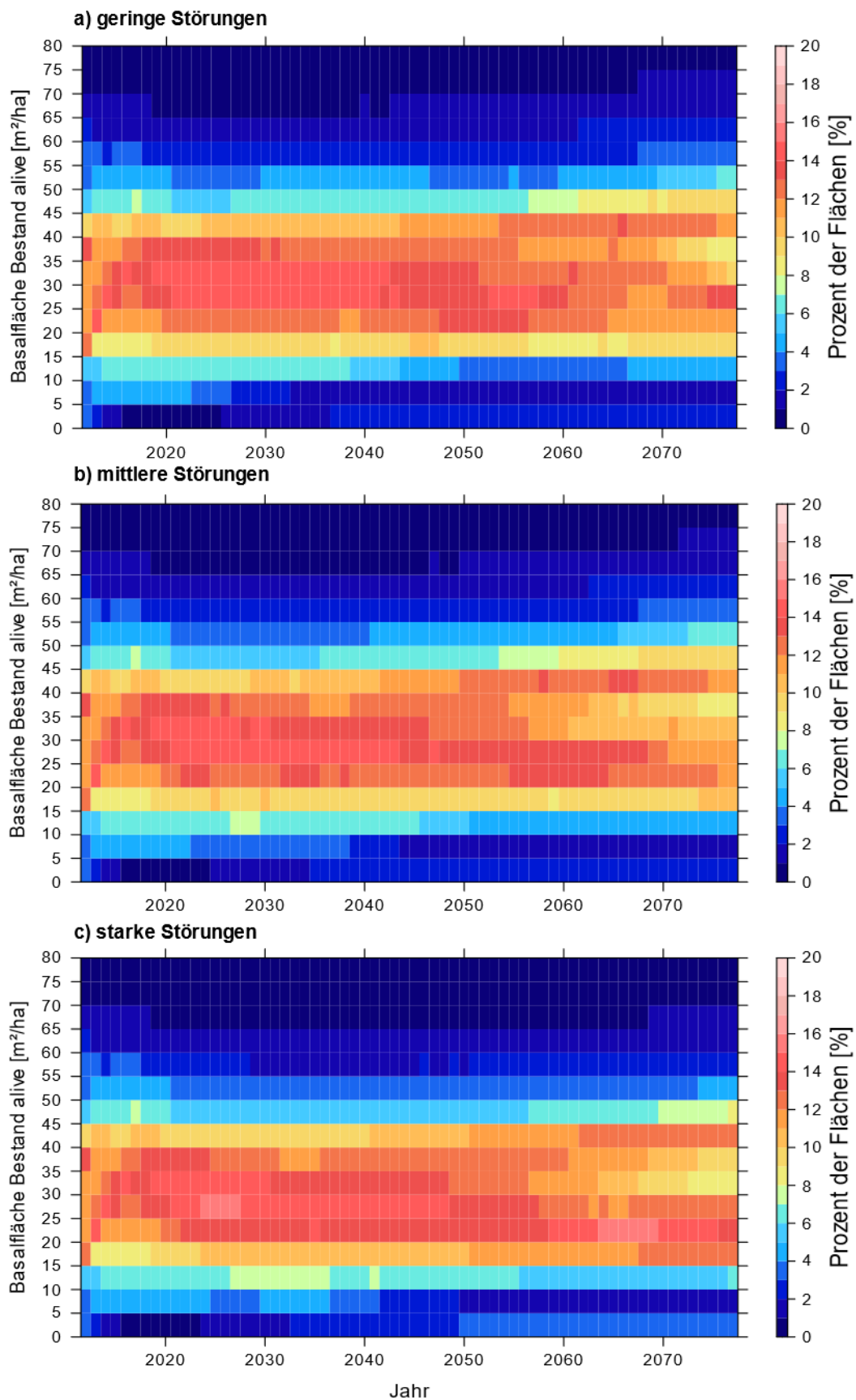
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut. Die magentafarbene Linie in den kumulativen Teilabbildungen zeigt die Höhe der Gesamtnachfrage.

Abbildung 15: Flächenanteil der Baumartengruppen basierend auf der Basalfläche in HE-int für die Sensitivitäten geringe, mittlere und starke Störungen von 2013 bis 2076



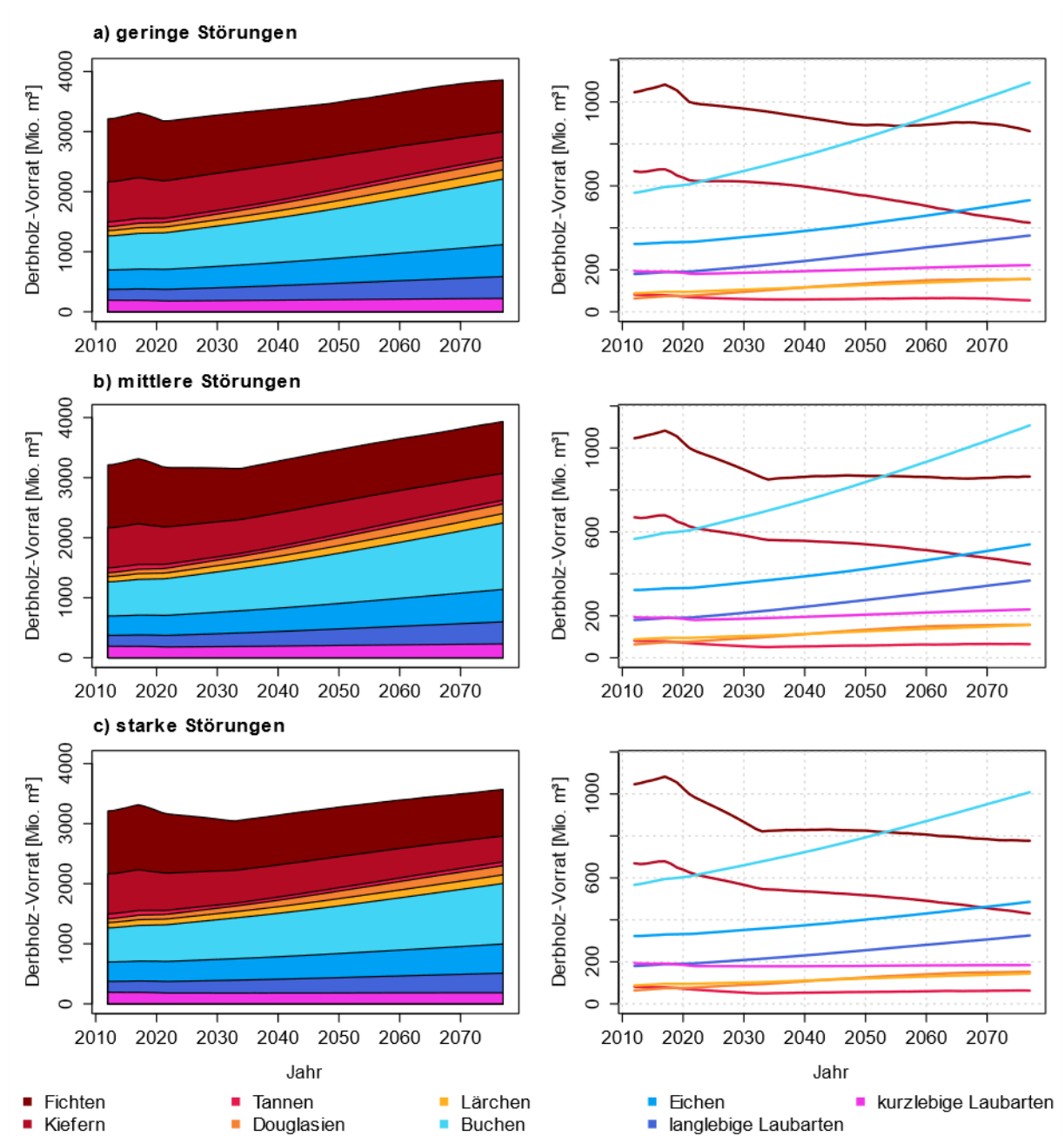
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 16: Zeitliche Entwicklung der Bestandsbasalflächen nach Häufigkeit in HE-int



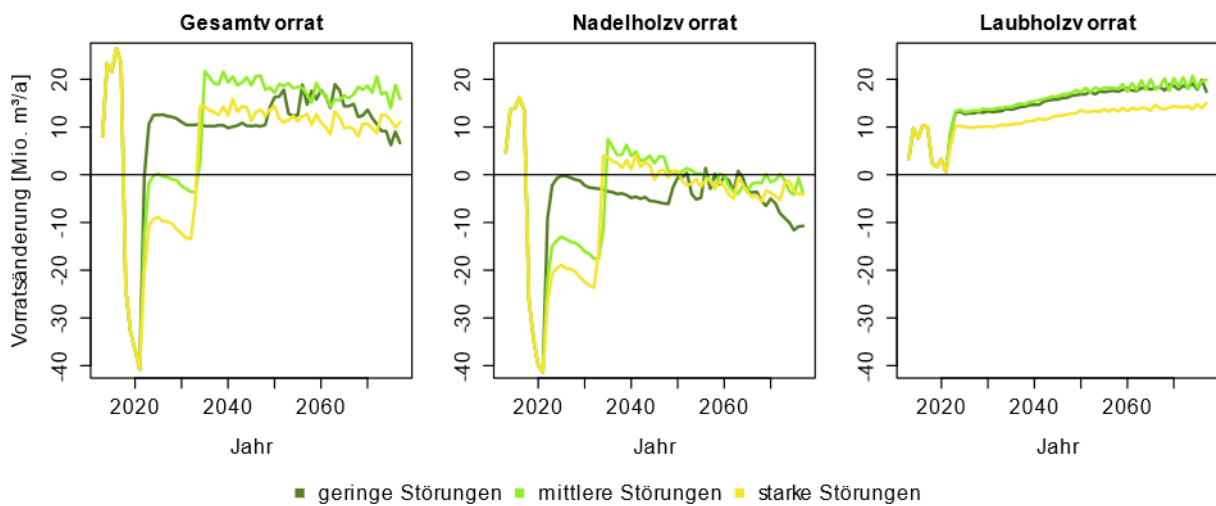
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 17: Derbholzvorrat in lebender Biomasse nach Baumartengruppen in HE-int



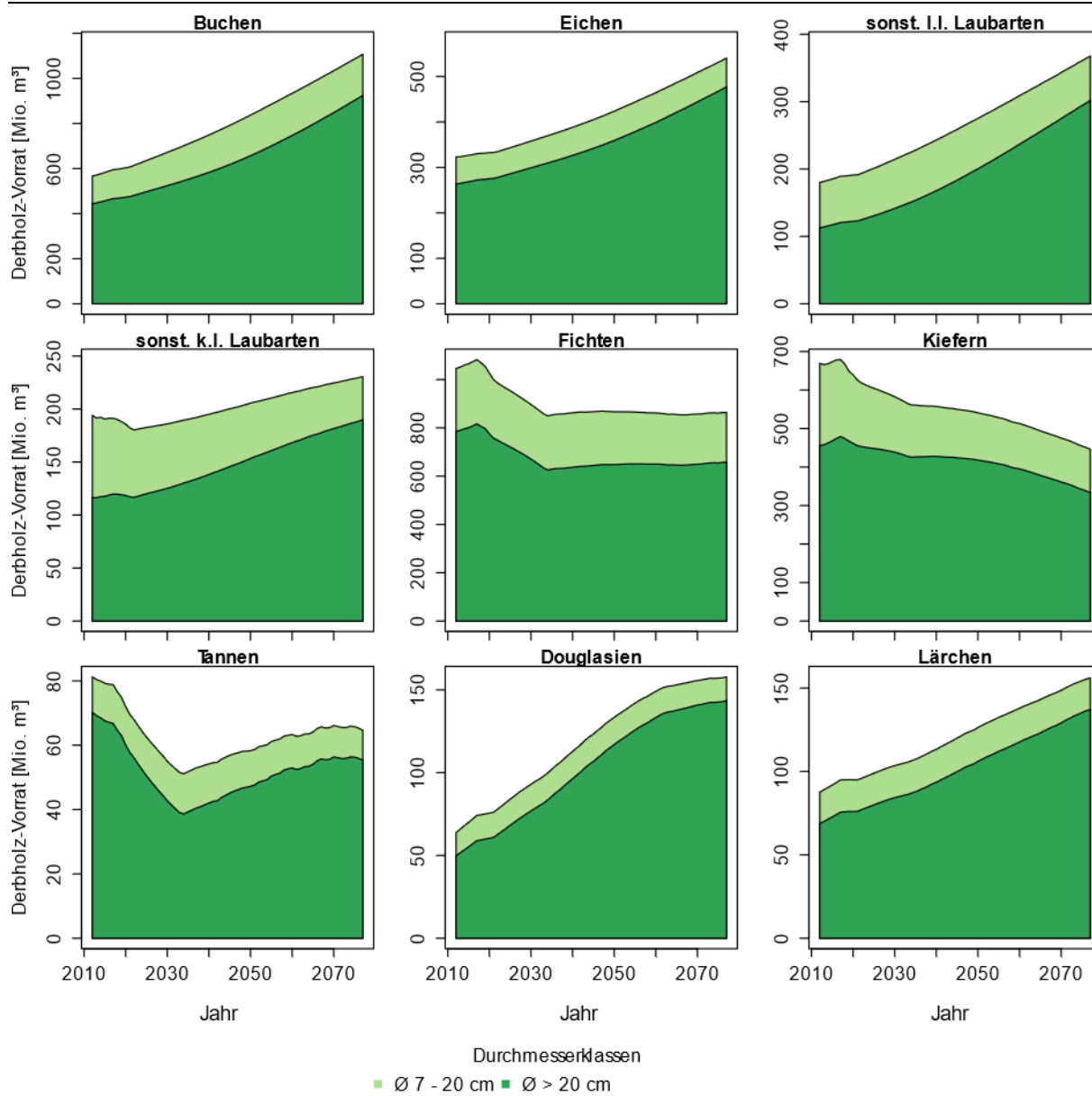
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 18: Veränderungen des Derbholzvorrats in lebender Biomasse in HE-int im Vergleich der Sensitivitäten geringe, mittlere und starke Störungen



Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

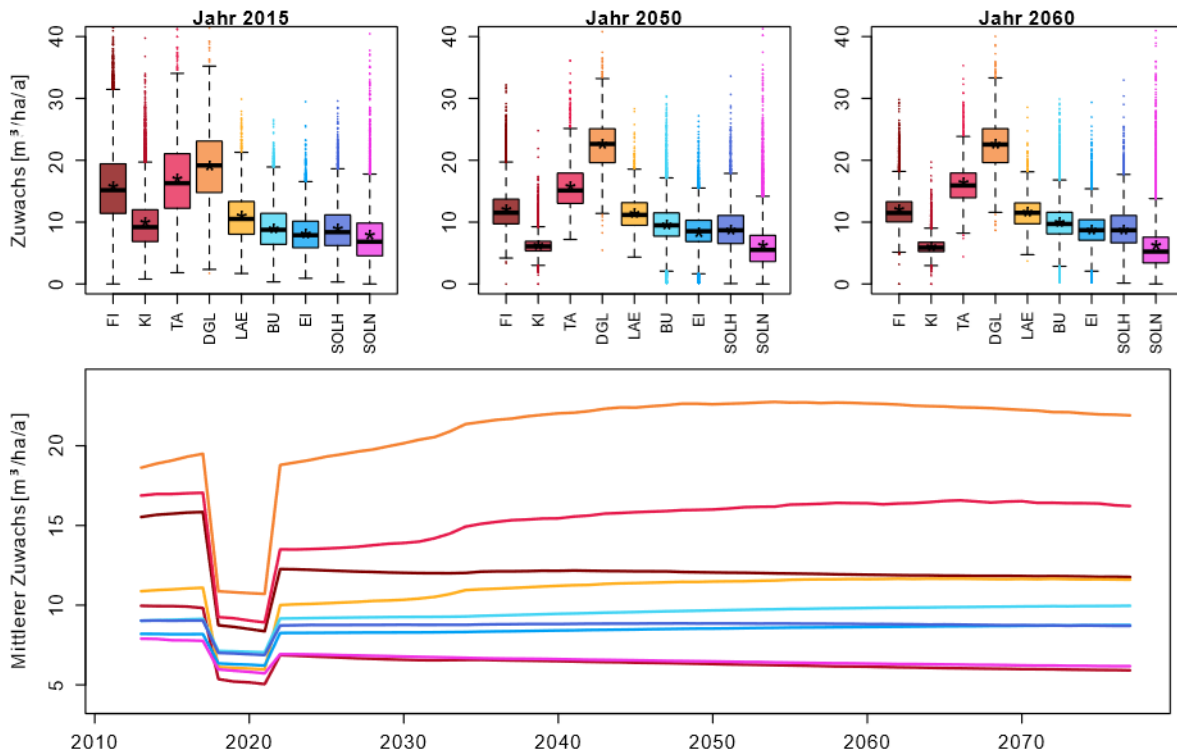
Abbildung 19: Derbholzvorrat ohne Rinde für Industrie- und Stammholz in HE-int (beispielhaft für mittlere Störungen)



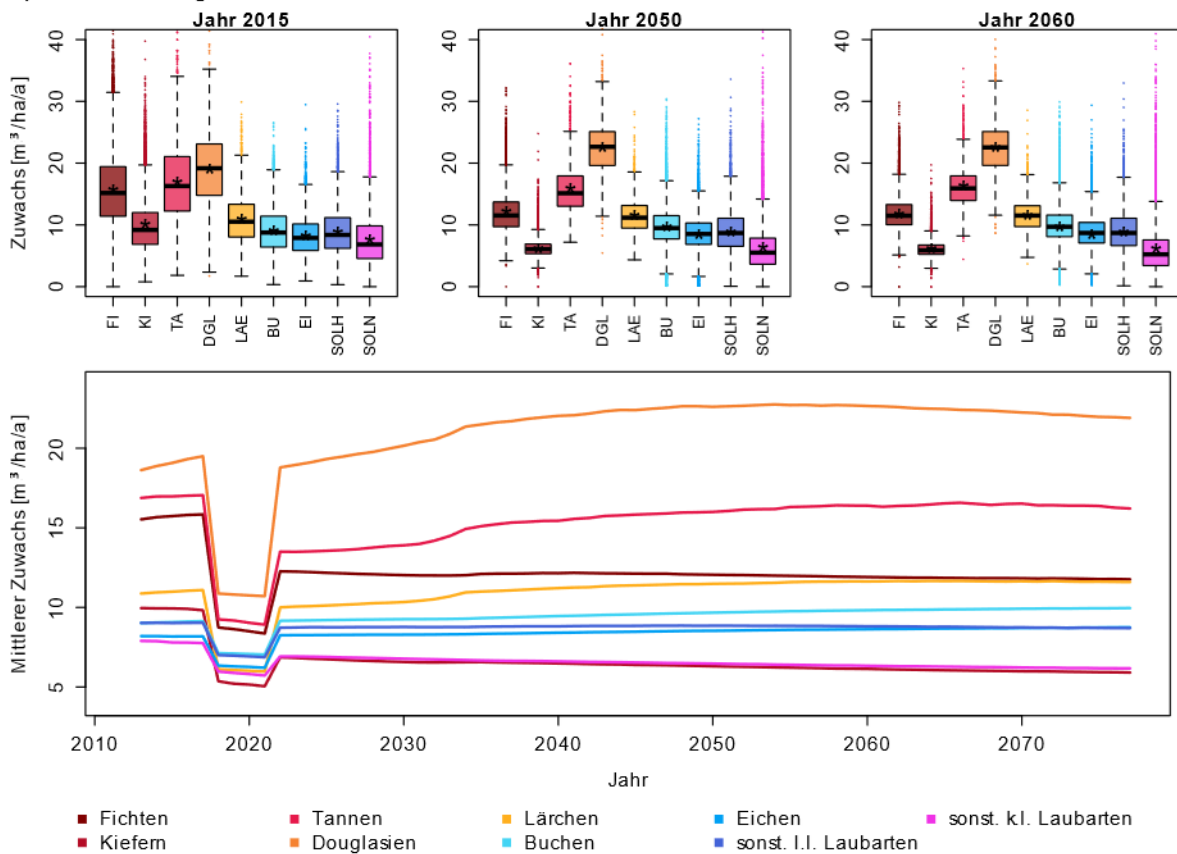
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 20: Hektarspezifischer Zuwachs nach Baumartengruppen in HE-int

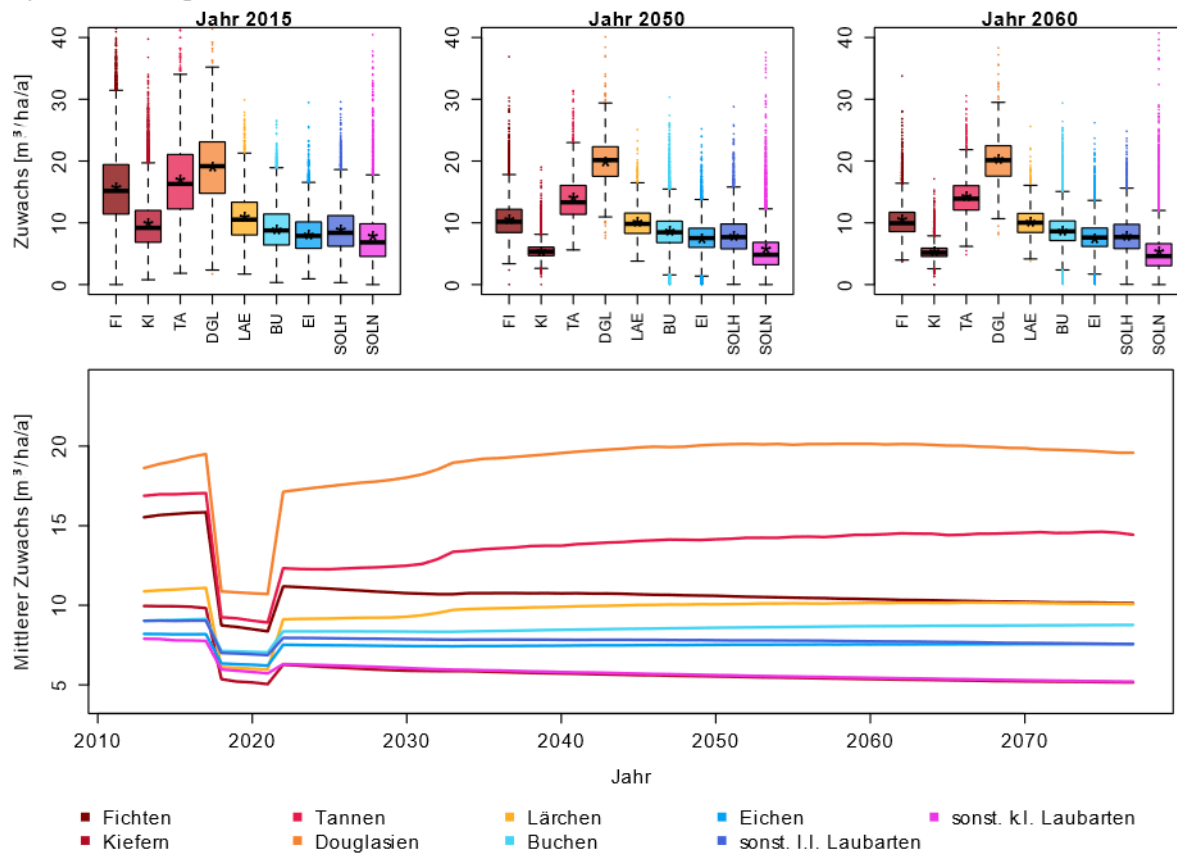
a) geringe Störungen



b) mittlere Störungen

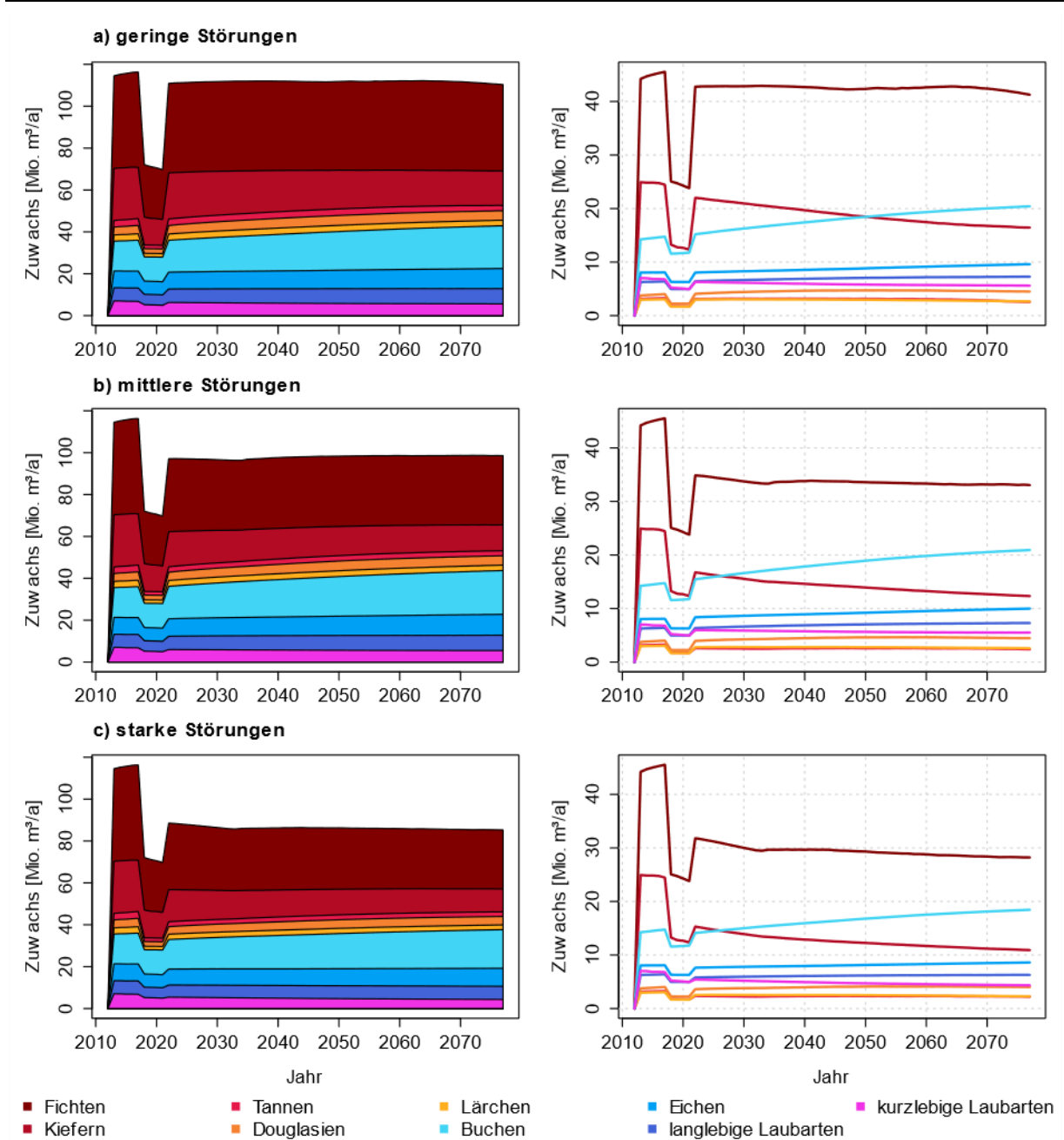


c) starke Störungen



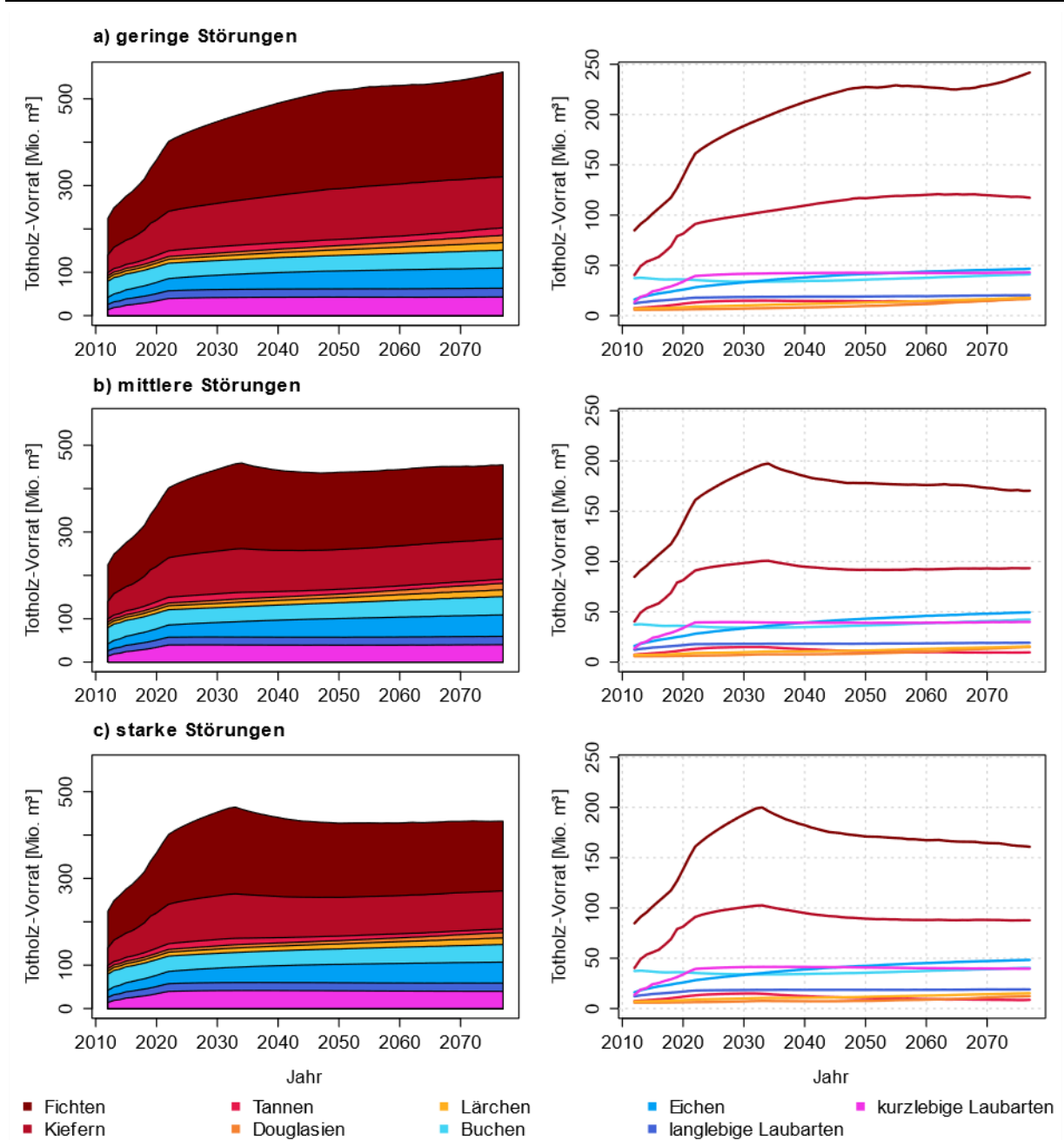
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 21: Deutschlandweiter Derbholzzuwachs nach Baumartengruppen in HE-int



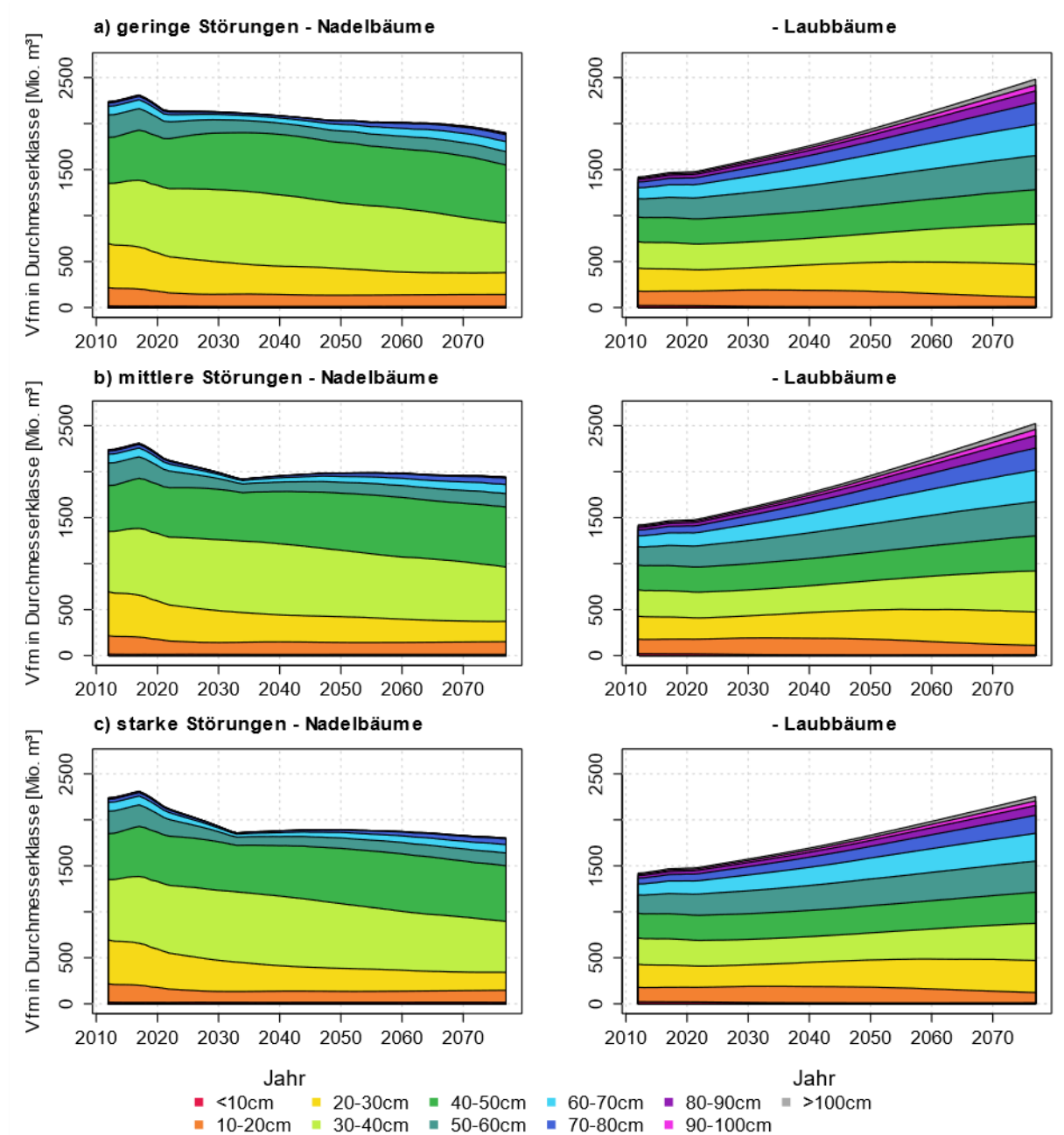
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 22: Totholz-vorrat nach Baumartengruppen in HE-int



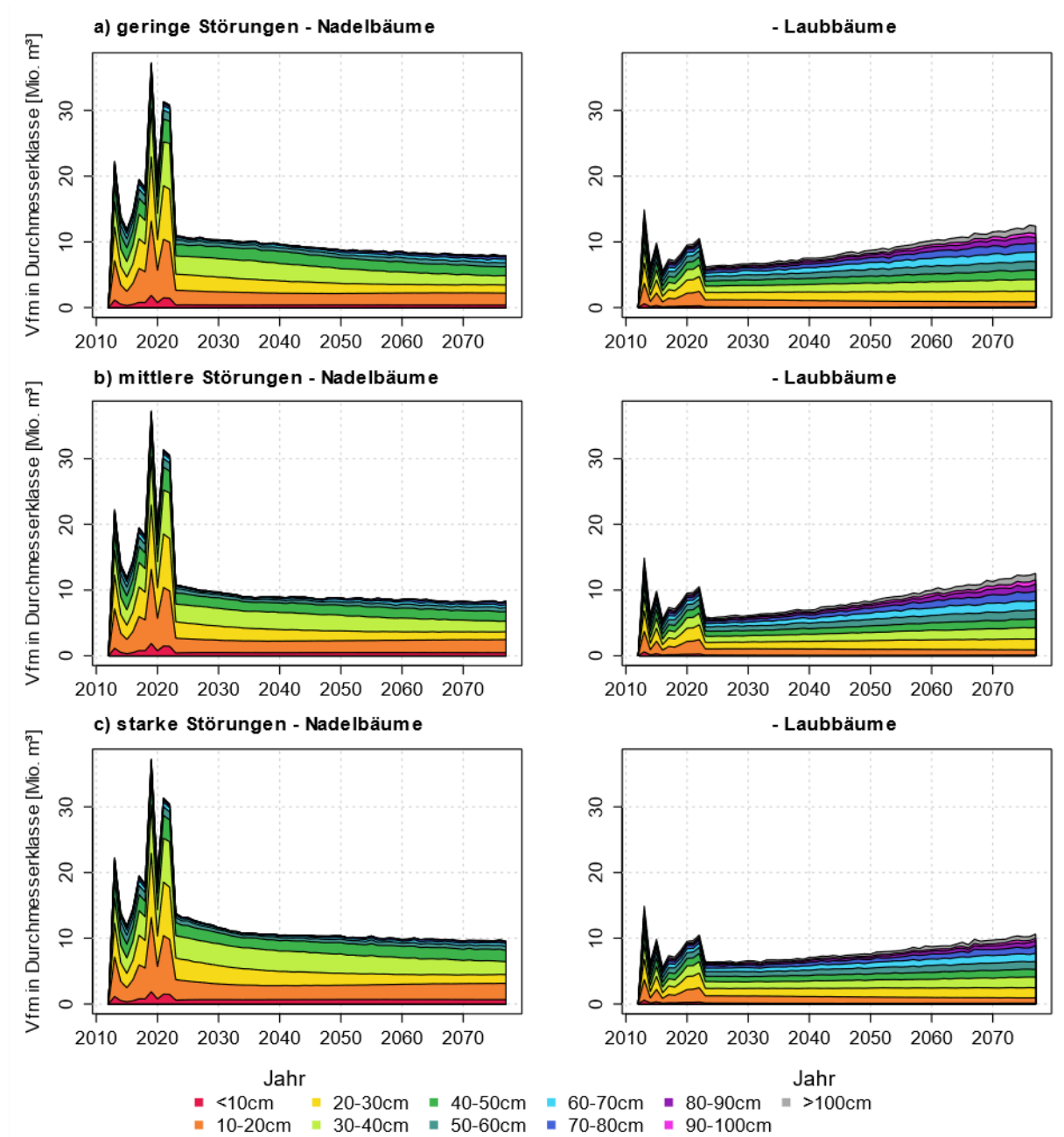
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 23: Bestandsstruktur als Derbholzvorrat (Vorratsfestmeter) von Laub- und Nadelbäumen für lebende Bäume nach Durchmesserklassen in HE-int



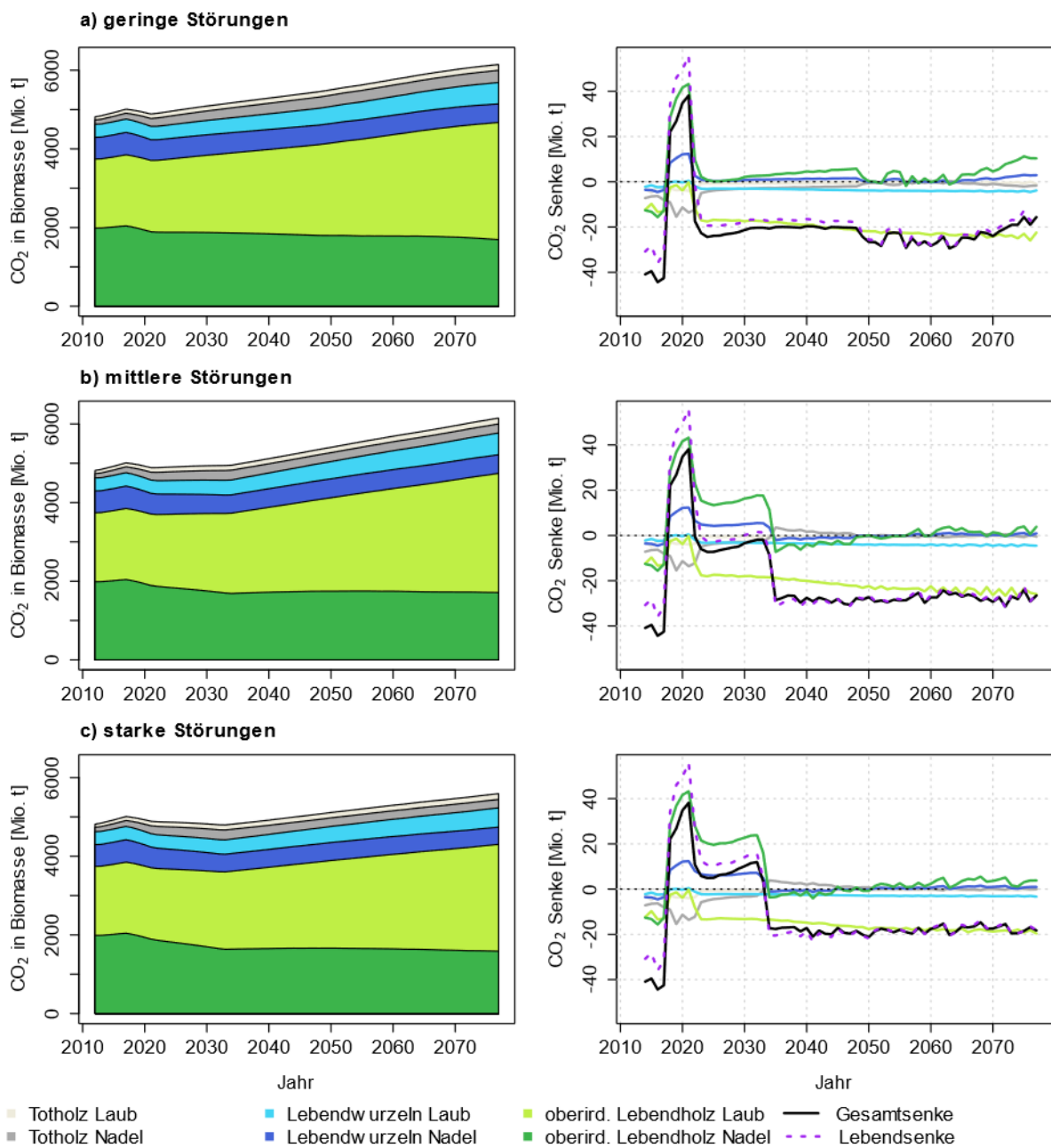
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 24: Abgestorbenes Derbholzvolumen (Vorratsfestmeter) von Laub- und Nadelbäumen nach Durchmesserklassen in HE-int



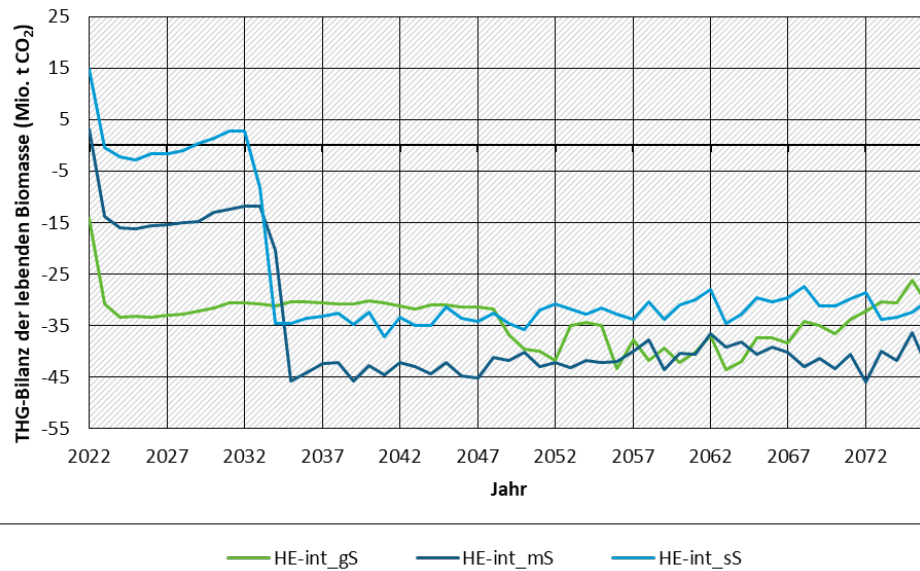
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 25: In Waldbiomasse gespeichertes CO₂ und jährliche Senkenleistung in HE-int



Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 26: THG-Bilanz der lebenden Biomasse im Wald in HE-int für die Sensitivitäten geringe, mittlere und starke Störungen



Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

B.3 Reduzierte Holzenergieverwendung (HE-red)

B.3.1 Holzentnahme in HE-red

Tabelle 6: Nachfrage nach Waldbiomasse in HE-red in Mio. m³_{swe} (Übergabedaten von TRAW an FABio-Forest)

Jahr	Nadelholz				Laubholz			
	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz	Rinde	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz	Rinde
2022	42,728	17,072	5,057	1,890	3,013	11,365	1,216	0,454
2023	42,178	16,565	5,042	1,880	3,061	11,214	1,225	0,457
2024	41,891	16,136	5,036	1,870	3,110	11,108	1,234	0,458
2025	41,292	15,706	5,045	1,859	3,177	11,056	1,260	0,464
2026	41,347	15,764	5,070	1,854	3,234	11,075	1,270	0,464
2027	41,631	15,712	5,101	1,853	3,250	10,972	1,265	0,460
2028	41,781	15,732	5,130	1,853	3,266	10,907	1,264	0,457
2029	42,087	15,811	5,163	1,854	3,286	10,849	1,260	0,453
2030	42,374	15,879	5,178	1,852	3,326	10,799	1,255	0,449
2031	42,453	15,995	5,174	1,833	3,360	10,801	1,254	0,444
2032	42,631	16,030	5,181	1,821	3,382	10,776	1,250	0,439
2033	42,774	16,041	5,145	1,791	3,412	10,733	1,237	0,431
2034	42,958	16,027	5,091	1,758	3,442	10,661	1,217	0,420
2035	43,129	15,980	5,028	1,729	3,475	10,566	1,194	0,411
2036	43,266	15,901	4,962	1,699	3,511	10,465	1,172	0,401
2037	43,468	15,842	4,907	1,676	3,545	10,352	1,150	0,393
2038	43,658	15,784	4,867	1,663	3,582	10,252	1,133	0,387
2039	43,819	15,697	4,817	1,647	3,620	10,124	1,112	0,380
2040	43,987	15,590	4,759	1,630	3,663	9,992	1,091	0,374
2041	44,142	15,527	4,715	1,614	3,699	9,899	1,074	0,368
2042	44,302	15,451	4,668	1,599	3,725	9,796	1,056	0,362
2043	44,429	15,376	4,620	1,584	3,758	9,692	1,039	0,356
2044	44,627	15,314	4,573	1,569	3,791	9,589	1,021	0,350
2045	44,785	15,236	4,525	1,553	3,824	9,483	1,003	0,344
2046	44,908	15,162	4,476	1,537	3,858	9,378	0,986	0,339
2047	45,076	15,085	4,428	1,521	3,889	9,273	0,969	0,333

Jahr	Nadelholz				Laubholz			
	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz	Rinde	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz	Rinde
2048	45,230	15,007	4,379	1,506	3,922	9,167	0,952	0,327
2049	45,373	14,950	4,330	1,490	3,959	9,064	0,935	0,322
2050	45,515	14,847	4,281	1,473	3,997	8,952	0,918	0,316
ab 2051	45,515	14,847	4,281	1,473	3,997	8,952	0,918	0,316

Quelle: Eigene Darstellung, INFRO.

Tabelle 7: Angestrebte Holzentnahme in HE-red in Mio. m³ (mit Rinde)

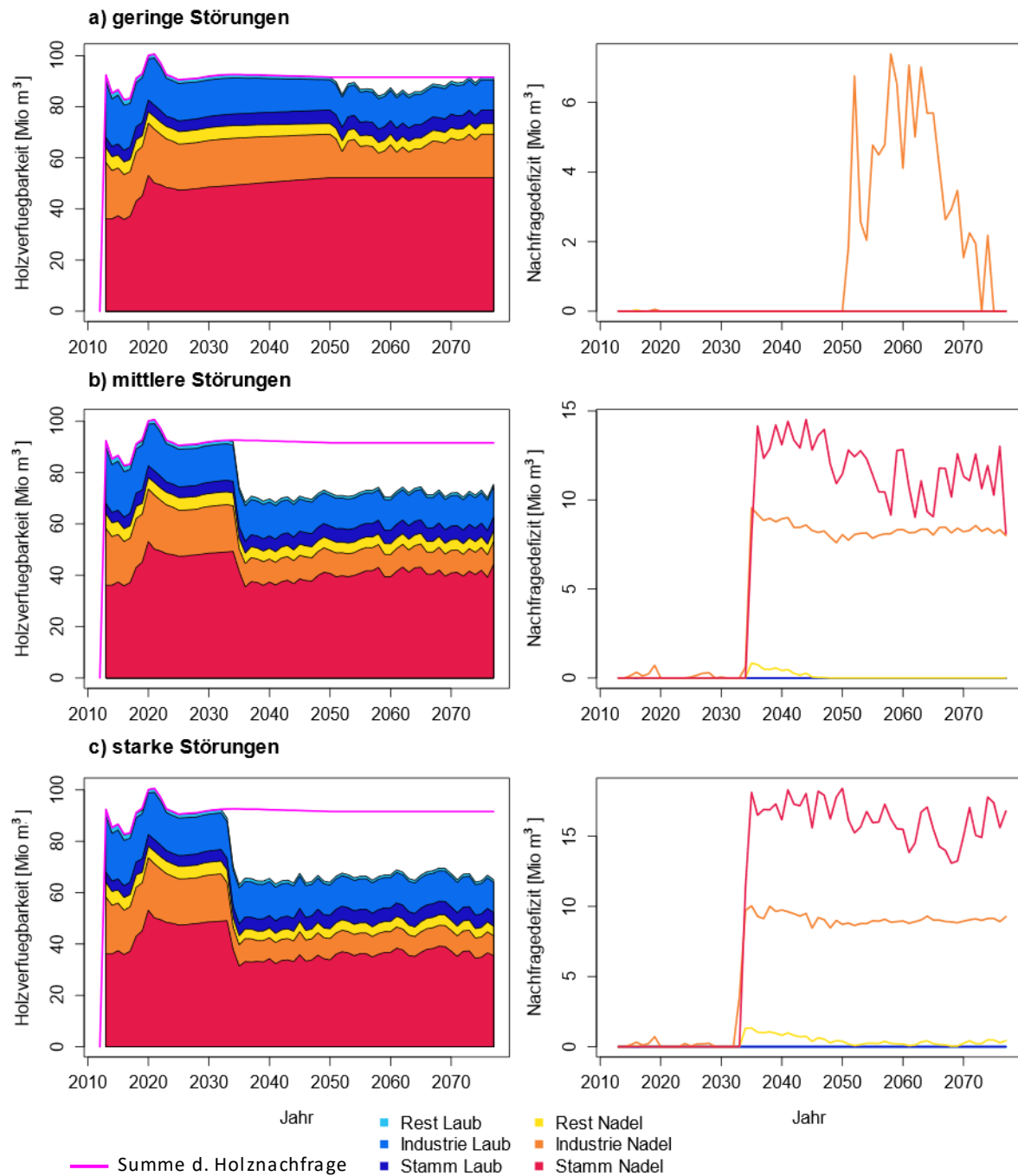
Jahr	Nadelholz			Laubholz		
	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz
2022	49,484	19,772	4,759	4,547	17,154	1,514
2023	48,391	19,004	4,880	4,047	14,829	1,388
2024	48,062	18,512	4,873	4,112	14,689	1,397
2025	47,375	18,020	4,879	4,202	14,619	1,426
2026	47,437	18,086	4,903	4,276	14,645	1,437
2027	47,763	18,026	4,934	4,298	14,509	1,432
2028	47,935	18,049	4,963	4,319	14,424	1,431
2029	48,286	18,140	4,996	4,345	14,347	1,427
2030	48,615	18,218	5,011	4,398	14,281	1,422
2031	48,706	18,351	5,008	4,443	14,283	1,420
2032	48,910	18,392	5,015	4,472	14,250	1,416
2033	49,074	18,404	4,981	4,512	14,193	1,402
2034	49,286	18,388	4,929	4,551	14,098	1,379
2035	49,482	18,333	4,869	4,595	13,972	1,353
2036	49,639	18,243	4,806	4,643	13,838	1,328
2037	49,871	18,176	4,753	4,688	13,690	1,303
2038	50,089	18,109	4,715	4,737	13,557	1,284
2039	50,273	18,009	4,667	4,786	13,388	1,261
2040	50,466	17,887	4,613	4,844	13,214	1,237
2041	50,645	17,814	4,571	4,891	13,090	1,219
2042	50,827	17,727	4,526	4,926	12,954	1,199

Jahr	Nadelholz			Laubholz		
	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz
2043	50,974	17,641	4,480	4,970	12,816	1,179
2044	51,200	17,570	4,435	5,013	12,679	1,159
2045	51,382	17,481	4,390	5,057	12,540	1,139
2046	51,523	17,395	4,343	5,102	12,401	1,120
2047	51,716	17,306	4,297	5,143	12,262	1,100
2048	51,892	17,217	4,250	5,186	12,121	1,081
2049	52,056	17,153	4,203	5,235	11,985	1,062
2050	52,219	17,034	4,156	5,286	11,838	1,043
ab 2051	52,219	17,034	4,156	5,286	11,838	1,043

Quelle: Eigene Darstellung, INFRO, Öko-Institut. Die Entnahme von Rinde erfolgt in Verbindung mit der Entnahme von Derbholz.

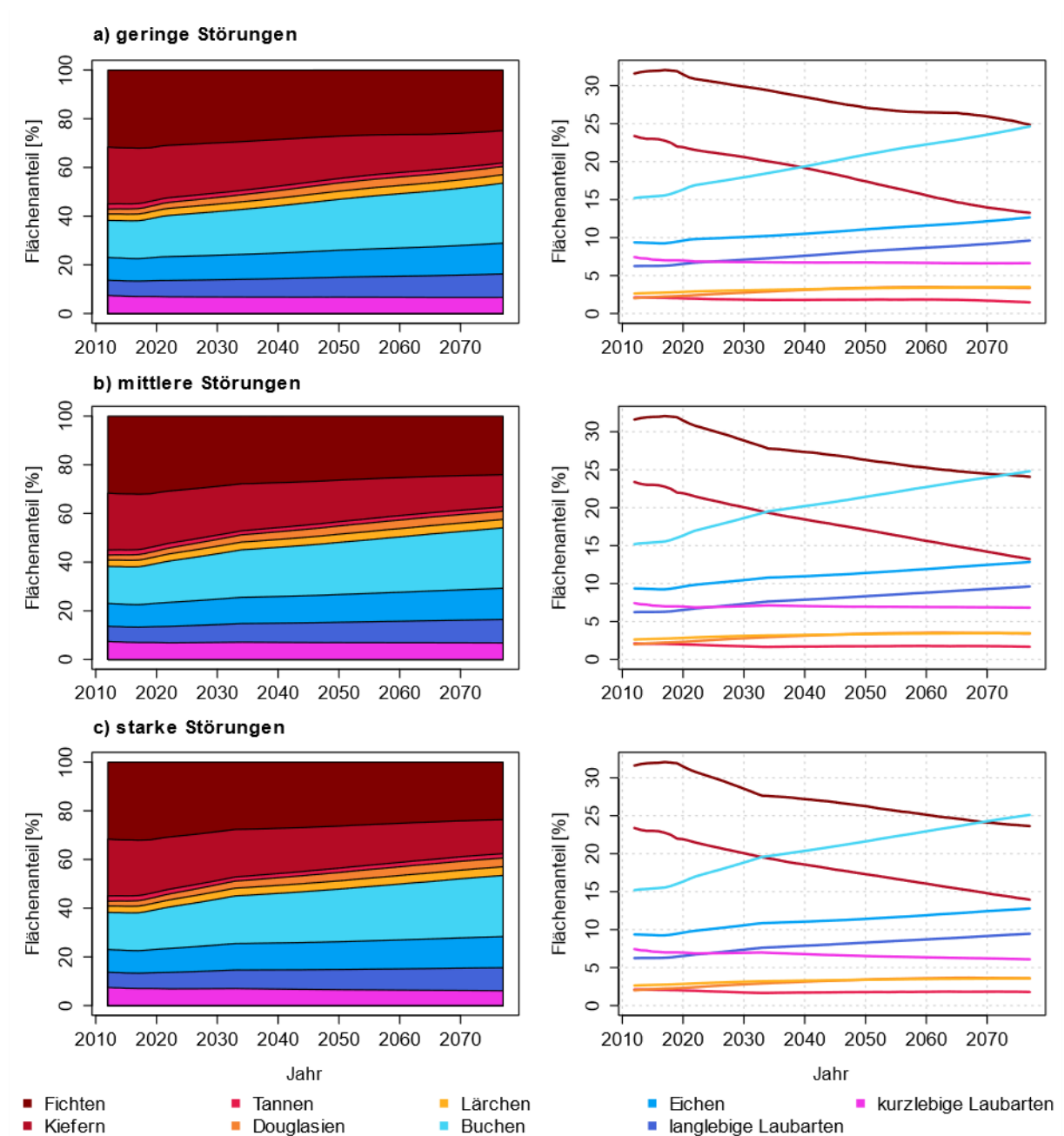
B.3.2 Abbildungen für HE-red

Abbildung 27: Simulierte Derbolholzentnahme und offenbleibende Nachfrage in HE-red



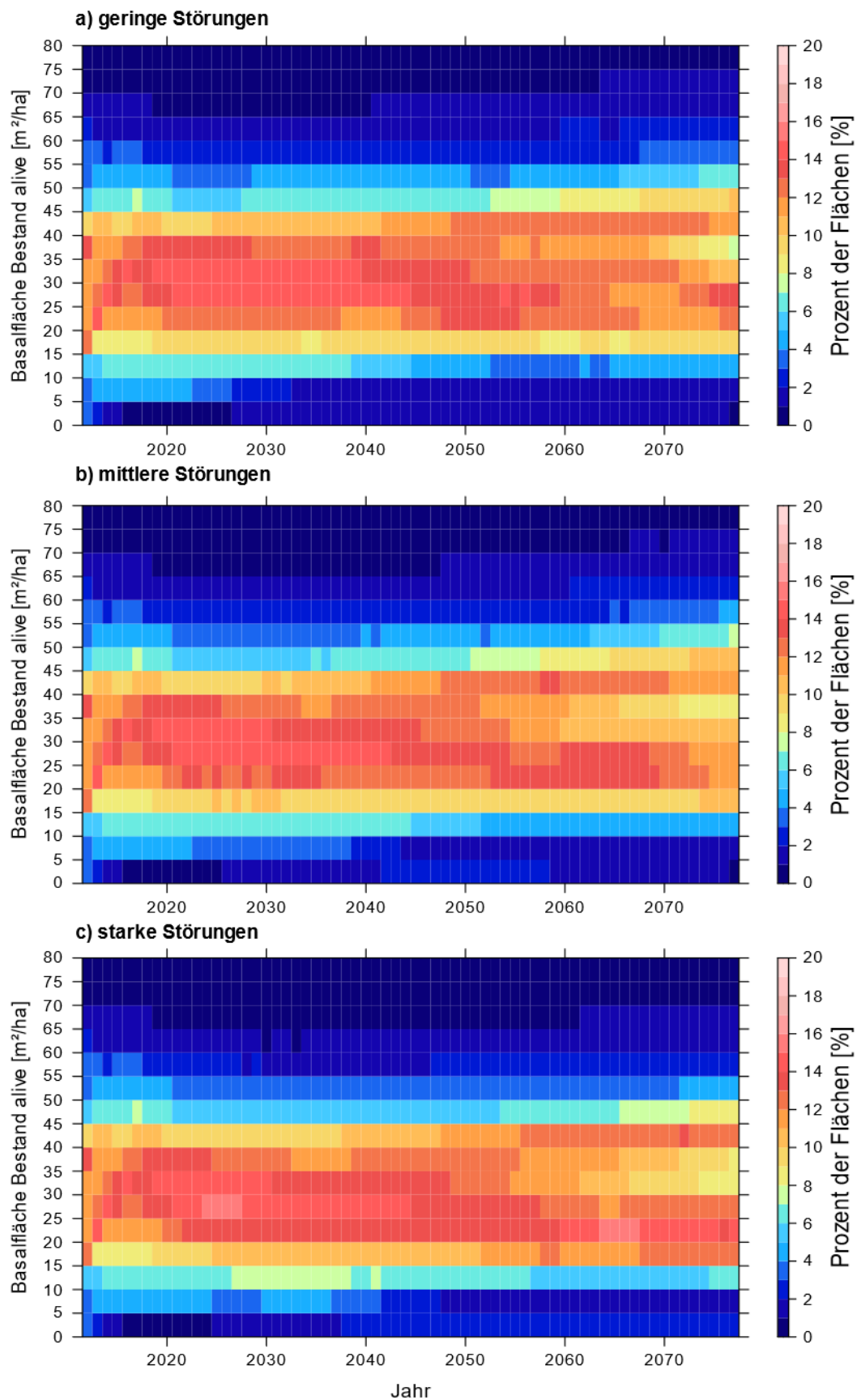
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut. Die magentafarbene Linie in den kumulativen Teilabbildungen zeigt die Höhe der Gesamtnachfrage.

Abbildung 28: Flächenanteil der Baumartengruppen basierend auf der Basalfläche in HE-red für die Sensitivitäten geringe, mittlere und starke Störungen von 2013 bis 2076



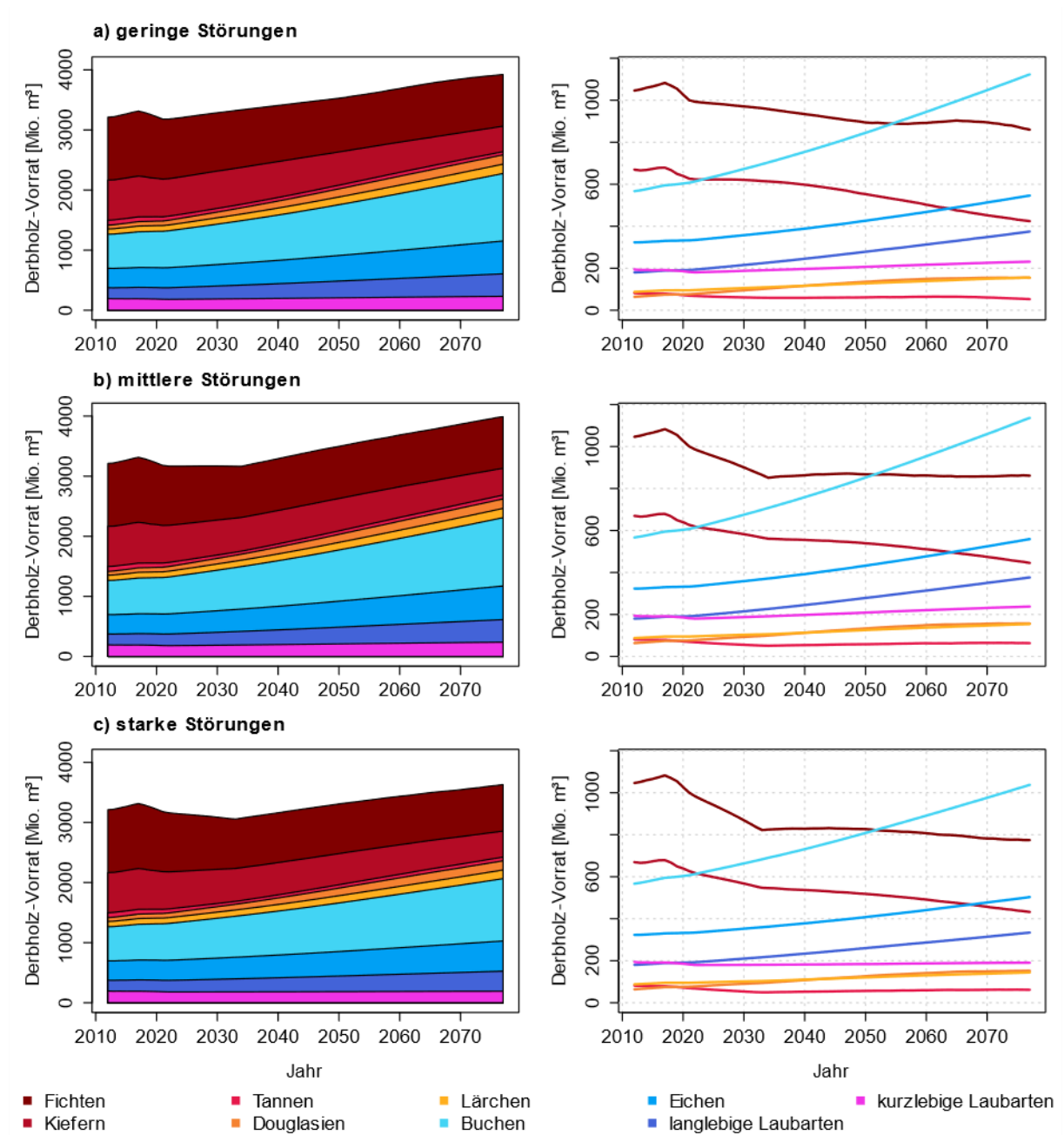
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 29: Zeitliche Entwicklung der Bestandsbasalflächen nach Häufigkeit in HE-red



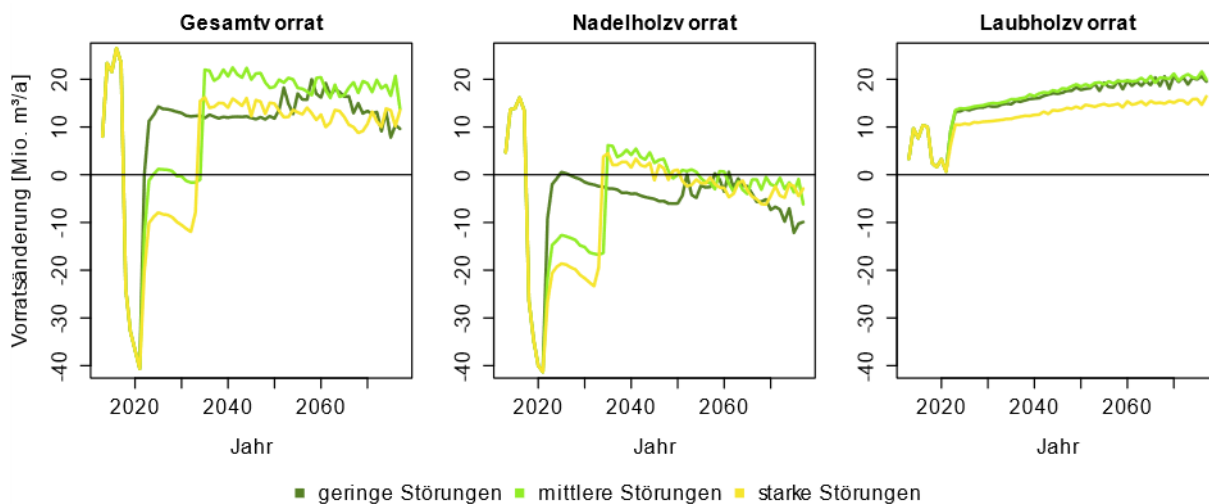
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 30: Derbholzvorrat in lebender Biomasse nach Baumartengruppen in HE-red



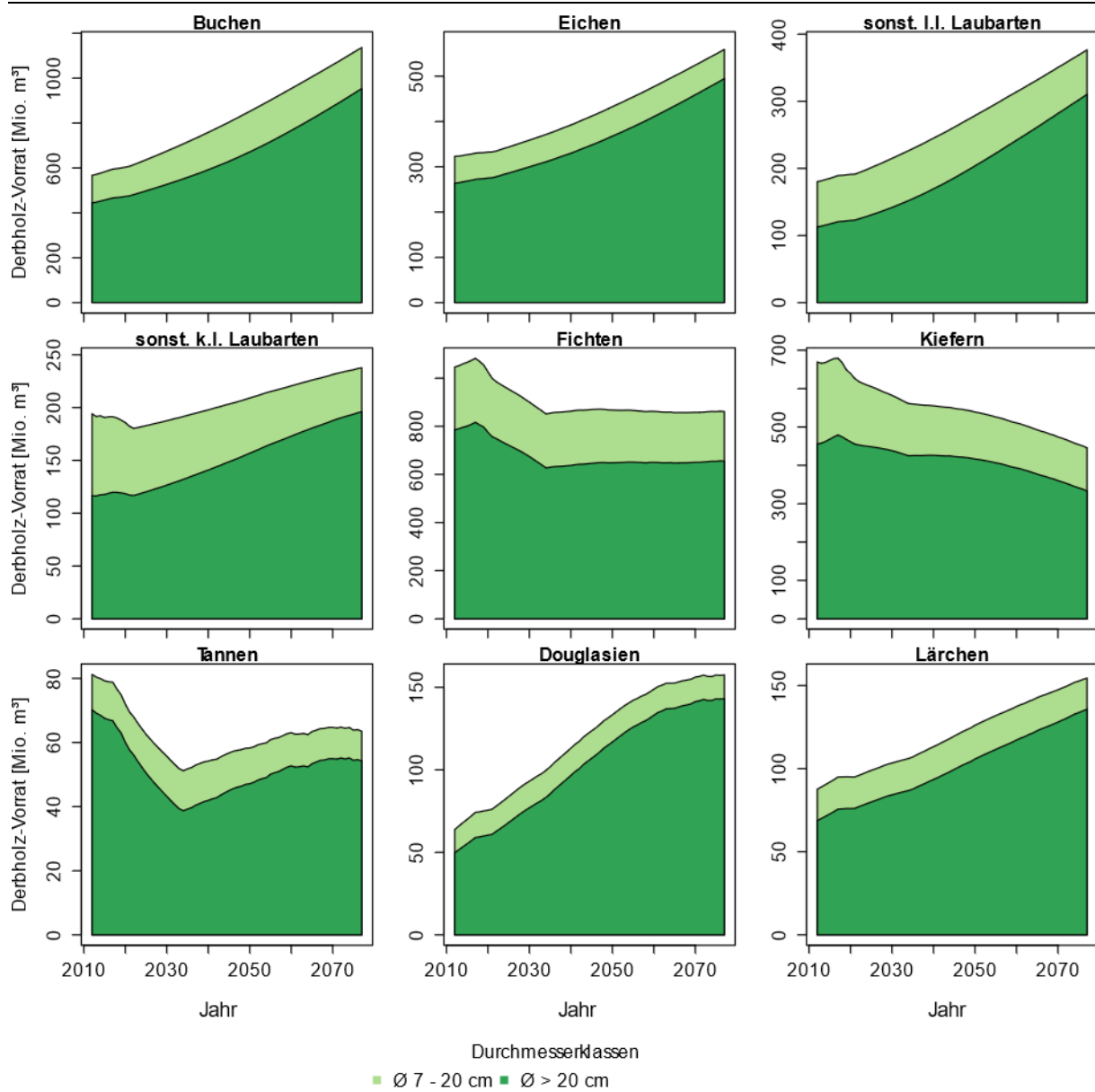
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 31: Veränderungen des Derbholzvorrats in lebender Biomasse in HE-red im Vergleich der Sensitivitäten geringe, mittlere und starke Störungen



Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

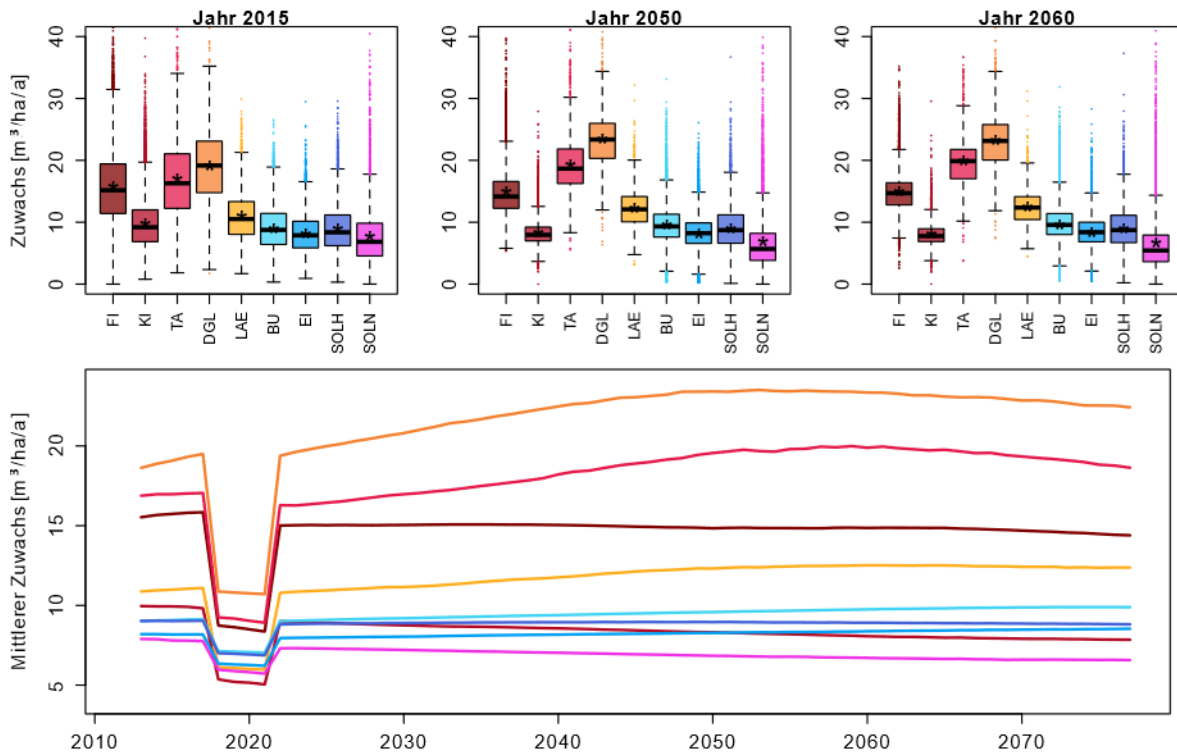
Abbildung 32: Derbholzvorrat ohne Rinde für Industrie- und Stammholz in HE-red (beispielhaft für mittlere Störungen)



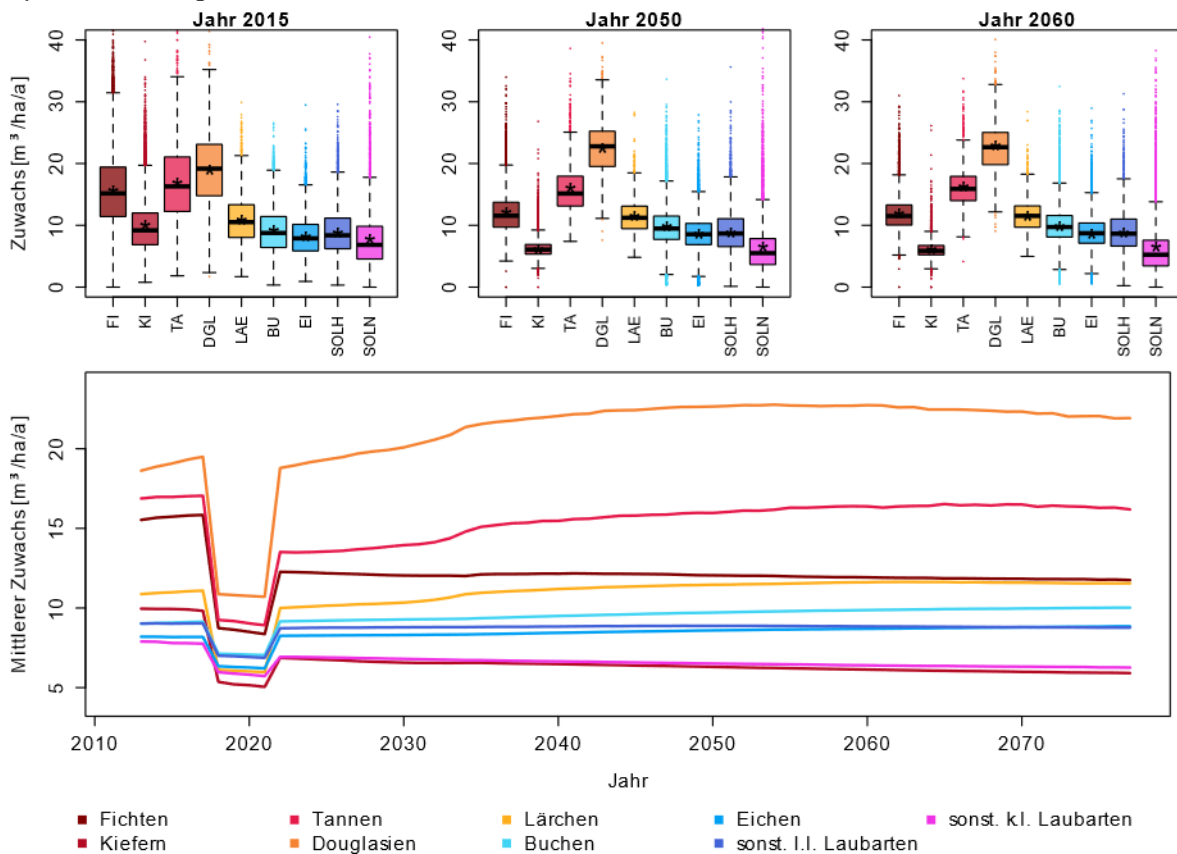
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut

Abbildung 33: Hektarspezifischer Zuwachs nach Baumartengruppen in HE-red

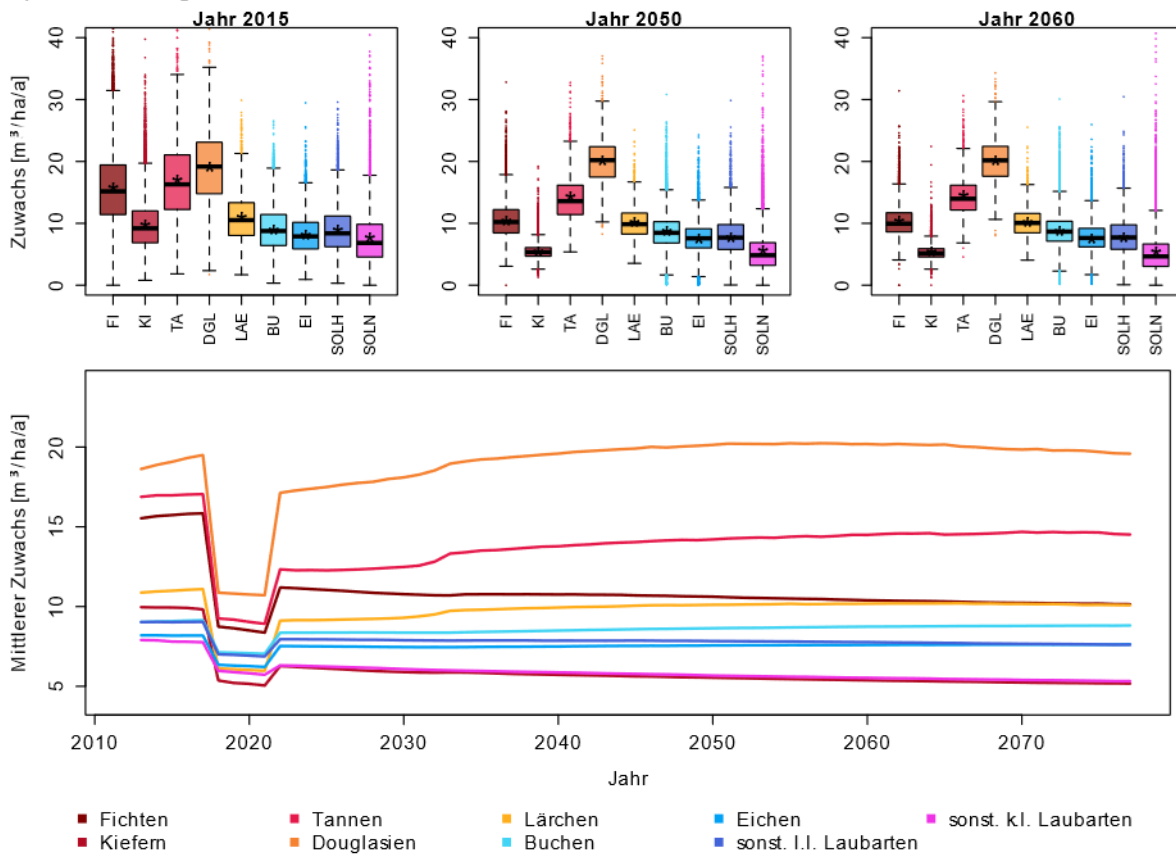
a) geringe Störungen



b) mittlere Störungen

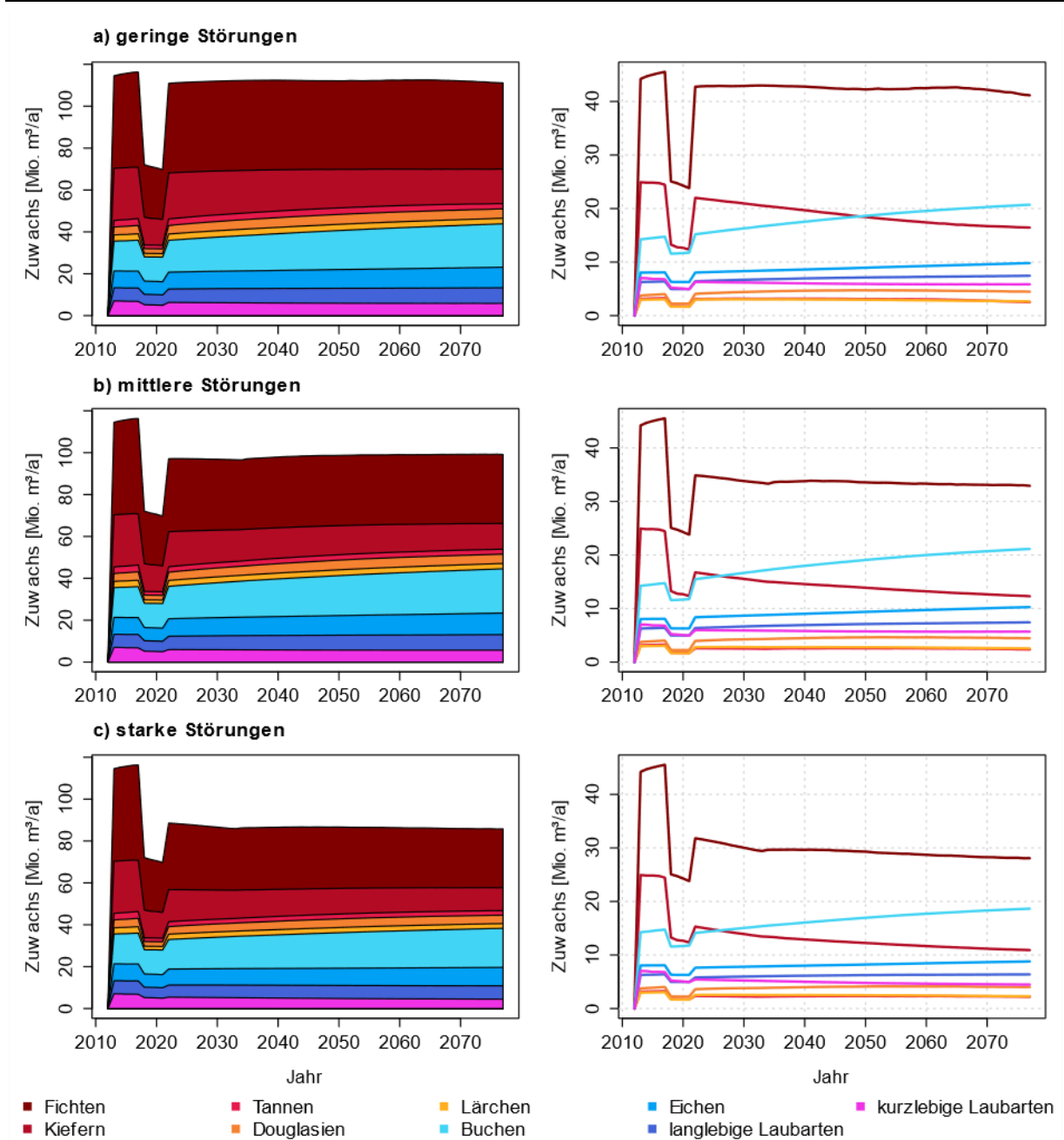


c) starke Störungen



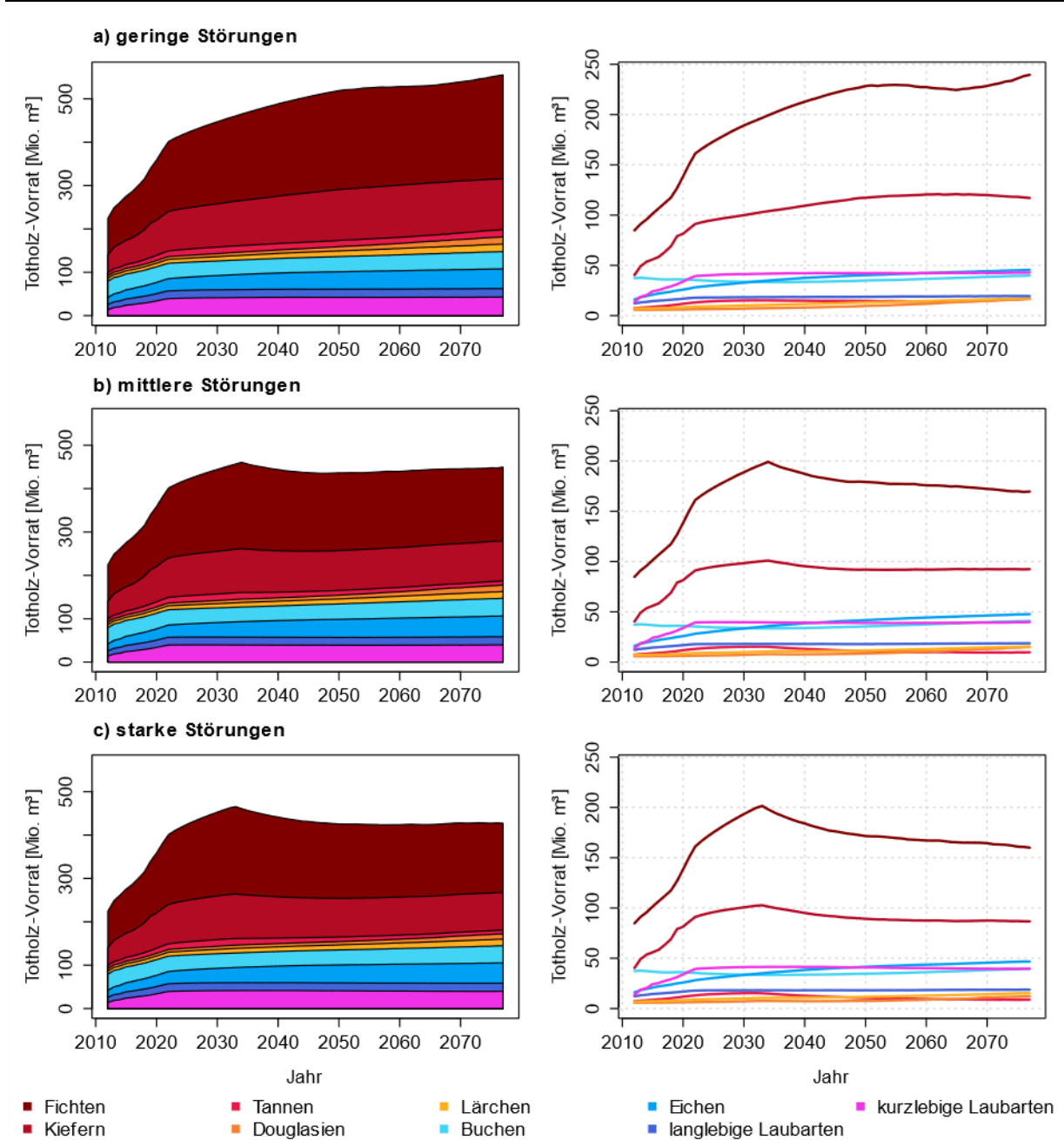
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 34: Deutschlandweiter Derbholzzuwachs nach Baumartengruppen in HE-red



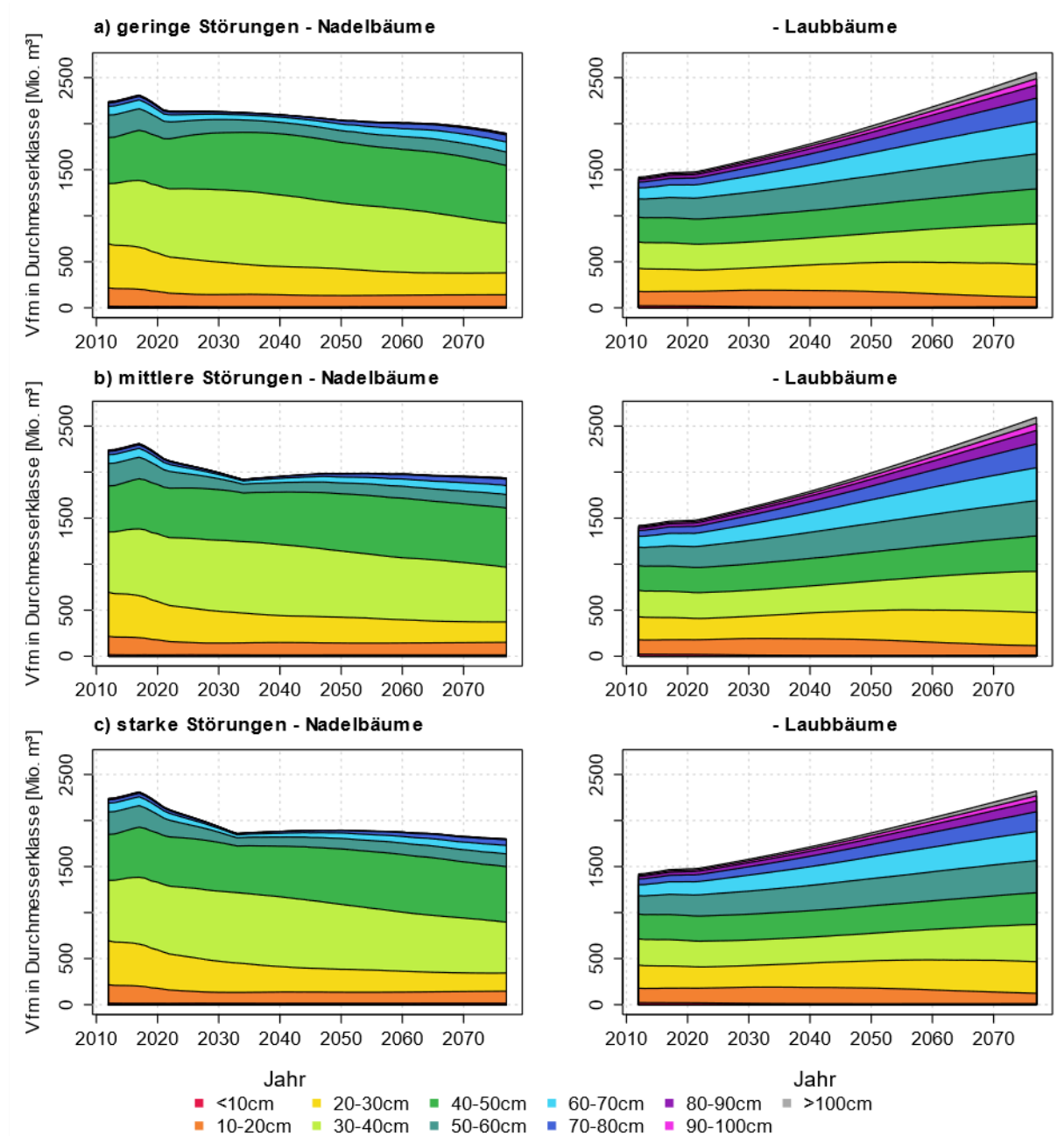
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 35: Totholz-vorrat nach Baumartengruppen in HE-red



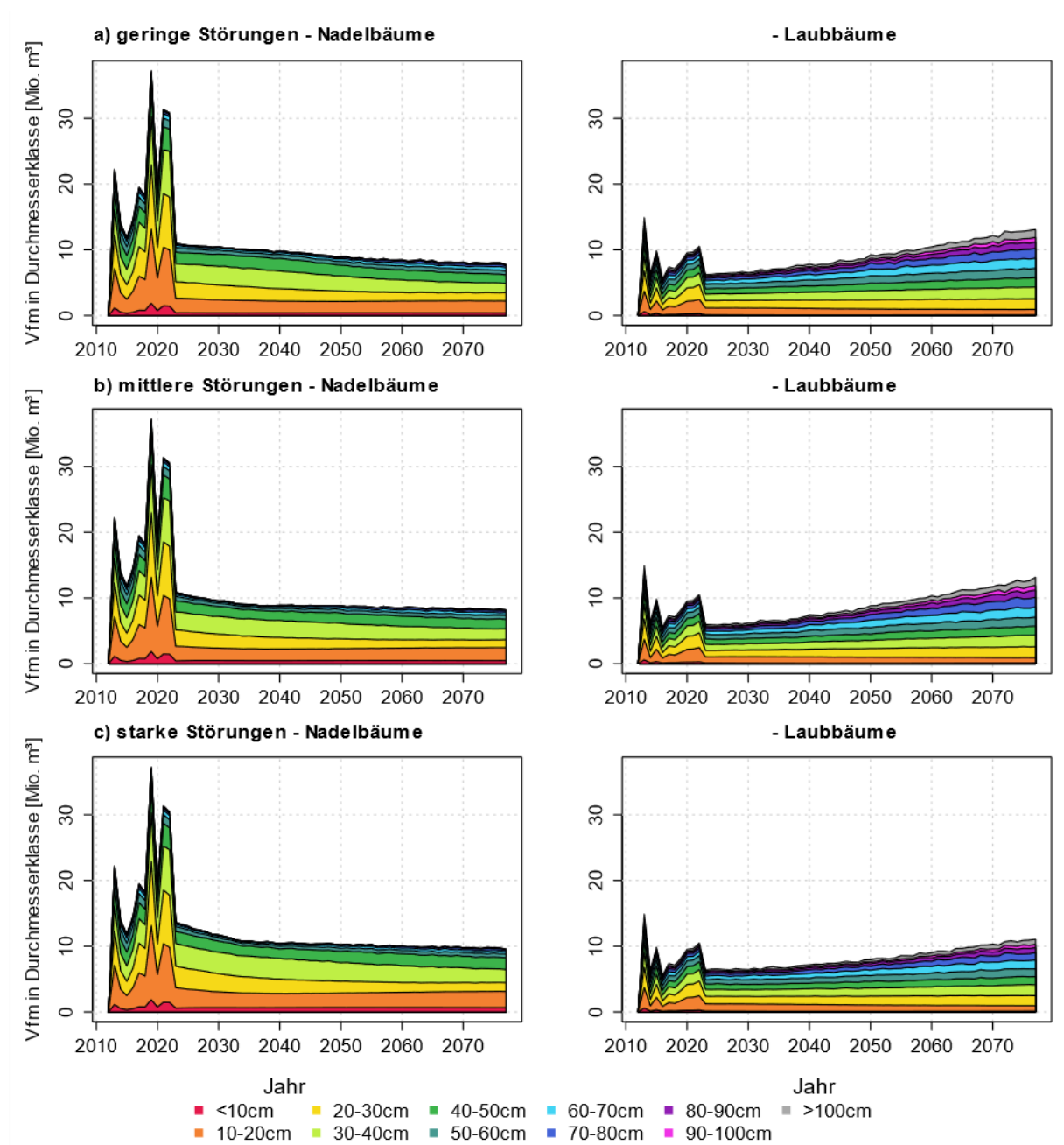
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 36: Bestandsstruktur als Derbholzvorrat (Vorratsfestmeter) von Laub- und Nadelbäumen für lebende Bäume nach Durchmesserklassen in HE-red



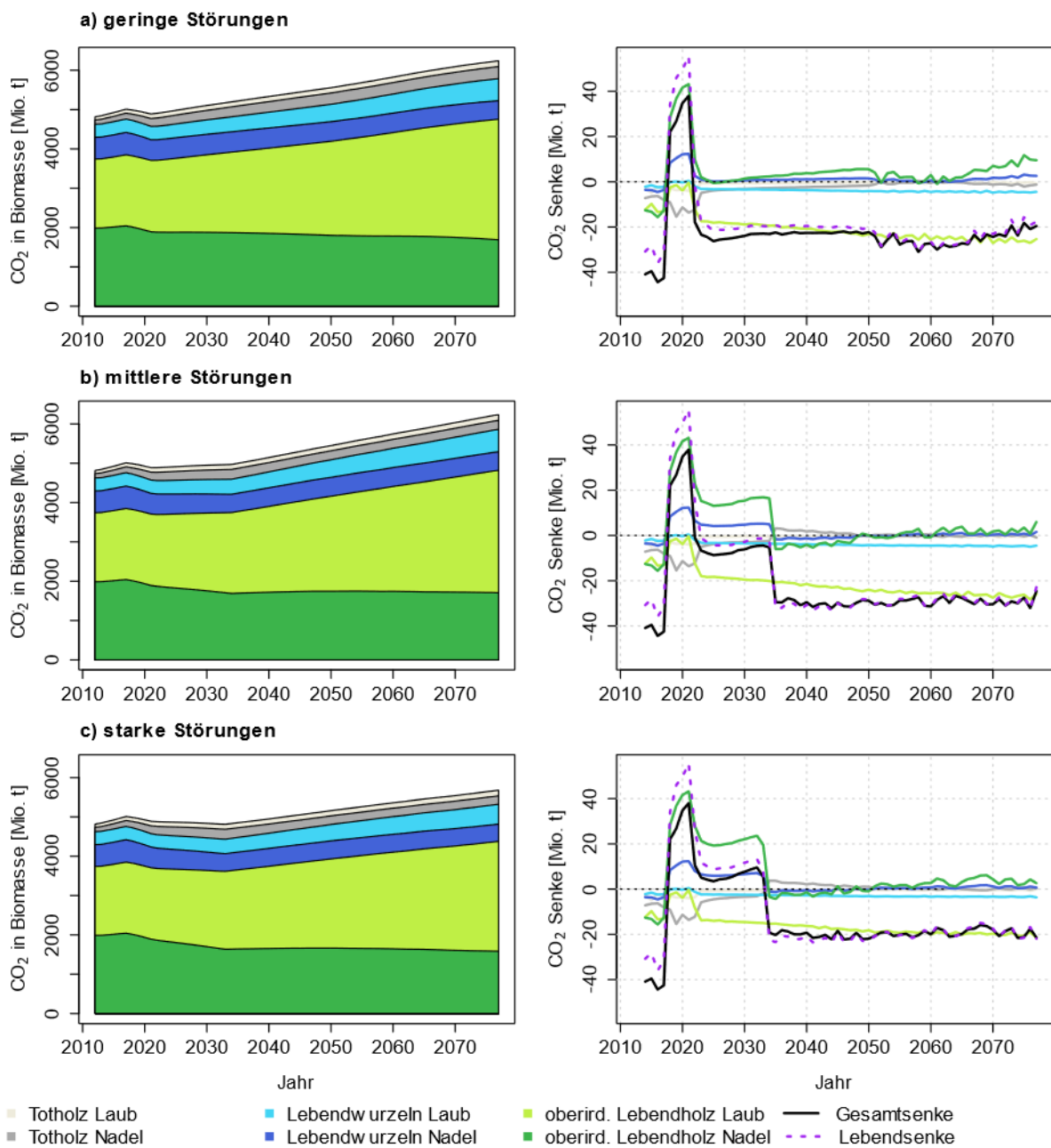
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 37: Abgestorbenes Derbholzvolumen (Vorratsfestmeter) von Laub- und Nadelbäumen nach Durchmesserklassen in HE-red



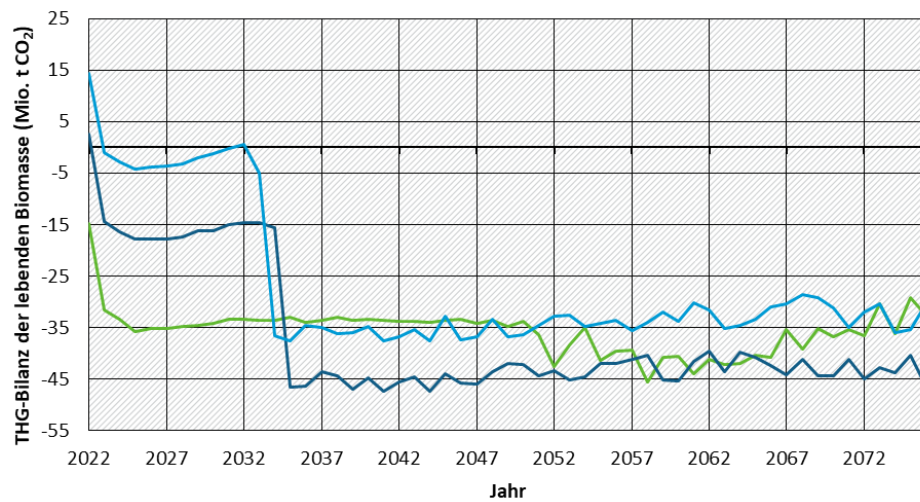
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 38: In Waldbiomasse gespeichertes CO₂ und jährliche Senkenleistung in HE-red



Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 39: THG-Bilanz der lebenden Biomasse im Wald in HE-red für die Sensitivitäten geringe, mittlere und starke Störungen



HE-red_gS HE-red_mS HE-red_sS

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

B.4 Extensivierte Holzenergieverwendung (HE-ext)

B.4.1 Holzentnahme in HE-ext

Tabelle 8: Nachfrage nach Waldbiomasse in HE-ext in Mio. m³_{swe} (Übergabedaten von TRAW an FABio-Forest)

Jahr	Nadelholz				Laubholz			
	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz	Rinde	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz	Rinde
2022	42,728	16,976	4,981	1,870	3,013	11,222	1,188	0,446
2023	42,178	16,416	4,917	1,848	3,061	10,995	1,179	0,443
2024	41,891	15,934	4,861	1,828	3,110	10,813	1,170	0,440
2025	41,292	15,460	4,838	1,806	3,177	10,692	1,182	0,441
2026	41,347	15,474	4,835	1,791	3,234	10,647	1,181	0,438
2027	41,631	15,380	4,840	1,782	3,250	10,480	1,166	0,429
2028	41,781	15,360	4,848	1,773	3,266	10,354	1,156	0,423
2029	42,087	15,401	4,862	1,766	3,286	10,236	1,144	0,415
2030	42,374	15,427	4,851	1,755	3,326	10,123	1,129	0,408
2031	42,453	15,539	4,864	1,739	3,360	10,117	1,130	0,404
2032	42,631	15,575	4,892	1,729	3,382	10,088	1,132	0,400
2033	42,774	15,587	4,887	1,707	3,412	10,043	1,127	0,394
2034	42,958	15,574	4,862	1,681	3,442	9,968	1,114	0,385
2035	43,129	15,519	4,806	1,656	3,475	9,861	1,093	0,377
2036	43,266	15,440	4,764	1,631	3,511	9,756	1,077	0,369
2037	43,468	15,383	4,734	1,611	3,545	9,642	1,061	0,361
2038	43,658	15,328	4,716	1,599	3,582	9,541	1,049	0,356
2039	43,819	15,244	4,693	1,583	3,620	9,413	1,036	0,349
2040	43,987	15,143	4,668	1,567	3,663	9,285	1,022	0,343
2041	44,142	15,094	4,651	1,555	3,699	9,209	1,013	0,339
2042	44,302	15,034	4,634	1,543	3,725	9,126	1,004	0,334
2043	44,429	14,975	4,617	1,531	3,758	9,041	0,995	0,330
2044	44,627	14,929	4,600	1,519	3,791	8,958	0,985	0,325
2045	44,785	14,867	4,583	1,506	3,824	8,872	0,975	0,321
2046	44,908	14,808	4,565	1,494	3,858	8,787	0,967	0,316
2047	45,076	14,746	4,548	1,481	3,889	8,702	0,957	0,312

Jahr	Nadelholz				Laubholz			
	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz	Rinde	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz	Rinde
2048	45,230	14,685	4,530	1,469	3,922	8,616	0,948	0,307
2049	45,373	14,645	4,512	1,456	3,959	8,533	0,939	0,303
2050	45,515	14,557	4,494	1,443	3,997	8,442	0,930	0,299
ab 2051	45,515	14,557	4,494	1,443	3,997	8,442	0,930	0,299

Quelle: Eigene Darstellung, INFRO.

Tabelle 9: Angestrebte Holzentnahme in HE-ext in Mio. m³ (mit Rinde)

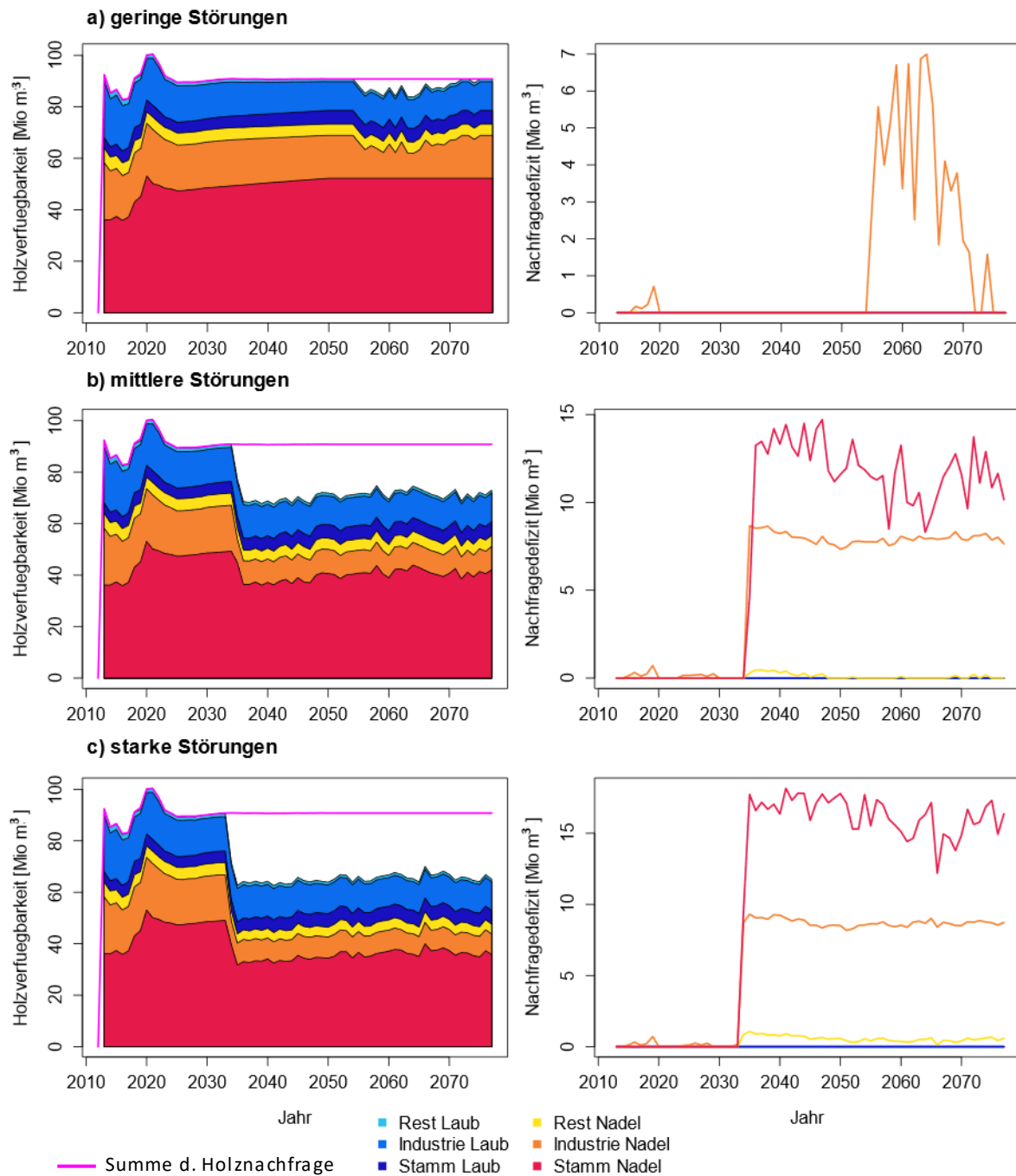
Jahr	Nadelholz			Laubholz		
	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz
2022	49,484	19,660	4,689	4,547	16,939	1,479
2023	48,391	18,834	4,760	4,047	14,539	1,336
2024	48,062	18,281	4,705	4,112	14,298	1,326
2025	47,375	17,737	4,681	4,202	14,139	1,339
2026	47,437	17,754	4,678	4,276	14,078	1,337
2027	47,763	17,645	4,685	4,298	13,858	1,320
2028	47,935	17,623	4,694	4,319	13,692	1,309
2029	48,286	17,670	4,710	4,345	13,536	1,296
2030	48,615	17,699	4,700	4,398	13,387	1,280
2031	48,706	17,828	4,712	4,443	13,378	1,282
2032	48,910	17,869	4,740	4,472	13,340	1,284
2033	49,074	17,883	4,736	4,512	13,280	1,278
2034	49,286	17,868	4,713	4,551	13,182	1,264
2035	49,482	17,805	4,659	4,595	13,040	1,240
2036	49,639	17,714	4,619	4,643	12,901	1,221
2037	49,871	17,649	4,591	4,688	12,750	1,204
2038	50,089	17,586	4,575	4,737	12,617	1,191
2039	50,273	17,489	4,553	4,786	12,448	1,176
2040	50,466	17,374	4,529	4,844	12,278	1,161
2041	50,645	17,317	4,513	4,891	12,178	1,151
2042	50,827	17,248	4,498	4,926	12,068	1,140

Jahr	Nadelholz			Laubholz		
	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz	Stammholz	Industrielles Holz	Restholz
2043	50,974	17,180	4,482	4,970	11,956	1,130
2044	51,200	17,128	4,466	5,013	11,845	1,119
2045	51,382	17,056	4,450	5,057	11,733	1,108
2046	51,523	16,989	4,433	5,102	11,619	1,099
2047	51,716	16,919	4,417	5,143	11,507	1,088
2048	51,892	16,848	4,400	5,186	11,393	1,078
2049	52,056	16,802	4,383	5,235	11,284	1,068
2050	52,219	16,702	4,366	5,286	11,163	1,058
ab 2051	52,219	16,702	4,366	5,286	11,163	1,058

Quelle: Eigene Darstellung, INFRO, Öko-Institut. Die Entnahme von Rinde erfolgt in Verbindung mit der Entnahme von Derbholz.

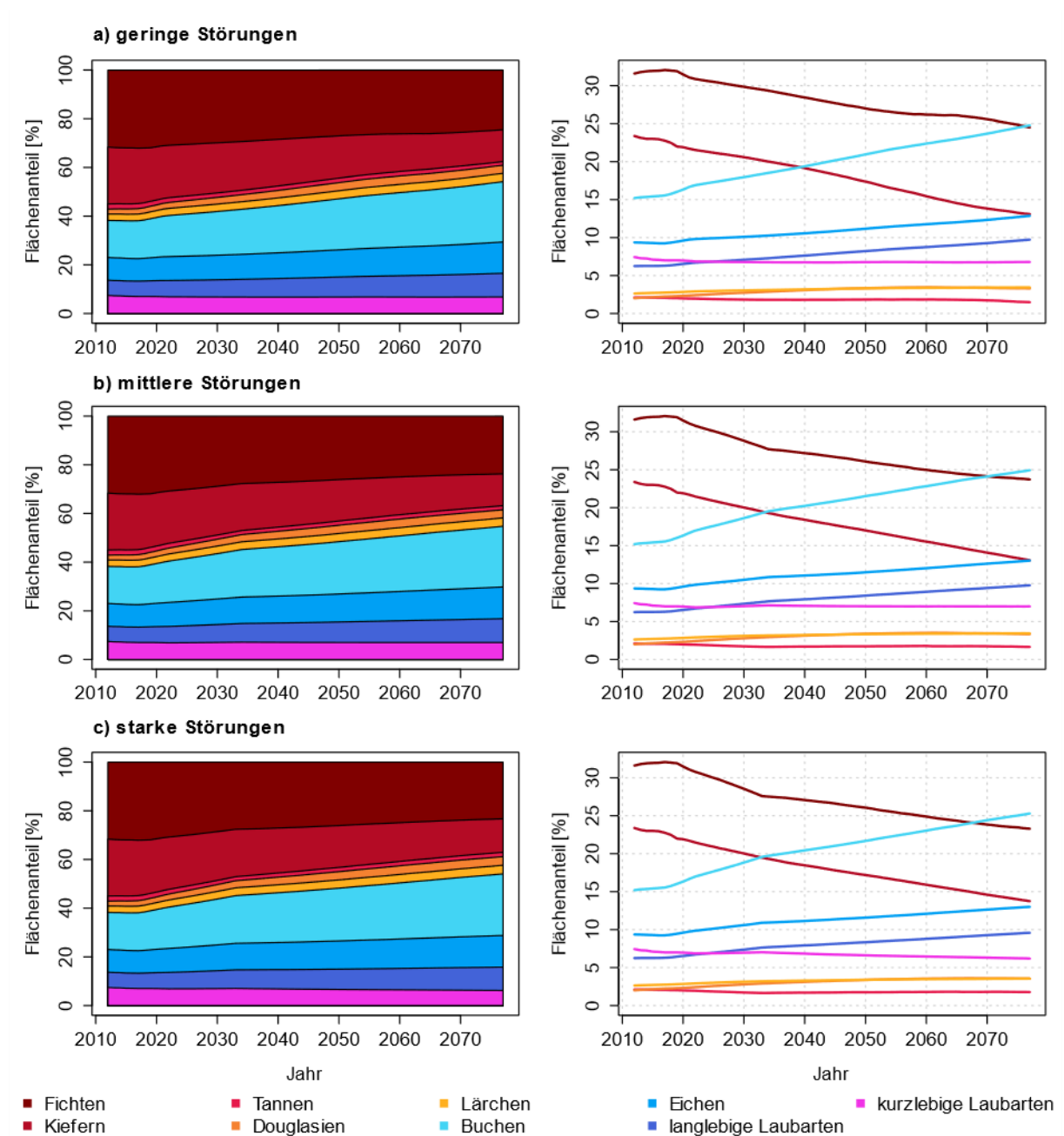
B.4.2 Abbildungen für das HE-ext

Abbildung 40: Simulierte Derbholzentnahme und offenbleibende Nachfrage in HE-ext



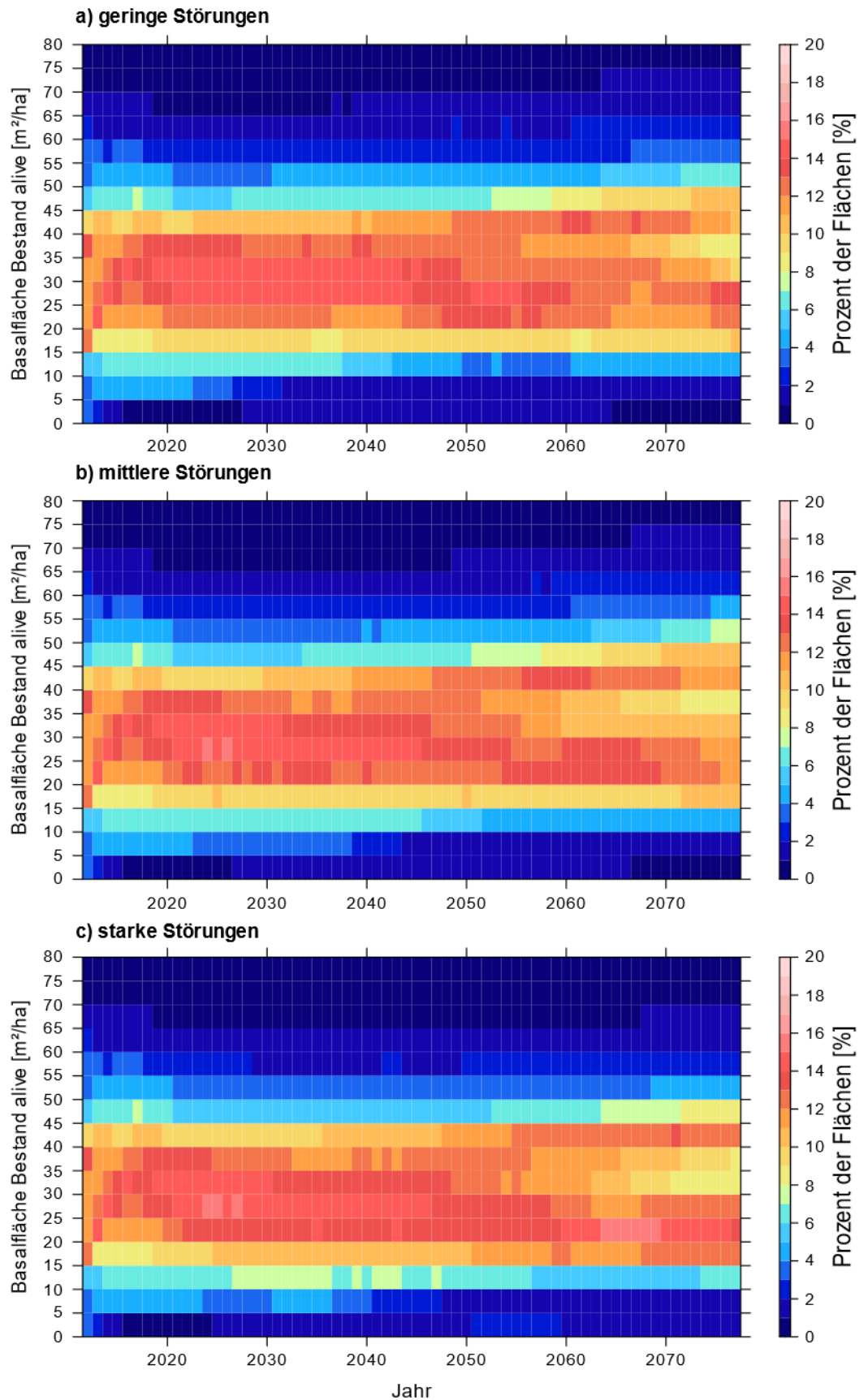
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut. Die magentafarbene Linie in den kumulativen Teilabbildungen zeigt die Höhe der Gesamtnachfrage.

Abbildung 41: Flächenanteil der Baumartengruppen basierend auf der Basalfläche in HE-ext für die Sensitivitäten geringe, mittlere und starke Störungen von 2013 bis 2076



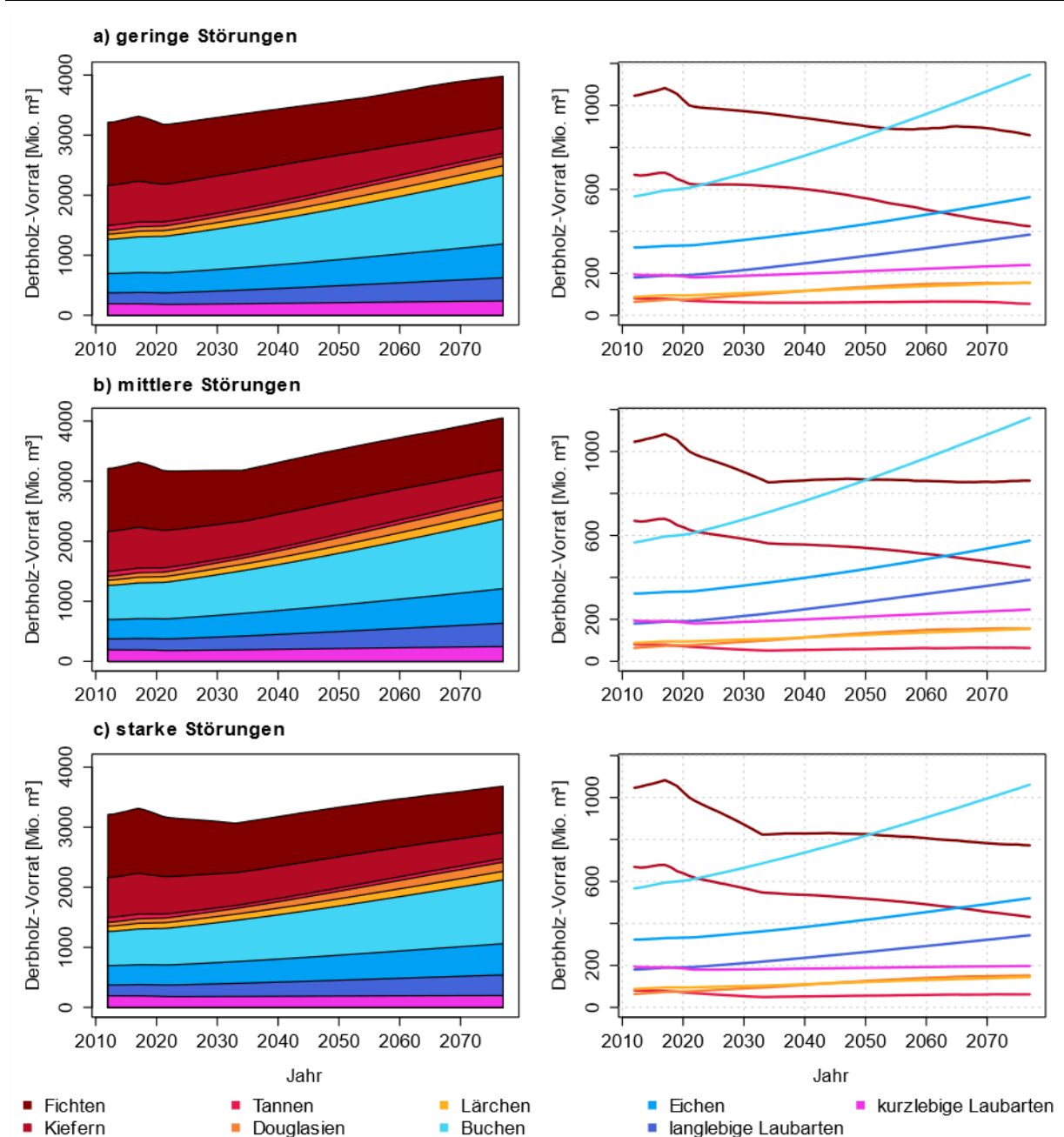
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 42: Zeitliche Entwicklung der Bestandsbasalflächen nach Häufigkeit in HE-ext



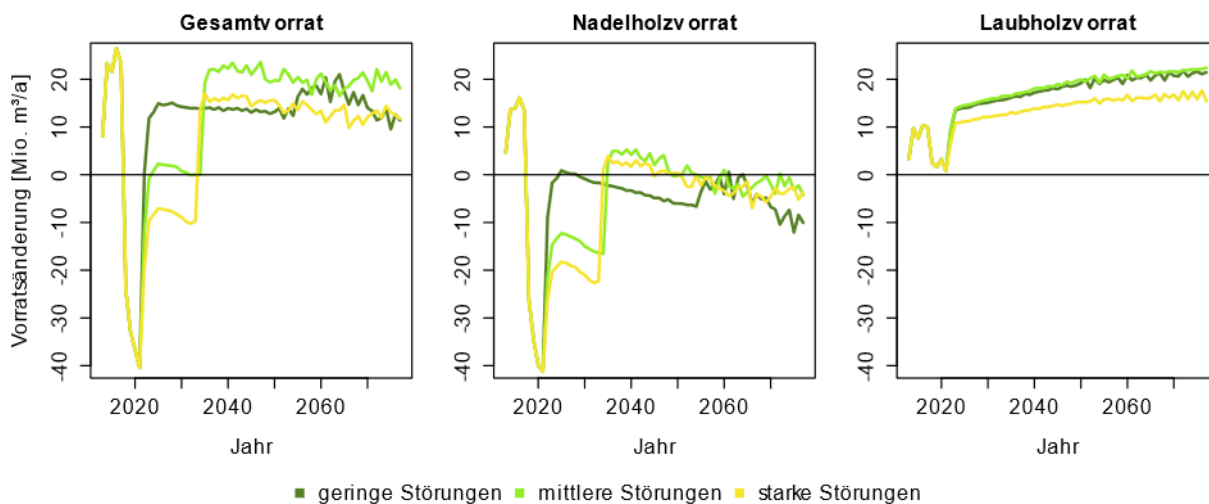
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 43: Derbholzvorrat in lebender Biomasse nach Baumartengruppen in HE-ext



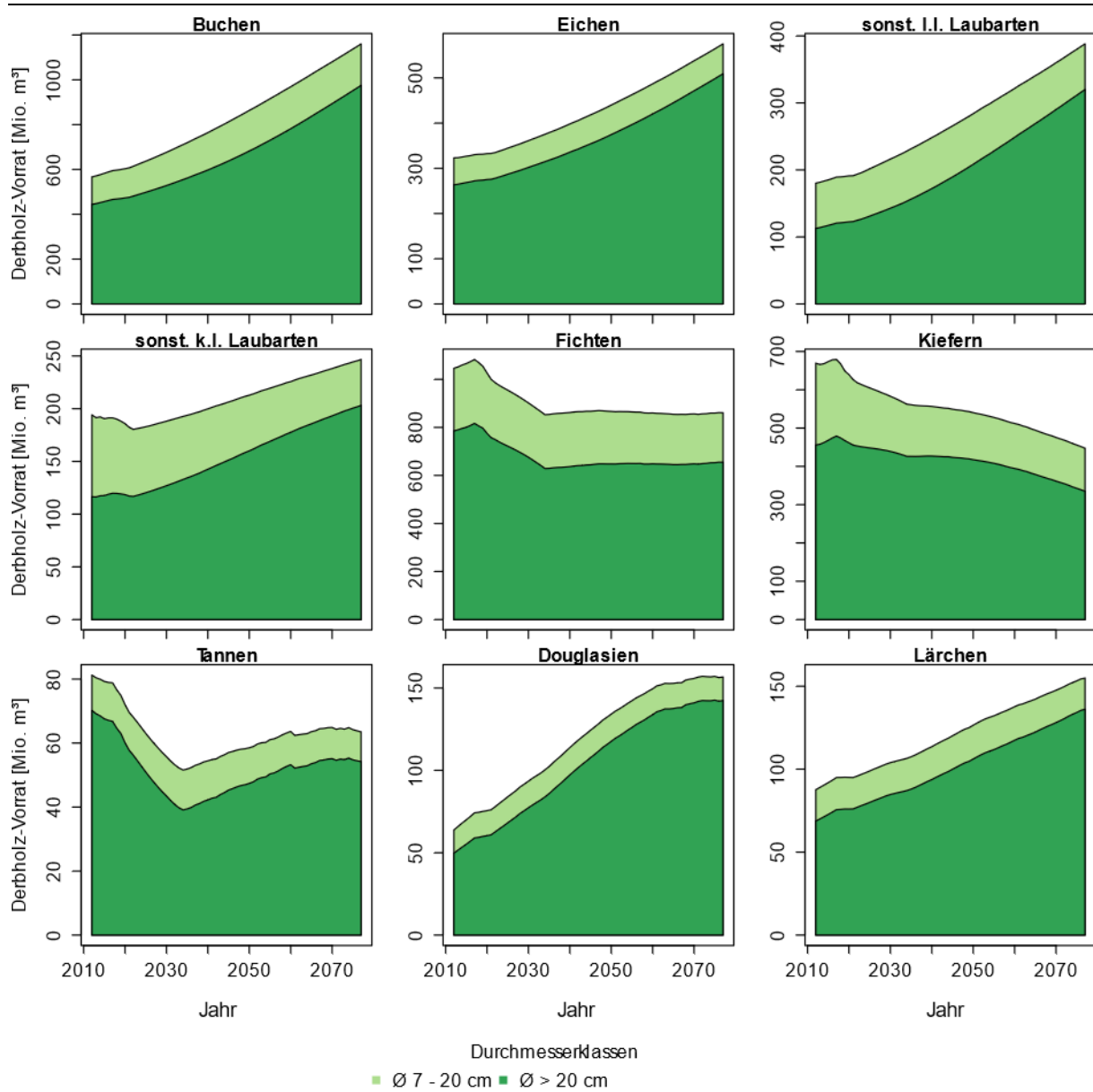
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 44: Veränderungen des Derbholzvorrats in lebender Biomasse in HE-ext im Vergleich der Sensitivitäten geringe, mittlere und starke Störungen



Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

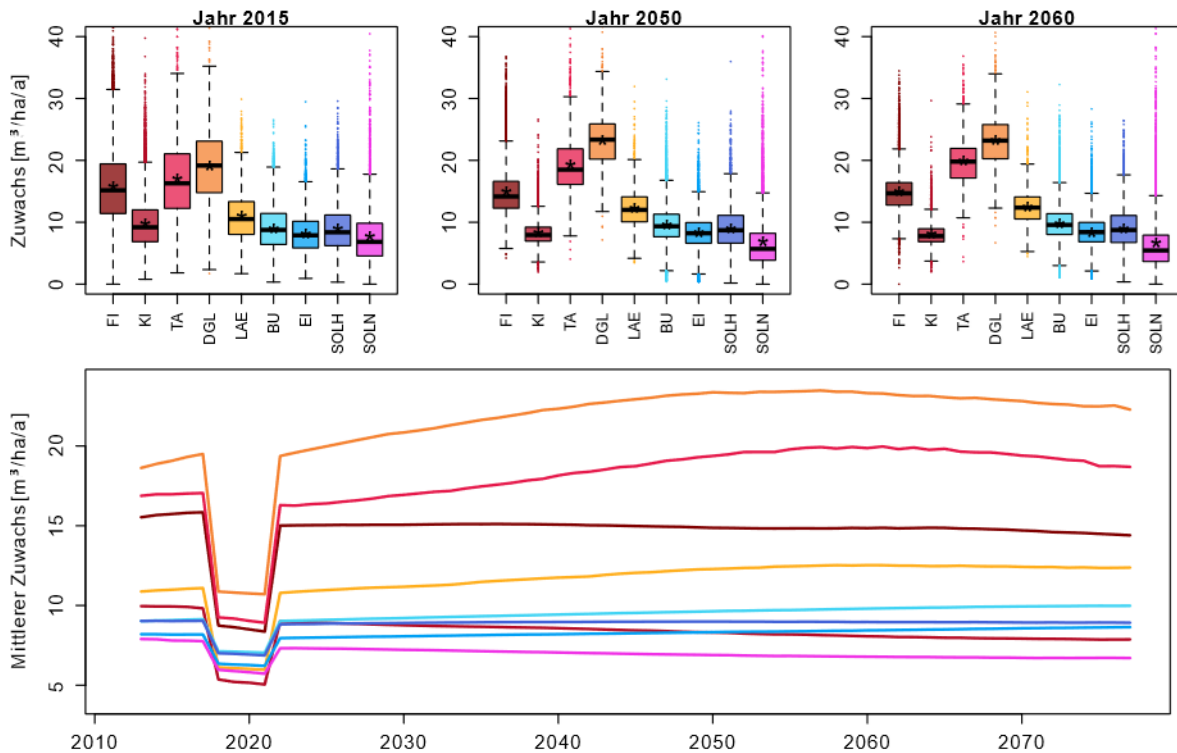
Abbildung 45: Derbholzvorrat ohne Rinde für Industrie- und Stammholz in HE-ext (beispielhaft für mittlere Störungen)



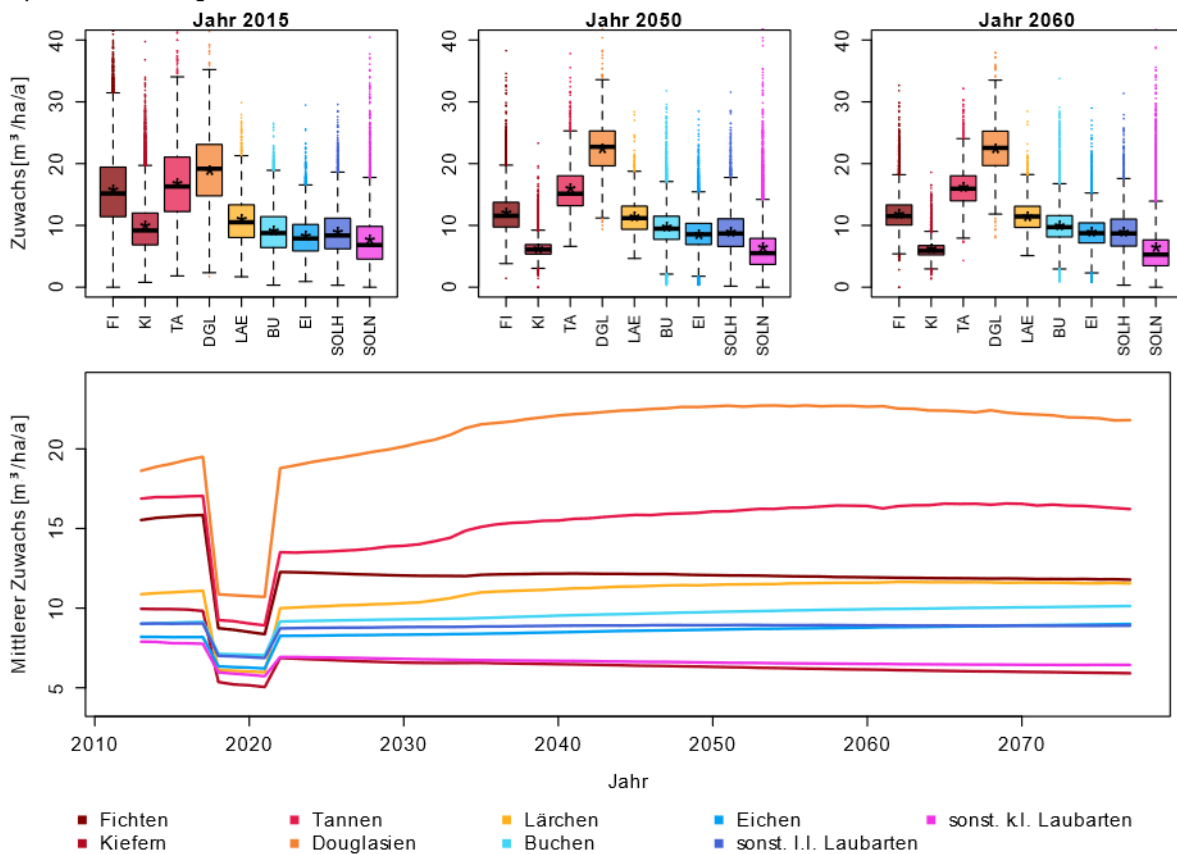
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut

Abbildung 46: Hektarspezifischer Zuwachs nach Baumartengruppen in HE-ext

a) geringe Störungen

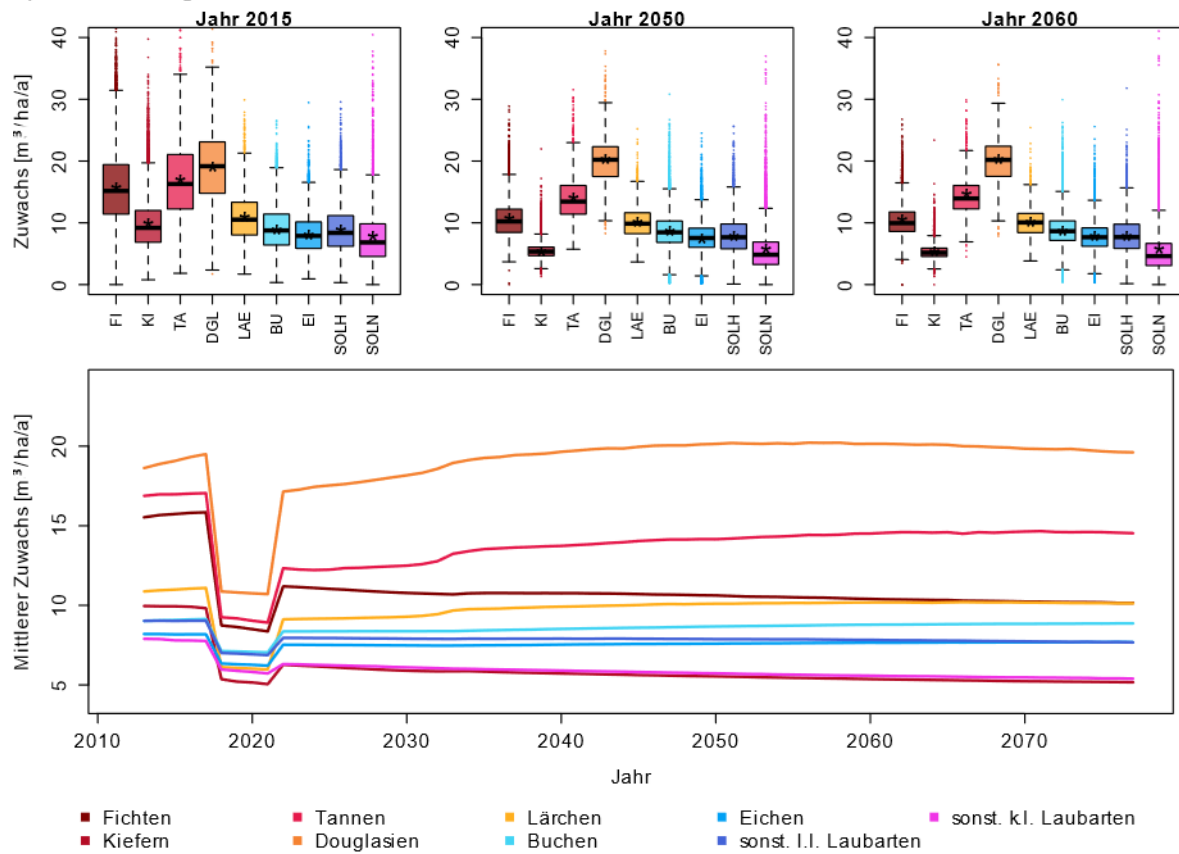


b) mittlere Störungen



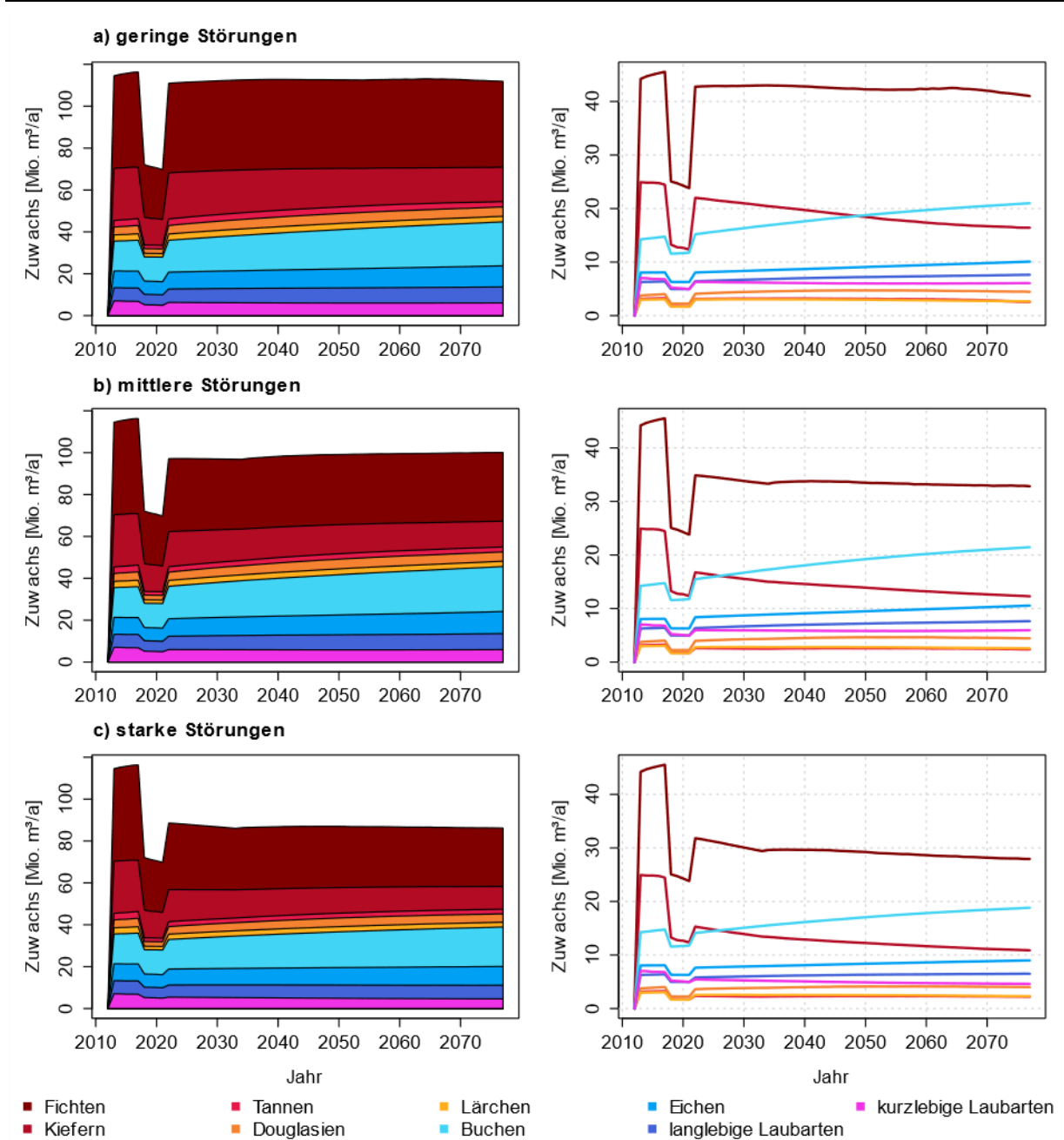
■ Fichten ■ Tannen ■ Lärchen ■ Eichen ■ sonst. kl. Laubarten
■ Kiefern ■ Douglasien ■ Buchen ■ sonst. l.l. Laubarten

c) starke Störungen



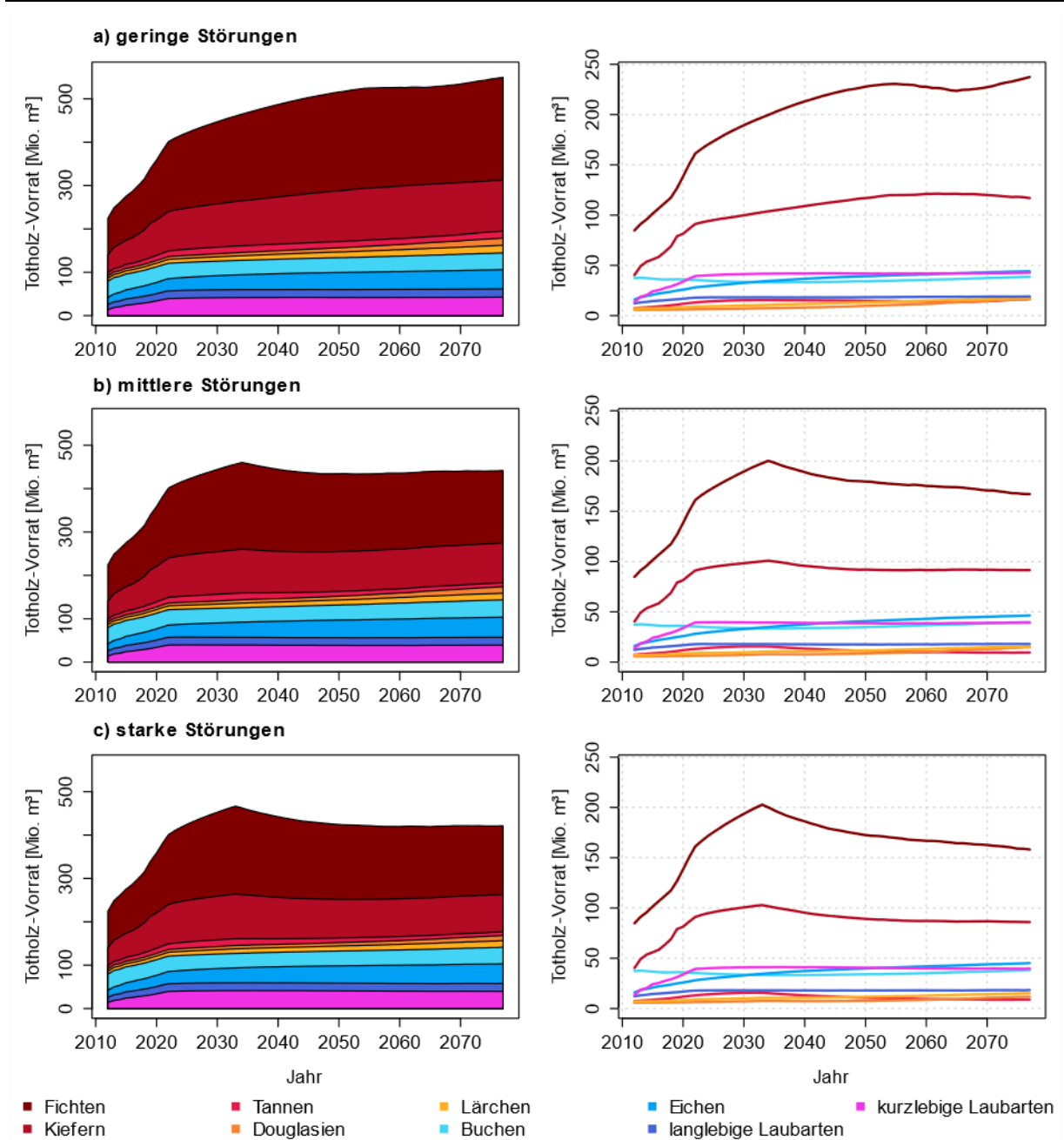
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 47: Deutschlandweiter Derbholzzuwachs nach Baumartengruppen in HE-ext



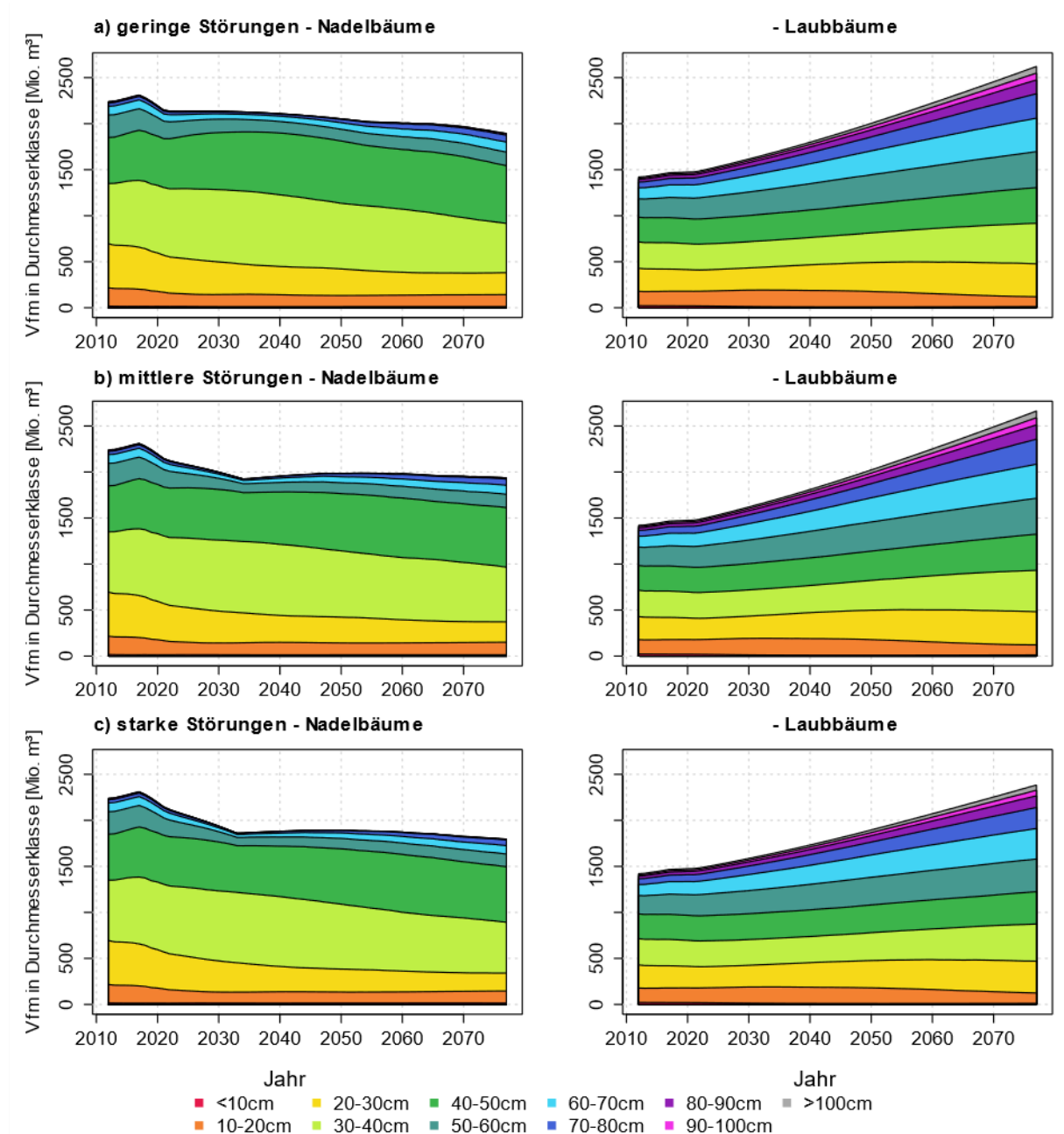
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 48: Totholzvorrat nach Baumartengruppen in HE-ext



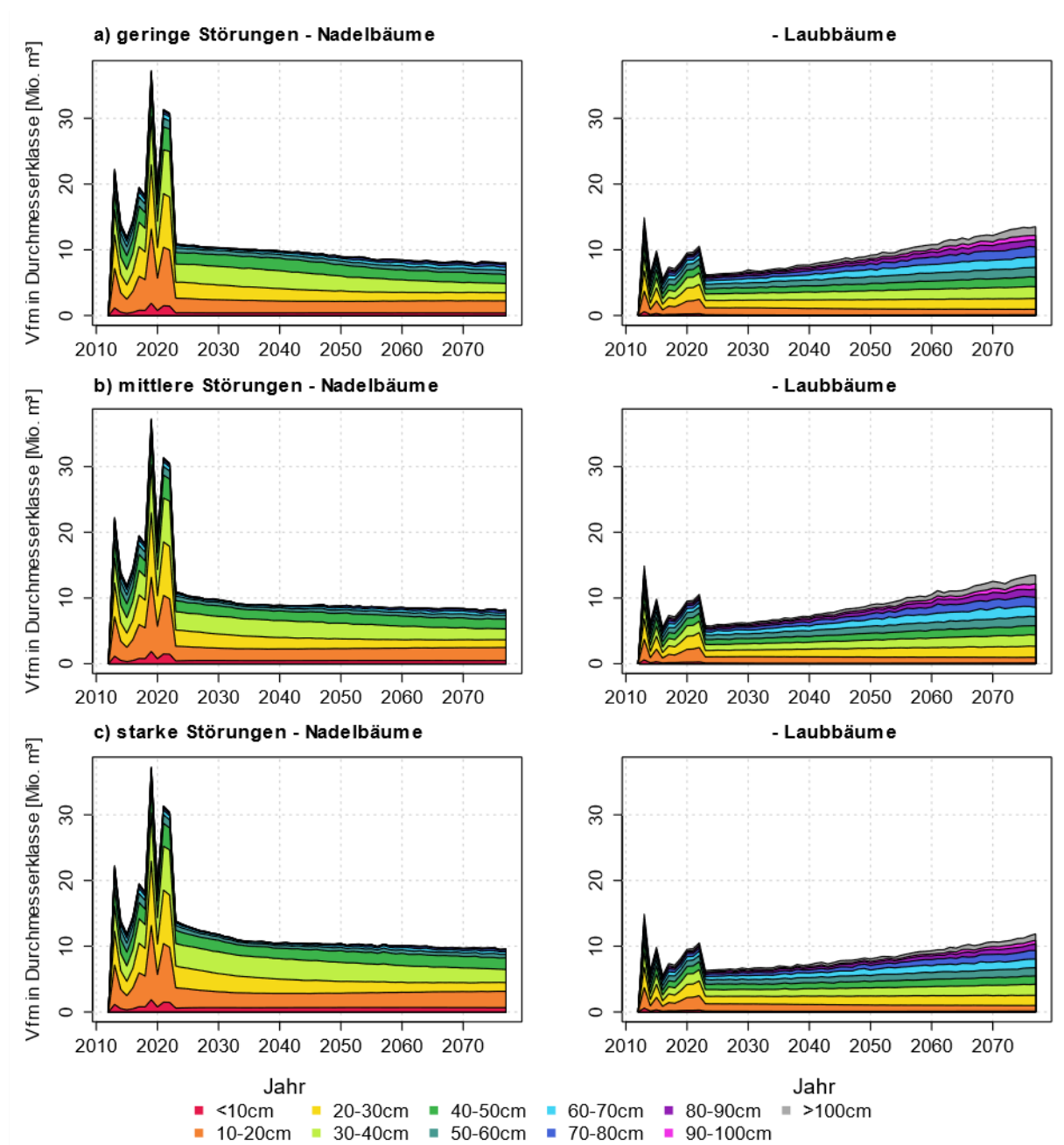
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 49: Bestandsstruktur als Derbholzvorrat (Vorratsfestmeter) von Laub- und Nadelbäumen für lebende Bäume nach Durchmesserklassen in HE-ext



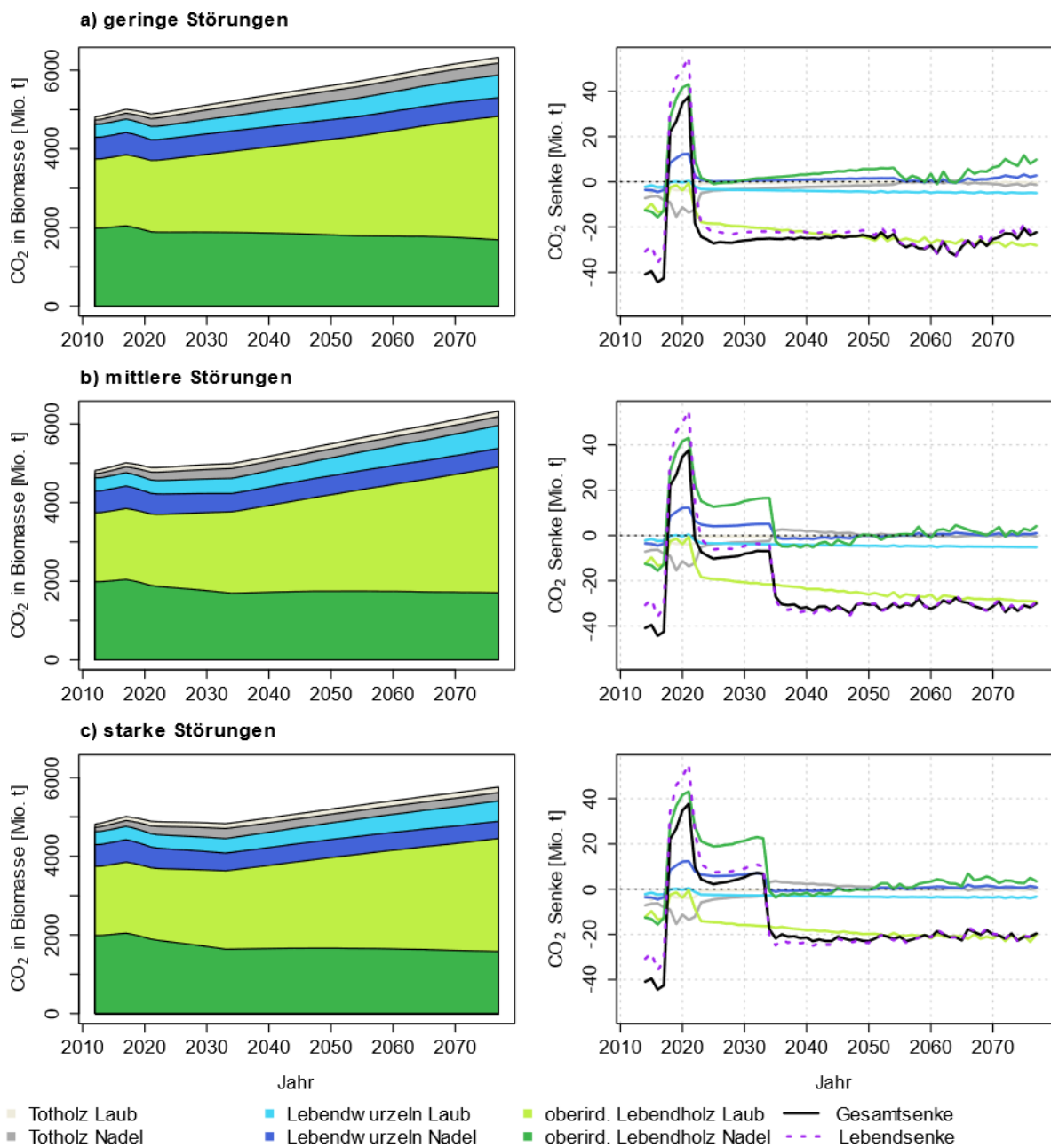
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 50: Abgestorbenes Derbholzvolumen (Vorratsfestmeter) von Laub- und Nadelbäumen nach Durchmesserklassen in HE-ext



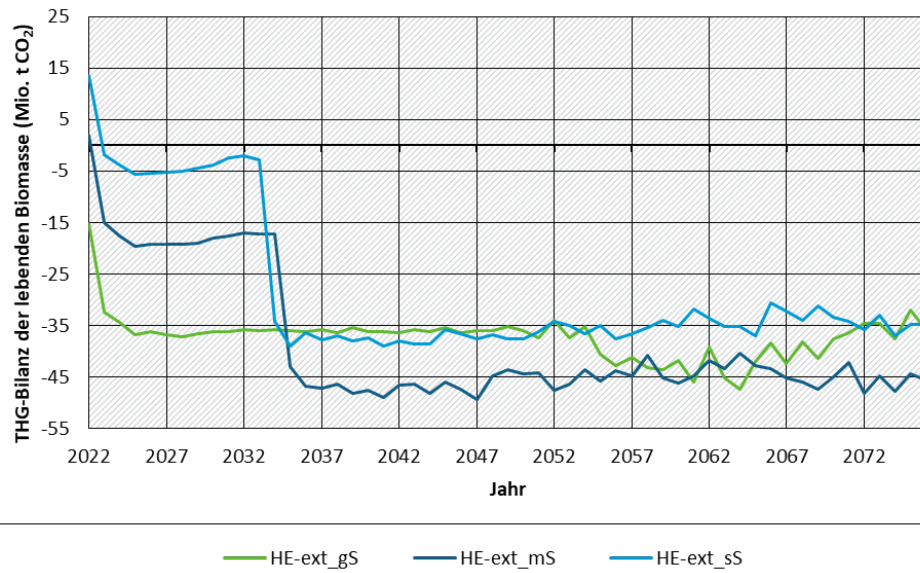
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 51: In Waldbiomasse gespeichertes CO₂ und jährliche Senkenleistung in HE-ext



Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

Abbildung 52: THG-Bilanz der lebenden Biomasse im Wald in HE-ext für die Sensitivitäten geringe, mittlere und starke Störungen in HE-ext



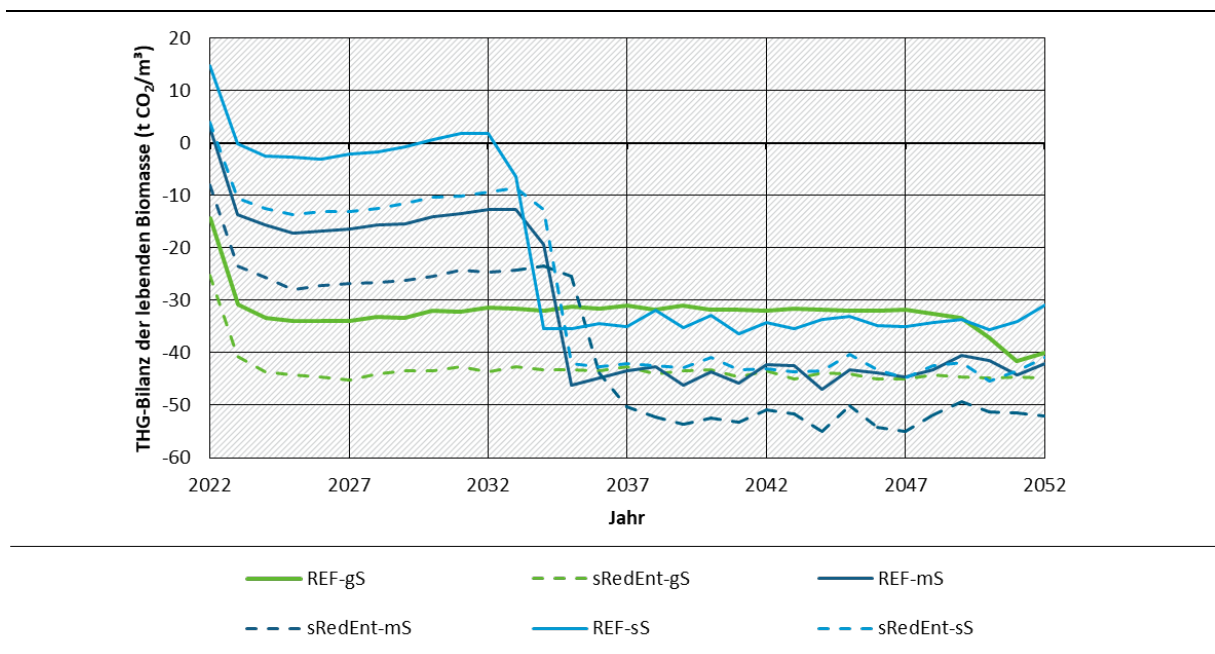
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut.

C Hintergrundinformationen zur Treibhausgasbilanzierung

C.1 CO₂-Speichersaldo

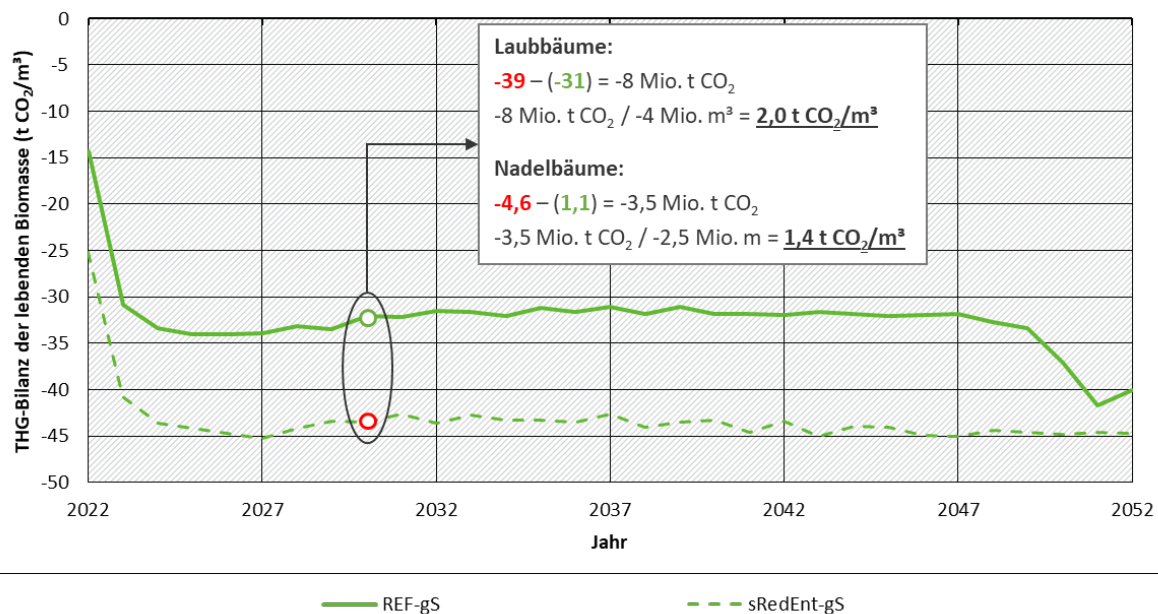
In Abbildung 53 sind die Verläufe der THG-Bilanz der lebenden Biomasse im Wald für die drei Klimasensitivitäten im Referenzszenario und im Szenario „starke Reduktion der Holzentnahme“ (sRedEnt; Laubholz: -4,0 Mio. m³/Jahr; Nadelholz: -2,5 Mio. m³/Jahr) dargestellt, und zwar jeweils für die Annahme geringer, mittlerer und starker Störungen (gS/mS/sS). Diese Daten sind die Grundlage für die Berechnung zum CO₂-Speichersaldo in Abbildung 25 im Abschlussbericht.

Abbildung 53: Auswirkung der Reduzierung der Holzentnahme im Referenzszenario auf die lebende Biomasse im Wald



Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung in FABio-Forest. REF = Referenzszenario, sRedEnt = starke Reduktion der Holzentnahme (starke Reduktion der Holzentnahme: -2,5 Mio. m³ Nadelholz, -4,0 Mio. m³ Laubholz), gS = geringe Schäden, mS = mittlere Schäden, sS = starke Schäden.

Abbildung 54 Beispielberechnung zum CO₂-Speichersaldo



Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung in FABio-Forest. REF = Referenzszenario, sRedEnt = starke Reduktion der Holzentnahme (starke Reduktion der Holzentnahme: -2,5 Mio. m³ Nadelholz, -4,0 Mio. m³ Laubholz), gS = geringe Schäden.

In Tabelle 10 und Tabelle 11 sind die Ergebnisse zur Berechnung des CO₂-Speichersaldos für Szenarienpaare zusammengestellt. Dargestellt sind 5-jährige Mittelwerte, da durch die geringen Unterschiede in der Holzentnahme die Variabilität zwischen Jahren hoch ist. Für Nadelholz kann für Jahresscheiben, in denen die Holznachfrage nicht gedeckt werden kann, kein CO₂-Speichersaldo ausgewiesen werden (Tabelle 11).

Tabelle 10: CO₂-Speichersaldo für Laubholz (lebende Biomasse) in Deutschland auf Basis von Modellergebnissen aus FABio-Forest (5-jährige Mittelwerte)

Intensiveres Szenario	Extensiveres Szenario	2025-2029	2030-2034	2035-2039	2040-2044	2045-2049	2050-2054	2055-2059	2060-2064	2065-2069
HE-int-gS	REF-gS	1,65	1,45	1,60	1,86	2,54	1,84	2,18	2,60	1,77
HE-int-gS	HE-red-gS	1,64	1,55	1,73	1,93	2,31	2,13	2,52	2,79	2,30
HE-int-gS	HE-ext-gS	1,50	1,54	1,72	1,94	2,12	2,51	2,46	2,90	2,75
REF-gS	HE-red-gS	1,63	1,59	1,78	1,96	2,20	2,27	2,67	2,87	2,54
REF-gS	HE-ext-gS	1,47	1,56	1,74	1,96	2,04	2,65	2,51	2,96	2,94
HE-red-gS	HE-ext-gS	1,34	1,54	1,71	1,96	1,91	2,94	2,39	3,04	3,26
HE-int-mS	REF-mS	1,65	1,71	2,04	1,71	2,11	2,37	1,44	3,72	4,64
HE-int-mS	HE-red-mS	1,39	1,56	1,79	1,86	2,19	2,44	2,26	2,97	2,77
HE-int-mS	HE-ext-mS	1,54	1,62	1,67	1,90	2,15	2,46	2,60	2,83	3,11
REF-mS	HE-red-mS	1,23	1,49	1,68	1,93	2,23	2,47	2,64	2,63	1,92
REF-mS	HE-ext-mS	1,50	1,60	1,59	1,94	2,15	2,47	2,83	2,65	2,80
HE-red-mS	HE-ext-mS	1,71	1,68	1,52	1,94	2,09	2,48	2,98	2,67	3,48
HE-int-sS	REF-sS	1,32	1,50	1,75	2,00	2,15	2,11	2,74	2,38	2,42
HE-int-sS	HE-red-sS	1,47	1,58	1,69	1,83	2,20	2,32	2,00	2,53	2,58
HE-int-sS	HE-ext-sS	1,50	1,54	1,72	1,91	2,12	2,30	2,39	2,56	2,60
REF-sS	HE-red-sS	1,57	1,61	1,66	1,76	2,23	2,42	1,67	2,60	2,65
REF-sS	HE-ext-sS	1,55	1,55	1,71	1,89	2,11	2,34	2,32	2,60	2,64
HE-red-sS	HE-ext-sS	1,54	1,50	1,74	1,99	2,02	2,28	2,83	2,59	2,63

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut. REF = Referenzszenario, HE-int = Intensivierte Holzenergieverwendung, HE-red = Reduzierte Holzenergieverwendung, HE-ext = Extensivierte Holzenergieverwendung, gS = geringe Störungen, mS = mittlere Störungen, sS = starke Störungen.

Tabelle 11: CO₂-Speichersaldo für Nadelholz (lebende Biomasse) in Deutschland auf Basis von Modellergebnissen aus FABio-Forest (5-jährige Mittelwerte)

Intensiveres Szenario	Extensiveres Szenario	2025-2029	2030-2034	2035-2039	2040-2044	2045-2049	2050-2054	2055-2059	2060-2064	2065-2069
HE-int-gS	REF-gS	0,95	1,49	0,62	1,30	--	--	--	--	--
HE-int-gS	HE-red-gS	0,97	0,96	1,01	1,25	--	--	--	--	--
HE-int-gS	HE-ext-gS	0,95	0,99	1,05	1,23	--	--	--	--	--
REF-gS	HE-red-gS	0,97	0,76	1,17	1,22	1,03	--	--	--	--
REF-gS	HE-ext-gS	0,95	0,90	1,13	1,21	1,37	--	--	--	--
HE-red-gS	HE-ext-gS	0,93	1,02	1,10	1,21	1,58	--	--	--	--
HE-int-mS	REF-mS	1,21	--	--	--	--	--	--	--	--
HE-int-mS	HE-red-mS	0,93	--	--	--	--	--	--	--	--
HE-int-mS	HE-ext-mS	0,93	--	--	--	--	--	--	--	--
REF-mS	HE-red-mS	0,80	--	--	--	--	--	--	--	--
REF-mS	HE-ext-mS	0,88	--	--	--	--	--	--	--	--
HE-red-mS	HE-ext-mS	0,94	--	--	--	--	--	--	--	--
HE-int-sS	REF-sS	1,40	--	--	--	--	--	--	--	--
HE-int-sS	HE-red-sS	0,90	--	--	--	--	--	--	--	--
HE-int-sS	HE-ext-sS	0,91	--	--	--	--	--	--	--	--
REF-sS	HE-red-sS	0,69	--	--	--	--	--	--	--	--
REF-sS	HE-ext-sS	0,82	--	--	--	--	--	--	--	--
HE-red-sS	HE-ext-sS	0,92	--	--	--	--	--	--	--	--

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung in FABio Forest, Öko-Institut. REF = Referenzszenario, HE-int = Intensivierte Holzenergieverwendung, HE-red = Reduzierte Holzenergieverwendung, HE-ext = Extensivierte Holzenergieverwendung, gS = geringe Störungen, mS = mittlere Störungen, sS = starke Störungen.

C.2 Hintergrundinformation zur THG-Bilanzierung von Holzprodukten

Umwandlung Stoffstromdaten in Energieeinheiten

In einem ersten Bilanzierungsschritt werden zunächst die Stoffstromdaten auf Energieeinheiten umgerechnet. Die Daten entstammen der Holzverwendungsmodellierung in TRAW und liegen zunächst als m^3_{swe} vor. Bei der Umrechnung wird zwischen den verschiedenen Holzsortimenten unterschieden. Es werden die bereits in Hennenberg et al. (2023)³ aufgelisteten Umrechnungsfaktoren verwendet. Diese sind in Tabelle 12 noch einmal eingefügt.

Tabelle 12: Umrechnungsfaktoren getrennt nach Holzsortimenten⁴

Holzsortiment	$t_{\text{lutro}} / t_{\text{atro}}$	F_m / t_{atro}	WG [%]	MJ / kg_{lutro}
Alt-/ Gebrauchtholz	1,244	2,163	0,196	14,762
Sägenebenprodukte	1,626	2,128	0,385	11,291
Sonstiges Industrierestholz	1,208	2,128	0,172	15,202
Waldderbholz	1,572	1,923	0,364	11,677
Waldrestholz	1,773	1,923	0,436	10,355
Rinde (lose)	1,927	2,083	0,481	9,529
Pellets und Briketts	1,111	2,128	0,100	16,524
Landschaftspflegeholz	1,848	1,980	0,459	9,933
Schnellwuchsplantagenholz	1,136	1,923	0,120	16,157
Altpapier	1,099	1,250	0,090	16,708
Unbestimmte Brennholzsortimente	1,757	1,923	0,431	10,447

Quellen: Hennenberg et al. (2022)³

Zusammenstellung der THG-Emissionen von Holzenergie

Basierend auf den im ersten Schritt erstellten Mengenmatrix der Holzenergieströme werden zunächst die Treibhausgasemissionen der Holzenergienutzung einerseits und die THG-Einsparungen durch die substituierte fossile Energie andererseits berechnet. Die Berechnung orientiert sich im Wesentlichen an der in Lauf et al. (2021)⁵ beschriebenen Vorgehensweise. Die Emissionsfaktoren für die Holzenergie wurden basierend auf den in der BioEm-Studie (Fehrenbach et al 2016)⁶ abgeleiteten Faktoren spezifisch für die in diesem Projekt betrachteten Sortimente und Verwendungen zusammengestellt. Die Aufteilung und Zuordnung der

³ Hennenberg et al. (2022): Aktuelle Nutzung und Förderung der Holzenergie - Teilbericht zu den Projekten BioSINK und BioWISE. Climate Change, 12/2022, Umweltbundesamt (UBA), Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/cc_12-2022_aktuelle_nutzung_und_foerderung_der_holzenergie.pdf

⁴ Annahme für alle Sortimente bei der Umrechnung in MJ/kg_{lutro}: 18.3601 MJ/kg_{atro} bei den genannten Wassergehalten.

⁵ Lauf et al. (2021): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2020. Climate Change 71/2021, UBA, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2021-12-13_climate-change_71-2021_emissionsbilanz_erneuerbarer_energien_2020_bf_korr-01-2022.pdf

⁶ Fehrenbach et al. (2016): Aktualisierung der Eingangsdaten und Emissionsbilanzen wesentlicher biogener Energienutzungspfade (BioEm). Texte 09/2016, UBA, Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/aktualisierung-der-eingangsdaten-emissionsbilanzen>

Sortimente orientieren sich ebenfalls an Lauf et al. (2021)⁵. Dort wird die feste Biomasse aufgeteilt nach Haushalt/GHD, Wärmenutzung in der Industrie und Stromsektor dargestellt. Während die Aufteilung im Haushalts- und GHD-Sektor mit der in TRAW erzeugten Matrix gut zu erfassen war, findet sich die Aufteilung nach großen (>1 MW) und kleinen (<1 MW) Biomasseanlagen nicht in der Emissionsbilanz wieder. Dort wird vielmehr zwischen dem Einsatz fester Biomasse im Stromsektor und für die Wärmeproduktion in der Industrie unterschieden. Innerhalb der beiden Sektoren wird zusätzlich zwischen verschiedenen Technologien sowie Bestimmungen im Immissionsschutzrecht unterschieden. Aus dieser Matrix in Lauf et al. (2021)⁵ wurden für die Anwendung im Projekt BioSINK eigene Emissionsfaktoren abgeleitet. In Tabelle 13 sind die Emissionsfaktoren der verwendeten Holzenergieträger zusammengestellt, ohne die CO₂-Verbrennungsemissionen zu berücksichtigen. Die CO₂-Verbrennungsemissionen betragen für alle Energieträger 102 g/MJ (UBA 2022)⁷.

Tabelle 13: Emissionsfaktoren für die in den Haushalten verwendeten Kategorien (g CO₂-Äq./MJ)

	Anbau/ Vorkette	Trans- port	Pro- duktion	Hilf- senergie	Direkte Verbrennungs- emissionen (CH ₄ , N ₂ O)	SUMME
Haushalte						
Waldholz-Scheitholz-EZF	1,03	0,28	1,30	0,00	3,98	6,60
Waldholz-Scheitholz-HZH	1,03	0,28	1,30	1,25	0,36	4,23
Waldholz-Hackschnitzel-HZH	1,03	0,28	0,36	2,24	0,12	4,03
Waldholz-Pellets-EZF	1,32	1,45	0,76	2,39	0,12	6,04
Waldholz-Pellets-HZH	1,32	1,45	0,76	2,54	0,12	6,19
Waldholz-Briketts-EZF	1,32	1,45	0,76	0,00	0,12	3,65
Landschaftspflegeholz- Stückholz-EZF	0,00	0,28	1,30	0,00	3,98	5,57
Industrierestholz-Stückholz- EZF	0,00	0,28	0,00	0,00	3,98	4,26
Industrierestholz-Stückholz- HZH	0,00	0,28	0,00	1,25	0,36	1,90
Industrierestholz-Pellets-EZF	0,00	1,27	0,20	2,39	0,11	3,97
Industrierestholz-Pellets- HZH	0,00	1,27	0,20	2,54	0,10	4,10
Industrierestholz-Briketts- EZF	0,00	1,27	0,20	0,00	0,12	1,59
Altholz-EZF	0,00	2,83	0,36	0,00	3,98	7,17

⁷ UBA (2022): Kohlendioxid-Emissionsfaktoren für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen (1990 – 2020). Korrigierter Endstand: 15.01.2022 (Excel-Tabelle). Umweltbundesamt (UBA). Dessau. Online verfügbar unter: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiQ24WDhdf_AhUeQ_EDHV_sPBOMQFnoECCAQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.umweltbundesamt.de%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fmedien%2F361%2Fdokumente%2Fco2_ef_liste_2022_brennstoffe_und_industrie_final.xlsx&usg=AOvVaw2OzORfMHq2xw_bZiFtoYf&opi=89978449

	Anbau/ Vorkette	Trans- port	Pro- duk- tion	Hilf- senergie	Direkte Verbrennungs- emissionen (CH ₄ , N ₂ O)	SUMME
Altholz-HZH	0,00	2,83	0,36	1,25	0,36	4,80
BMA < 1 MW						
Waldholz-Scheitholz	1,03	0,28	1,30	1,88	1,19	5,68
Waldrestholz	1,03	0,28	1,30	1,88	1,19	5,68
Industrierestholz-stückig	0,00	0,28	0,00	2,12	1,19	3,59
Altholz	0,00	2,83	0,36	2,08	1,19	6,46
BMA > 1 MW						
Waldholz-Scheitholz	1,03	0,28	1,30	1,06	1,17	4,85
Waldrestholz	1,03	0,28	1,30	1,88	1,17	5,66
Industrierestholz-stückig	0,00	0,28	0,00	4,25	1,17	5,70
Industrierestholz-Pellets	0,00	1,27	0,20	2,43	8,27	12,2
Altholz	0,00	2,83	0,36	0,78	1,17	5,14

Quelle: Eigene Darstellung, ifeu (Quellen siehe Text).

Vorketten bei Industrierestholz und Altholz

Da Altholz als Abfall zählt, geht es ohne Vorlasten in die Bilanz mit ein. Da auch keine Verarbeitung nötig ist, entstehen lediglich Emissionen für den Transport sowie bei der Verbrennung.

Industrierestholz, bzw. Sägenebenprodukte sind Nebenprodukte der Holzverarbeitenden Industrie. Das bedeutet, dass sie anteilig zum Hauptprodukt die Lasten von Anbau und Transporten bis hin zur Verarbeitungsstätte tragen. Allerdings sind diese so gering, dass sie in der Bilanz nicht zu Buche schlagen.

C.3 Berechnung der Substitution von konventioneller Energie

Tabelle 14 listet die Emissionsfaktoren der substituierten konventionellen Energie auf, sowie deren zeitlichen Verlauf. Unter dem Begriff konventionelle Energie wird der zu einem Jahr vorherrschende Mix aus unterschiedlichen Energieträgern verstanden. Da der Anteil fossiler Energie im Energiemix künftig sinkt, kommt es insgesamt zu einer Abnahme der Emissionen im Energiemix. Im Projekt BioSINK wird das Produkt „Wärme aus Holz“ mit dem konventionellen Wärmemix verglichen und seine Entwicklung in die Zukunft betrachtet. Im Sinne der THG-Bilanz entspricht dies einem attributiven Ökobilanzansatz.

Tabelle 14: Deutschlandweite Emissionsfaktoren für den konventionellen Strom- und Wärmemix

	2020	2030	2040	2050
Strom [g CO ₂ -Äq. / kWh]	414	172	57,0	13,5
Wärme [g CO ₂ eq / MJ]	66,8	50,3	50,0	3,7

Quelle: modelliert durch ifeu im Rahmen des laufenden Projekts REFINE - Betrachtung von Rohstoffaufwendungen und Umweltwirkungen für die Energiewende in einem ressourcenschonenden und treibhausgasneutralen Deutschland (FKZ 3719 31 103 0).

Die Berechnung der Menge an substituierter konventioneller Energie erfolgt in zwei Schritten:

- Berechnung der Endenergie der Wärme- und Stromerzeugung: In Haushalten und kleinen Biomasseanlagen wird ausschließlich Wärme erzeugt. Mit Hilfe der in Lauf et al. (2021)⁵ veröffentlichten Nutzungsgrade lässt sich die entsprechende Menge an Endenergie berechnen. Die Nutzungsgrade unterscheiden sich dabei nach Anwendungsbereichen (siehe Tabelle 15). Bei großen Biomasseanlagen wird sowohl Strom als auch Wärme produziert. Da sich die Angaben in Lauf et al. (2021)⁵ nicht ohne Weiteres auf große Biomasseanlagen anwenden lassen, wurde die netto erzeugte Wärme- und Strommenge aus BMWi (2021)⁸ abgeleitet.

Tabelle 15: Nutzungsgrade der Wärme- und Stromerzeugung

Anlagentyp	Nutzungsgrad
Haushalte	
ERF-Scheitholz	50%
HZH-Scheitholz	70%
ERF-Briketts	50%
HZH-Briketts	70%
ERF-Hackschnitzel	50%
HZH-Hackschnitzel	75%
ERF-Pellets	80%
HZH-Pellets	85%
Biomasseanlage (BMA) < 1 MW	
Altholz	87%
Industrierestholz	89%
Pellets	84%
Waldholz	78%

⁸ BMWi (2021): Erneuerbare Energien in Zahlen – Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2020. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Berlin. Online verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erneuerbare-energien-in-zahlen-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=1

Anlagentyp	Nutzungsgrad
Biomasseanlage (BMA) > 1 MW	
Wärme	27%
Strom	15%

Quelle: Eigene Darstellung, ifeu.

- Berechnung der substituierten konventionellen Energie: Anhand der in Haushalten und Biomasseanlagen benötigten Mengen an Endenergie lassen sich mit Hilfe von Substitutionsfaktoren die jeweilige Menge an fossiler Energie ableiten (siehe Rechenbeispiele).

Rechenbeispiel: Bereitstellung von 1 TJ Wärme mit Waldholz-Scheitholz in Holzzentralheizungen (HZH) in privaten Haushalten (PHH) im Jahr 2030:

- **Emissionen Waldholz-Scheitholz (HZH, PHH)**
 = Energieverwendung / Nutzungsgrad in Tabelle 15
 * [CO₂-Verbrennungsemissionen von Holz nach UBA (2022)⁷ + übrige Emissionen von Prozesskette und Verbrennung (CH₄, N₂O) in Tabelle 13]
 = 1 TJ / 70% * [102 g CO₂/MJ + 4,23 g CO₂/MJ] = 151,8 t CO₂
- **Substituierte Emissionen aus konventioneller Wärme (2030)**
 = Energieverwendung * Emissionsfaktor für konventionelle Wärme im Jahr 2030 in Tabelle 14)
 = 1 TJ * 50,3 g CO₂/MJ = 50,3 t CO₂
- THG-Bilanz für 1 TJ = Emissionen Waldholz-Scheitholz (HZH, PHH) - Emissionen aus konventioneller Wärme (2030)
 = 151,8 t CO₂ - 50,3 t CO₂ = 101,5 t CO₂

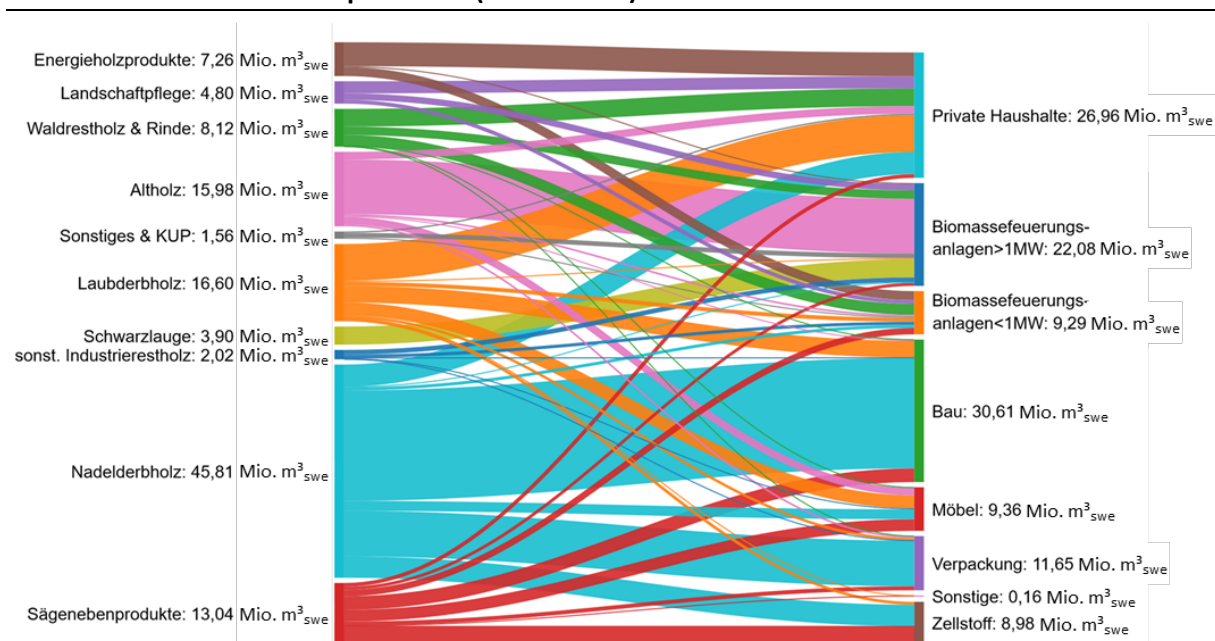
In dem Rechenbeispiel werden bei der Bereitstellung von 1 TJ Wärme mit Waldholz-Scheitholz in Holzzentralheizungen (HZH) in privaten Haushalten (PHH) im Jahr 2030 101,5 t CO₂ mehr freigesetzt im Vergleich zur konventionellen Wärme.

D Flüsse der Holzrohstoffe in Endwarenssektoren im Jahr 2020

Die Flüsse der Holzrohstoffe in die Endverwendungssektoren sind exemplarisch für das Jahr 2020 zu Beginn der Modellierung in Abbildung 55 dargestellt:

- ▶ Nadelderholz und Sägenebenprodukte werden zu hohen Anteilen stofflich in den Sektoren Bau, Möbel, Verpackung und Zellstoff und zu kleineren Anteilen energetisch verwendet werden.
- ▶ Mehr als die Hälfte des Laubderbholzes wird direkt energetisch genutzt, mit einem starken Schwerpunkt in privaten Haushalten.
- ▶ Altholz wird zu sehr hohen Anteilen in großen Biomassefeuerungsanlagen verbrannt und nur zu etwa 15 % stofflich genutzt (Verwendungsschwerpunkt im Möbelsektor).
- ▶ Die übrigen Holzrohstoffe werden fast ausschließlich energetisch verwendet.

Abbildung 55: Verwendung von Holzrohstoffen in Endwarenssektoren im Jahr 2020 in Festmeteräquivalente (Mio. m³swe)



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der Daten des Referenzszenarios für das Jahr 2020. KUP = Kurzumtriebsplantagen, swe = solid wood equivalent.

Energieholzprodukte setzen sich zusammen aus 81,3 % sonst. Industrierestholz, 11,9 % Laubderholz, 3,6 % Schwarzlaube und 3,2 % Landschaftspflegeholz. Menge von KUP in Sonstiges & KUP = 0,09 Mio. m³swe; Menge von Rinde in Waldrestholz & Rinde = 2,39 Mio. m³swe. Nicht berücksichtigt ist Altpapier mit einem Volumen von 44,53 Mio. m³swe. Die Graphik wurde erstellt mit SankeyMATIC.

E Länderstudien

Mit dem Import von Energieholz nach Deutschland besteht das Risiko, dass in den Herkunftsländern negative Auswirkungen auf Umwelt und soziale Aspekte entstehen können. In Hennenberg et al. (2022)⁹ wurden die Handelsströme von Energieholzprodukten und mögliche zukünftige Handelsströme analysiert, um Länder zu identifizieren, für die hohe Exportvolumina nach Deutschland bestehen bzw. entstehen können. Aufbauend auf dieser Analyse wurden für vier Länder jeweils eine vertiefte Länderstudie durchgeführt. Mit **Kanada** und **USA** wurden zwei Länder in Nordamerika und mit **Polen** und **Tschechien** zwei Nachbarländer Deutschlands ausgewählt. Hinweisgebend für zukünftig zu erwartende Entwicklung ist z.B. der Kauf von drei Pelletierwerken im Jahr 2022 durch das Braunkohleunternehmen LEAG in der Lausitz, welches damit sein Portfolio im Biomassesektor ausbaut. So ist ein kontinuierlicher Anstieg der Nachfrage nach Energieholz zu erwarten^{10,11}.

Der Fokus der Länderstudien liegt darauf, die geltenden Vorschriften und die gängige Praxis der Forstwirtschaft zu beschreiben. Die Länderstudien konzentrieren sich darauf, die Risiken im Zusammenhang mit einer erhöhten Entnahme von Energieholz aus Wäldern in Bezug auf Umweltauswirkungen zu bewerten. Als Basis der Analyse wurden mit zwei Experten im jeweiligen Land Interviews geführt. Um nötige und einheitliche Informationen zu erhalten, fanden die Interviews anhand von Leitfragen statt, die vorab an die Teilnehmenden verschickt wurden. Die Leitfragen umfassten drei thematische Bereiche (siehe Interviewleitfaden in Kap. E.5):

E.1 Kanada

Kanada hat eine Landesfläche von rund 10 Mio. km² und eine Waldfläche von 362 Mio. ha (3,62 Mio. km²), was 9 % der Gesamtwaldfläche weltweit und 40% der Landesfläche ausmacht¹². Ungefähr 90 % des kanadischen Waldes befindet sich in öffentlichem Besitz. Davon entfallen 75 % auf die Provinzen, 13 % auf die Territorien und 2 % auf föderalen Besitz. Weitere 8 % der Waldfläche sind Privatwald, und die verbliebenen 2 % besitzt die indigenen Bevölkerung. Der Holzvorrat der kanadischen Waldfläche beträgt schätzungsweise 51 Mrd. m³ Holz, und im Jahr 2019 wurden ca. 50 Mio. m³ Holz geerntet¹³.

Um Auskunft über Kanada zu erhalten, wurden folgende Experten, teils schriftlich, interviewt:

- ▶ Gary Q. Bull¹⁴, Professor an der University of British Columbia, Abteilung „Forest Resource Management“, in Vancouver, British Columbia,
- ▶ Carolyn Smyths¹⁵, Wissenschaftlerin der kanadischen Forstbehörde, Abteilung „Natural Resources“ in Victoria, British Columbia.

⁹ Hennenberg et al. (2022): Aktuelle Nutzung und Förderung der Holzenergie - Teilbericht zu den Projekten BioSINK und BioWISE, UBA, Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/cc_12-2022_aktuelle_nutzung_und_foerderung_der_holzenergie.pdf, zuletzt geprüft am 29.03.2022.

¹⁰ PM der LEAG vom 31.03.2022: <https://www.leag.de/de/news/details/leag-kauft-holzkontor-und-pelletierwerk-schwedt/>

¹¹ PM der LEAG vom 07.10.2022: <https://www.leag.de/de/news/details/leag-gruppe-kauft-pelletierwerke-in-sachsen-und-sachsen-anhalt/>

¹² Brockhaus: <http://brockhaus.de/ecs/julex/article/kanada> (aufgerufen am 2022-07-29)

¹³ The State of Canada's Forests Report 2021

¹⁴ <https://forestry.ubc.ca/faculty-profile/gary-bull/>

¹⁵ <https://opengovca.com/employee/carolyn-smyth>

E.1.1 Geltende Vorschriften und die gängige Praxis der Forstwirtschaft

In Kanada gibt es umfängliche Regelwerke für die Waldbewirtschaftung, die den Fokus auf Nachhaltigkeit legen. Es ist jedoch nach wie vor gelebte Praxis, dass die Holzernte zu 90 % mit Kahlschlägen durchgeführt wird. Viele der Kahlschläge erfolgen in kohlenstoffhaltigen Primärwäldern¹⁶. Aus dem Jahr 2017 wird berichtet, dass im Durchschnitt jährlich eine Fläche von ungefähr 404.000 ha kahlgeschlagen wird. Dies führt zu einer Freisetzung von ca. 26 Mio. t CO₂¹⁷.

Grundsätzlich sind in Kanada die meisten Vorschriften für die Waldbewirtschaftung auf Provinz- oder Territorialebene geregelt¹⁸, da die Waldbewirtschaftung in deren Zuständigkeit liegt. Prinzipien der nachhaltigen Forstwirtschaft finden in allen Provinzen und Territorien zumindest formell eine zentrale Anwendung. Dies belegen u. a. der *Forest Sustainability Act*¹⁹ in Ontario, der *Sustainable Forest Development Act*²⁰ in Quebec, oder die Vorgaben der *Provincial Timber Management Goals*²¹ in British Columbia.

Im Jahr 2019 veröffentlichte der *Canadian Council of Forest Ministers*²² (CCFM) eine aktualisierte, übergeordnete Vision für die Wälder Kanadas bis zum Jahr 2030. In dieser Vision ist die nachhaltige Waldbewirtschaftung ein zentrales Element. So sollen widerstandsfähige und gesunde Wälder hervorgebracht werden, die eine lebendige Gemeinschaft der Bevölkerung unterstützen und stärkere Kooperationen zwischen indigenen Völkern und einer wettbewerbsfähigen Forstwirtschaft generieren²³.

Bundesweite Gesetze, die den Wald betreffen, sind beispielsweise der *Species at Risk Act*, *Fisheries Act*, *Migratory Bird Convention Act* und der *Plant Protection Act*. Föderale forstliche Gesetzgebungen, wie der *Forestry Act* und die *Timber Regulations*, betreffen nur die Flächen, die der Bund besitzt, also ca. 2 % der kanadischen Waldfläche²⁴. In zwei kanadischen Provinzen gibt es Richtlinien, wie mit Ernteresten im Sinne einer nachhaltigen Waldbiomassennutzung umzugehen ist. Richtlinien sind in der Regel freiwillig, können aber dazu anregen, auf das Verbrennen von Ernteresten zu verzichten, was in Kanada als Praxis noch weit verbreitet ist²⁵. Kanada hat für das Jahr 2020 zugesagt, den Verlust von Biodiversität bis zum Jahr 2030 umzukehren, und sich verpflichtet, bis 2030 30 % seiner Land- und Wasserfläche unter Schutz zu stellen²⁶.

Der CCFM hat in einem Statusbericht 2005 Kriterien und Indikatoren einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung erarbeitet. In diesem Bericht sind sechs Kriterien festgelegt:

- biologische Diversität (Ökosystem-, Arten- und genetische Diversität)
- Zustand des Ökosystems und Produktivität,

¹⁶ <https://www.nrdc.org/sites/default/files/missing-forest-canada-logging-carbon-loophole-report.pdf>, p. 10

¹⁷ <https://www.nrdc.org/bio/josh-axelrod/canadas-boreal-clearcutting-climate-threat>

¹⁸ <https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/forests/sustainable-forest-management/canadas-forest-laws/17497>

¹⁹ <https://www.ontario.ca/laws/statute/94c25>

²⁰ <http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=5&file=2010C3A.PDF>

²¹ <https://www2.gov.bc.ca/gov/content/industry/forestry/managing-our-forest-resources/silviculture/timber-management-goals>

²² <https://www.ccfm.org/about/>

²³ <https://www.ccfm.org/wp-content/uploads/2020/08/A-Shared-Vision-for-Canada%E2%80%99s-Forests-Toward-2030.pdf>

²⁴ <https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/forests/sustainable-forest-management/canadas-forest-laws/17497>

²⁵ <https://energysustainoc.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13705-021-00281-w>

²⁶ <https://www.canada.ca/en/employment-social-development/programs/agenda-2030/taking-action-together.html#sdg15>

- ▶ Boden und Wasser,
- ▶ Die Rolle im globalen ökologischen Kreislauf,
- ▶ Ökonomischer und sozialer Nutzen, und
- ▶ Gesellschaftliche Verantwortung.

Alle Kriterien sind mit Indikatoren unterlegt. Beispielfähig gibt es für das Kriterium „Zustand des Ökosystems und Produktivität“ die Indikatoren:

- ▶ gesamte Bestockung unterteilt nach wirtschaftlich relevanten und irrelevanten Baumarten,
- ▶ Zuwachs und Abnahme der Waldfläche nach Ursache,
- ▶ Gestörte Waldfläche durch Brände, Insektenbefall, Krankheitsbefall und Holzeinschlag
- ▶ Waldfläche mit eingeschränkter Funktion aufgrund von Ozon und saurem Regen
- ▶ Anteil der nach einer Holzernte erfolgreich wiederverjüngten Fläche.

Indikatoren des Kriteriums „Biodiversität“ sind u.a.:

- ▶ Waldfläche, aufgeschlüsselt nach Typ und Altersklasse, und Feuchtgebiete in den einzelnen ökologischen Zonen
- ▶ Status von Populationen ausgewählter waldbezogener Arten
- ▶ Genetische Diversität auf Wiederaufforstungsflächen.

Diese Kriterien und Indikatoren werden angewandt, um eine nachhaltige Waldbewirtschaftung zu definieren (siehe unten) und ihren Erfolg zu messen.²⁷

Bezogen auf die konkrete Waldbewirtschaftung heißt das, dass z.B. Ernteraten festgelegt werden, die auf Informationen von Waldinventuren und Fernerkundung bzgl. Baumarten, Alter der Bäume und Standstruktur basieren. Diese Information wird mit Wachstums- und Erntemodellen kombiniert, um nachhaltige Hiebssätze festzulegen, die weiterhin die ökologischen Funktionen des Waldes nicht beeinträchtigen. So wird jährlich eine Menge an erntbarem Holzvolumen festgelegt, die als nachhaltig gilt. Das tatsächlich geerntete Volumen liegt in der Regel unterhalb dieses festgelegten Wertes. Für das Jahr 2020 wurde ein für die Ernte zur Verfügung stehender Holzvorrat von 215,3 Mio. m³ Rundholz ermittelt, tatsächlich geerntet wurden jedoch laut der Nationalen Walddatenbank Kanadas 141,1 Mio. m³.²⁸ Gesetze der Provinzen und Territorien²⁹ finden auch ihre Anwendung, wenn Holz auf Bundesflächen geerntet wird. Dafür werden Bewirtschaftungspläne für einen konkreten Zeitraum für ein bestimmtes Gebiet erstellt. Diese werden von Behörden der Provinzen und Territorien zusammen mit Forstunternehmen und anderen relevanten Interessensgruppen (z.B. NGOs, indigene Völker) nach den jeweils dort geltenden Regelungen und Vorschriften erarbeitet. Die Bewirtschaftungspläne müssen Auskunft über die Waldinventur des entsprechenden Gebiets, die geplante Holzernte (festgelegte Hiebssätze) und die Erneuerung des Waldes geben. Bevor Erntemaßnahmen durchgeführt werden dürfen, müssen Verträge und Genehmigungen vorliegen

²⁷ <https://d1ied5g1xfp8x8.cloudfront.net/pdfs/26366.pdf>

²⁸ https://www.nrcan.gc.ca/sites/nrcan/files/forest/sof2022/SoF_Annual2022_EN_access.pdf

²⁹ Kanada ist ein Bundesstaat, der aus zehn Provinzen und drei Territorien besteht. Dabei sind Provinzen eigenständiger als die Territorien (https://de.wikipedia.org/wiki/Provinzen_und_Territorien_Kanadas).

und die Ausweisung der Einschlagsflächen muss erfolgt sein. Vorab muss auch feststehen, wie das Holz vermarktet und welche Einkünfte damit erzielt werden sollen. Geschlagenes Holz wird von zuständigem Personal nachverfolgt, um sicherzustellen, dass die Menge an geerntetem Industrierundholz innerhalb eines als nachhaltig ausgewiesenen Niveaus liegt²⁴.

Die Erneuerung des Waldes, entweder durch Pflanzungen oder durch natürliche Regeneration nach der Ernte ist in allen Provinzen und Territorien Pflicht. Der Erfolg der Erneuerung wird mithilfe von Standards eingeschätzt. Als Kriterien werden z.B. die Artenzusammensetzung, Dichte und der Bestockungsgrad nach einer bestimmten Zeit genutzt.

Die Ernteraten in Kanada werden bereits seit Jahren stark von natürlichen Störungen beeinflusst, was sich auf künftige Holzerntemengen auswirkt. Beispielsweise wird in der Provinz British Columbia das Angebot an nachhaltigem Holz weiterhin rückläufig sein, weil die jährlich festgelegten Hiebssätze in den kommenden Jahren abgesenkt werden, um somit die Auswirkungen von starkem Käferbefall und heftigen Waldfeuern zu berücksichtigen.

Die Bewirtschaftung des öffentlichen und privaten Waldes in Kanada muss die genannten Anforderungen der Richtlinien und Vorschriften erfüllen. Einige Provinzen haben darüber hinaus Gesetze, die Standards für die Bewirtschaftung privater Wälder festlegen. Auch bei der Holzernte aus privaten Wäldern wird das Holz nachverfolgt, um es vom Holz aus öffentlichen Wäldern (da Gebühren zu entrichten sind) zu unterscheiden. Außerdem gibt es Vorschriften bzgl. Entrinden, Kennzeichnung des Holzes und dessen Transport³⁰. Provinzen, Territorien und Gemeinden bieten Privatwaldbesitzern sogenannte Partnerschaftsprogramme zur Unterstützung an. Diese helfen privaten Waldeigentümern, ihre Waldflächen zu verwalten, Bewirtschaftungspläne zu erstellen, und Erntemaßnahmen regelkonform zu gestalten.

Naturschutz im Wald spielt in Kanada eine sehr große Rolle und ist bereits in vielen Gesetzgebungen und Verordnungen verankert (siehe Ausführungen oben). Auch werden internationale Abkommen, wie die Konvention zur Biodiversität und das Übereinkommen über den internationalen Handel mit gefährdeten Arten freilebender Tiere und Pflanzen in der Gesetzgebung auf der Provinz- und Territorialebene berücksichtigt³¹. Zusätzlich hat Kanada seine nationalen Richtlinien bezüglich verschiedener Kategorien von Schutzgebieten so angepasst, dass sie der Schutzgebietsklassifizierung der IUCN entsprechen. Kanada unterscheidet generell für seine Wälder zwischen Schutz (Protektion) und Erhalt (Konservierung). Beim Schutz werden Waldflächen aus der kommerziellen Nutzung genommen und z.B. in Nationalparke, Naturreservate und weitere Schutzkategorien überführt. Beim Erhalt stehen die Gesundheit und biologische Vielfalt bewirtschafteter Wälder im Vordergrund, d.h. der Fokus liegt auf Wäldern, in denen auch Holzeinschlag stattfindet. Um den Erhalt praktisch umzusetzen werden, wie bereits erwähnt, nachhaltige Bewirtschaftungspläne erstellt, die meist gesetzlich verankert sind (s. oben)³².

Das Nichteinhalten der Vorschriften wird mit harten Strafen oder dem Entzug von Einschlagsgenehmigungen geahndet und durch ein System kontrolliert, dass entnommenes Holz nachverfolgt und überprüft. Analog überwachen staatliche Kontrollen, ob die Vorschriften zur Waldbewirtschaftung eingehalten werden. Beim Verdacht von Verstößen können weitergehende Untersuchungen erfolgen.

³⁰ <https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/forests/sustainable-forest-management/canadas-forest-laws/legality-and-sustainability/13303>

³¹ <https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/forests/sustainable-forest-management/canadas-forest-laws/17497>

³² <https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/forests/sustainable-forest-management/conservation-and-protection-canadas-forests/17501>

Für das Monitoring werden die Erntemengen für einen Zeitraum von 5 bis 10 Jahren festgelegt. Die genaue Anzahl der Jahre ist abhängig von den Regelungen in der/m jeweiligen Provinz/Territorium. Die Erntemengen dürfen in der gesamten Periode nicht überschritten werden. Jährliche Abweichung hingegen dürfen in einer Größenordnung von bis zu 50 % auftreten³³.

Laut einem Experten wird mittlerweile jedoch mehr Holz auf Grund von Sanitärhieben geerntet als durch geplante Holzentnahmen, auch aufgrund der Absenkung von Hiebsätzen (s.o.). Das Entnehmen des Schadholzes wird als sinnvoll erachtet, da dadurch brennbares Material entfernt und somit Waldbränden vorgebeugt wird. Die Nationale Walddatenbank erfasst jedoch nur die Fläche der Wälder, die durch Insektenbefall oder Waldfeuer Schaden genommen haben, nicht aber die Menge an entnommenem Schadholz.

In Kanada wird für die Zertifizierung von Pellets and Holzhackschnitzel das Zertifizierungssystem Sustainable Biomass Program³⁴ (BSP) genutzt. Damit soll sichergestellt werden, dass die verwendete Biomasse aus legalen und nachhaltigen Quellen stammt. Das System ist so ausgerichtet, dass es auch die Vorschriften der Erneuerbaren Energien-Richtlinie (RED II) einhält.

E.1.2 Risikoabschätzung in Hinblick auf Umweltauswirkungen einer gesteigerten Energieholz-Entnahme

Umweltauswirkungen durch die Waldbewirtschaftung in Kanada wurden 2014 von Venier et al.³⁵ wissenschaftlich publiziert. Das Resultat einer Analyse von über 600 Studien zu borealen Wäldern in Kanada hat ergeben, dass Änderungen in der Zusammensetzung der Artengemeinschaften als Reaktion auf großflächige Umwandlungen von Waldtypen weit verbreitet sind. Auswirkungen zeigen sich auch in der Bestandstruktur, Altersklassenverteilung und einer veränderten Landschaftsstruktur. Hervorzuheben ist hier der Rückgang der Weiß-Fichte (*P. glauca*) im Osten Kanadas. In Ontario hat sich zwischen den 1960er und 1980er Jahren der Bestand der Weiß-Fichte um 50 % reduziert. Auch die Weißkiefer (*P. strobus*) und Rotkiefer (*P. resinosa*) sind in ihrem borealen Verbreitungsgebiet stark reduziert worden. Bei der Weißkiefer hat sich die Situation zusätzlich verschärft, da der eingeschleppte Blasenrost Sämlinge und Jungbäume leicht abtötet. Die wohl bemerkenswerteste Auswirkung des Holzeinschlags auf der Landschaftsebene ist die eingeschränkte Altersklassenverteilung der Bestände. Mitte des 20sten Jahrhunderts wurden bevorzugt die alten Waldbestände geerntet, um eine einheitliche Altersklassenverteilung zu erreichen, die nicht über die festgelegte Hiebsreife hinausging. Dies führte dazu, dass in Teilen im Südosten Quebecs innerhalb von 80 Jahren der Anteil an über 60-jährigen Wäldern von 80 % auf 20 % reduziert wurde. In Neufundland sind die Bestände von über 80 Jahre alten Balsam-Tannen (*A. balsamea*) auf der Landschaftsebene auf nur 25 % geschrumpft.

Der Verlust von kompletten Waldhabitaten wird anderen Entwicklungen, wie Öl-, Gas-, Wasserkraftgewinnung und Bergbau zugeschrieben. Der südliche Wald in Kanada ist davon stärker betroffen als Wälder im nördlichen Teil, da im Norden eine extensivere Forstwirtschaft stattfindet und sich im Süden die Effekte verschiedener Entwicklungen akkumulieren. Im Jahr 2009 wurden in kleineren kanadischen Studien die Auswirkungen der Waldbewirtschaftung auf

³³ <http://nfdp.ccfm.org/en/data/woodsupply.php>

³⁴ <https://sbp-cert.org/>

³⁵ Effects of natural resource development on the terrestrial biodiversity of Canadian boreal forests; <https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/er-2013-0075>

den Wasserhaushalt begutachtet. Die Effekte auf die Hydrologie und Wasserqualität sind vielfältig und variieren stark hinsichtlich ihrer Größenordnung und zeitlichen Dimension. Sie sind außerdem von vielerlei Faktoren wie Topographie, Geologie, Waldtyp, etc. abhängig³⁶. Generell kann festgehalten werden, dass die Holzernte zu einem Anstieg der Wasserstände bei Niedrigwasserabfluss führt, da aufgrund der entfernten Bäume weniger Transpiration stattfindet. Letzteres kann sich als hilfreich erweisen, wenn dadurch die Effekte saisonaler Dürren reduziert werden. Im Gegenzug erhöht sich auf beernteten Waldflächen aber die Sonneneinstrahlung auf den Boden und hat damit Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, wie beispielsweise auf die Schneeschmelze, Evapotranspiration und Bodenfrost. In Summe führt aber die Verringerung der Blattoberflächen, Interzeption und Evapotranspiration durch die Entnahme der Bäume zu einer Zunahme der Bodenfeuchtigkeit und einer größeren Verfügbarkeit von Wasser für die Speisung der Flüsse.

Die Fähigkeit zur Kohlenstoffbindung durch kanadische Wälder nimmt bereits seit Jahren ab. Seit dem Jahr 2000 ist der kanadische Wald eine Treibhausgasquelle. Hohe Emissionen stammen insbesondere von Flächen mit Insektenbefall, Sanitärhieben und Waldbränden. Für das Jahr 2019 wurden für bewirtschaftete Wälder Emissionen von 164,4 Mio. t CO₂äq berichtet. Sie traten auf durch Insektenbefall (9,1 Mio. ha), Waldbrände (1 Mio. ha), Sanitärhiebe (0,6 Mio. ha) und sonstige Bewirtschaftungsmaßnahmen (1,2 Mio. ha)³⁷.

Auswirkungen auf den Boden durch die Holzernte, z.B. eine Veränderung der Nährstoffverfügbarkeit, werden laut interviewten Experten als nicht kritisch angesehen. Nach dem Boreal Report von 2020 finden jedoch durchaus Bodenstörungen im Zuge von Holzernten statt³⁸. Derzeit wird auch erforscht, wie sich eine gesteigerte Holzernte durch eine zunehmende Nachfrage nach Energieholz auswirkt.³⁹ Als problematisch wird nach Expertenmeinung die Zahl der entstehenden Straßen bei der Erschließung von alten Wäldern angesehen (negative Folgen durch erhöhte Fragmentierung und verbesserte Zugänglichkeit).

E.1.3 Export von Energieholz

Energieholz findet in Kanada vorwiegend Anwendung in der Herstellung von Pellets. Das Material für die Pellet-Erzeugung stammt aus Rest- und Abfallholz in den Sägewerken (laut Experten bis zu 80 %), Ernterückständen, sowie minderwertigem Rundholz. Im Rahmen einer Recherche der BBC aus dem Jahr 2022 wurde jedoch plausibel dargelegt, dass ein großer Pellet-Hersteller auch Holz aus Primärwäldern für die Herstellung bezieht.⁴⁰

Im Jahr 2005 wurden 0,4 Mio. t hergestellt, während es im Jahr 2018 bereits 3 Mio. t waren. Davon wurden 2,6 Mio. t exportiert⁴¹. Laut Expertengespräch wird davon die Hälfte in die EU und die andere Hälfte in den asiatischen Markt exportiert. Laut FAO-Statistik⁴¹ exportierte Kanada im Jahr 2020 0,1 Mio. m³ (ca. 0,05 Mio. t) Woodchips, 1,2 Mio. m³ (ca. 0,6 Mio. t) Ernterückstände und 2,9 Mio. t Pellets. Auch in Kanada selbst nimmt die Energieversorgung durch Biomasse zu und liegt heute bei ca. 6 %¹³.

³⁶ <https://www.ncasi.org/wp-content/uploads/2019/02/tb969.pdf>

³⁷ <https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/forests/state-canadas-forests-report/disturbance-canadas-forests/16502>

³⁸ <https://naturecanada.ca/wp-content/uploads/2020/07/Boreal-Report-2020.pdf> p. 7

³⁹ <https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/forests/sustainable-forest-management/conservation-and-protection-canadas-forests/soil/13205>

⁴⁰ <https://www.bbc.com/news/science-environment-63089348>

⁴¹ <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>

Laut einer auf Dezember 2022 datierten Pressemitteilung des kanadischen Amts für Statistik gibt es eine gesteigerte Nachfrage nach Energieprodukten (+ 8,1 % gegenüber dem Vorjahr). Diese wird mit dem Russischen Angriffskriegs auf die Ukraine in Verbindung gebracht. Der Statistik sind jedoch nur die konkreten Zunahmen bei den fossilen Energieträgern zu entnehmen, nicht aber eine Zunahme bei Biobrennstoffen⁴². Das Magazin „Canadian Biomass“ berichtete im April 2022, dass die Biomasseexporte nach Europa im Jahr 2021 eher rückläufig waren⁴³. Für Deutschland kann anhand der Datenlage keine erhöhte Nachfrage festgestellt werden. Vorhersagen lassen sich aber derzeit schwer treffen und auch eine Konkurrenzsituation durch den Export nach Deutschland wird von den Experten als gering eingestuft.

E.2 USA

Die Vereinigten Staaten von Amerika haben eine Landesfläche von rund 9,8 Mio. km² und eine Waldfläche von 310 Mio. ha. Das entspricht 34 % der Fläche der USA. Ungefähr 42 % des US-amerikanischen Waldes befindet sich auf öffentlichem Land (föderaler Besitz: 31 %, Staaten: 9 %; Besitz von kleineren Verwaltungsbezirken (County): 2 %). Privatwaldflächen beziffern sich auf 58 %, und unterteilen sich in Waldbesitz von Unternehmen (20 %) und Waldbesitz von Privatleuten (38 %)⁴⁴. Von den 310 Mio. ha. Waldfläche werden ca. 67 % als „Holzland“⁴⁵ (timber land) geführt. Auf dieser Fläche „timber land“ befindet sich schätzungsweise ein Holzvolumen von 31 Mrd m³.⁴⁶ Im Jahr 2018 wurden ca. 438 Mio. m³ Holz geerntet⁴⁷.

Um Auskunft über die USA zu erhalten, wurden folgende Experten interviewt:

- ▶ Dr. Puneet Dwivedi⁴⁸, Dozent der Warnell School für Forstwirtschaft und natürliche Ressourcen der Universität Georgia, Experte für Energieholz
- ▶ Dr. Dominick A. DellaSalla⁴⁹, Leitender Wissenschaftler des Projektes „Wild Heritage“ des Earth Island Institute (NGO)

Weitere Information wurden per E-Mail von Dr. Sam Davis⁵⁰ von der Organisation Dogwood Alliance und von Bob Abt⁵¹, Dozent am College für Natürliche Ressourcen der State Universität North Carolina, bereitgestellt. Von Bob Abt wurde außerdem online eine Vortragsaufzeichnung zum Thema „Southern Forest Markets: Pellets and Forest Carbon“ zur Verfügung gestellt. Der Fokus war auf den Südosten des Landes gerichtet, da dort viel Energieholz gewonnen wird.

⁴² <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/221208/dq221208d-eng.htm>

⁴³ <https://www.canadianbiomassmagazine.ca/comparing-pellet-export-trends-in-the-u-s-and-canada/>

⁴⁴ <https://usforests.maps.arcgis.com/apps/Cascade/index.html?appid=d80a4ffed7e044219bbd973a77bea8e6>

⁴⁵ Waldflächen, die unter natürlichen Bedingungen mehr als 20 Kubikfuß pro Hektar und Jahr an industriellen Rundholzprodukten erzeugen oder erzeugen können, die nicht durch Gesetz oder Verwaltungsvorschriften der Holznutzung entzogen sind und die nicht mit der städtischen oder ländlichen Entwicklung verbunden sind.

https://www.fs.usda.gov/srsfia/php/tpo_2009/tpo_docs/DEFINITIONS.htm

⁴⁶ <https://experience.arcgis.com/experience/82dcef460b1a470db0f8f4dd7cf6f9b7/page/The-Growing-Forest/>

⁴⁷ <https://www.forest2market.com/blog/how-much-timber-does-the-us-harvest-and-how-is-it-used>

⁴⁸ <https://rivercenter.uga.edu/dr-puneet-dwivedi/>

⁴⁹ <https://wild-heritage.org/about/v>

⁵⁰ <https://www.dogwoodalliance.org/about-us/our-staff/>

⁵¹ <https://cnr.ncsu.edu/directory/robert-c-abt/>

E.2.1 Geltende Vorschriften und die gängige Praxis der Forstwirtschaft

In den USA gibt es Waldgesetze auf Ebene der Bundesstaaten, die nur für die staatlichen Flächen gelten. Zu nennen ist der *Multiple Use Sustained Yield Act*⁵² von 1960, der die Verwaltung und Einrichtung der staatlichen Wälder regelt, so dass diese für unterschiedliche Zwecke genutzt werden können. Auf nationaler Ebene wurde 1976 der *National Forest Management Act*⁵³ verabschiedet, um der Zerstörung von natürlichen Ökosystemen auf öffentlichen Waldflächen entgegenzuwirken. Für private Wälder existieren zudem auf der Ebene der Bundesstaaten Gesetze zu forstwirtschaftlichen Praktiken sowie zusätzlich verschiedene Programme, die auch private Wälder mit einbinden, wie beispielsweise beim Vorbeugen von Waldbränden, Waldgesundheit, Hilfe für Privatwaldbesitzer, etc.⁵⁴. In Kalifornien liegen direkte Gesetze vor, die die Holzernten im Privatwald regeln⁵⁵.

Laut Auskunft des US Forest Services⁵⁶ wird mit der geänderten Fassung des *National Forest Management Act* von 2012 der US Forest Service angehalten, Bewirtschaftungspläne für seine Wälder zu entwickeln⁵⁷. Die Pläne fokussieren sich auf die Bewirtschaftung der Waldbestände, die Wiederherstellung von Ökosystemen, den Erhalt von gesunden Wäldern und die Verringerung von Gefahren.

Firmen, die Holz ernten, müssen mit einem Plan für die Holzentnahme bei der zuständigen Behörde des Bundesstaates vorstellig werden. Leben beispielsweise geschützte Arten in den für die Ernte vorgesehenen Gebieten, müssen Konsultationen und Maßnahmen zu deren Schutz durchgeführt werden.

In den Bundesstaaten werden spezielle Trainings für das Personal der Forstbetriebe durchgeführt, damit die Holzernte möglichst schonend für Wald und Boden erfolgt (beispielsweise in Georgia: *Master Timber Harvester Program*⁵⁸). Laut Experten zeigen Forschungsergebnisse, dass das trainierte Personal den Wald wesentlich nachhaltiger bewirtschaftet als nicht-trainiertes Personal. Eine gute fachliche Praxis der Waldbewirtschaftung (best management practices) ist in vielen Staaten als Handbuch hinterlegt (bspw. von Georgia und North Carolina)⁵⁹. Diese Handbücher werden regelmäßig aktualisiert, sind jedoch in ihrer Anwendung freiwillig. Sie legen u. a. fest, wie Holzernten entlang von Gewässern zu planen sind, Rückegassen angelegt und wieder zurück gebaut werden müssen, und wie die Holzernte durchzuführen ist. Außerdem definieren sie Kriterien zur Flächenvorbereitung für Neuanpflanzungen, zur generellen Bewirtschaftung des Waldes, und auch zu Naturschutzmaßnahmen. Zertifizierte Sägewerke/Firmen müssen gegenüber ihren Kunden garantieren, dass geliefertes Ernteholz aus Wäldern stammt, in denen die gute fachliche Praxis angewandt wird. Die Einhaltung wird durch zufällige Kontrollen überprüft. Wenn diese Prüfung negativ ausfällt, kann der Holzhersteller vom Verkauf der Ernte ausgeschlossen werden. Auf Ebene der Bundesstaaten gibt es außerdem Forstbehörden, z. B die Forestry Commission⁶⁰

⁵² <https://lpldd.org/resources/multiple-use-and-sustained-yield-act-of-1960/>

⁵³ https://sierraforestlegacy.org/FC_LawsPolicyRegulations/FPP_NFMA.php

⁵⁴ <https://www.ncforestservice.gov/publications/NCFY2022Standard.pdf>, <https://gatrees.org/forest-management-conservation/>

⁵⁵ <https://www.fire.ca.gov/programs/resource-management/forest-practice/>

⁵⁶ nationale forstliche Verwaltung; <https://www.fs.usda.gov/>

⁵⁷ <https://www.fs.usda.gov/main/planningrule/home>

⁵⁸ <https://gamth.org/>

⁵⁹ Georgia: <https://gatrees.org/wp-content/uploads/2020/02/BMP-Manual-2019-Web.pdf>;

North Carolina: https://www.ncforestservice.gov/water_quality/bmp_manual.htm

⁶⁰ <https://gatrees.org/>

in Georgia oder den Forest Service⁶¹ in North Carolina, die Privatwaldbesitzer beraten und beim Erstellen von Bewirtschaftungsplänen unterstützen. Die Bewirtschaftung von Wäldern, die im Besitz der indigenen Bevölkerung sind, hängt hingegen von deren Regeln ab. Über die Regeln entscheidet der Rat der indigenen Bevölkerungsgruppe.

Die Experten bewerten die Auswirkungen der heutigen Forstwirtschaft sehr unterschiedlich. Es gibt die Aussage, dass die Auswirkungen auf den Boden, den Wasserhaushalt und die Biodiversität eher gering sind, da bei der Holzernte die gute fachliche Praxis zur Anwendung kommt. Eine deutlich gegenteilige Aussage bewertet die Auswirkungen auf den Wald seit der Besiedlung der USA als sehr gravierend. Eine Vielzahl an Arten befinden sich am Rande des Aussterbens, Kohlenstoff wird emittiert, die Wasserqualität nimmt ab, Landschaften sind wesentlich brandgefährdeter, die Fragmentierung der Wälder schreitet voran und bringt nicht funktionierende Wald-Ökosysteme hervor. Als ein Kriterium für den schlechten Zustand der Wälder der USA wird genannt, dass nur noch 5 % der Waldfläche in den USA Primärwälder sind. Insbesondere im Südosten wurden und werden die Wälder in schnell wachsende „Faserfarmen“, mit einer Umtriebszeit von 12 Jahren, umgewandelt.

Laut eines Experten werden die Gesetze und Regularien für die bewirtschafteten staatlichen Flächen als unzureichend eingeschätzt, da kein ausreichender Schutz für z.B. ganze Ökosysteme gegeben ist. Zwar werden einzelne Tierarten (s. *Engangered Species Act*, siehe weiter unten) unter Schutz gestellt, was jedoch allein unzureichend ist, wenn nicht auch deren Habitate ausreichend geschützt werden. Die Wirksamkeit der Gesetzgebung für den Schutz von Waldökosystemen im Privatwald wird als noch schlechter bewertet als für staatliche Waldflächen.

Gesetze, die das Thema Naturschutz im Wald adressieren, sind der *Endangered Species Act*⁶², der 1973 zum Schutz und zur Erholung von gefährdeten Arten in Kraft trat, der *Clean Air Act*⁶³ von 1970, der *Clean Water Act*⁶⁴ aus dem Jahr 1972 und der *National Environmental Policy Act*⁶⁵ von 1969. Letzterer hat zum Ziel, das allgemeine gesellschaftliche Wohlergehen zu fördern und zu unterstützen, um Bedingungen zu schaffen und zu erhalten, unter denen Mensch und Natur in produktiver Harmonie existieren können. Auch sollen soziale, wirtschaftliche und weitere Bedürfnisse gegenwärtiger und zukünftiger Generationen erfüllt werden. Der *Wilderness Act*⁶⁶ von 1964 ermöglicht es dem Kongress, Flächen als Wildnis auszuweisen, in denen menschliches Bewirtschaften untersagt ist. Diese Praxis hat in den letzten Jahren deutlich abgenommen, da mit der Notwendigkeit zur Prävention von Waldfeuern erfolgreich gegen das Etablieren von Wildnis argumentiert wird.

E.2.2 Risikoabschätzung in Hinblick auf Umweltauswirkungen einer gesteigerten Energieholz-Entnahme

Im Juli 2022 hat der US-amerikanische Kongress den *Reconciliation Bill*⁶⁷ beschlossen. Dieser beinhaltet zwei Gesetzgebungen, die hohe Subventionen⁶⁸ für die Herstellung und Nutzung von

⁶¹ <https://www.ncforestsERVICE.gov/index.htm>

⁶² <https://www.fws.gov/law/endangered-species-act>

⁶³ <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-air-act>

⁶⁴ <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-water-act>

⁶⁵ <https://www.energy.gov/nepa/downloads/national-environmental-policy-act-1969>

⁶⁶ <https://www.justice.gov/enrd/wilderness-act-1964>

⁶⁷ <https://budget.house.gov/publications/report/2022-budget-resolution-and-reconciliation>

⁶⁸ <https://www.taxpayer.net/energy-natural-resources/top-bioenergy-budget-busters-in-reconciliation-bill/>

Energieholz in den USA bereitstellen und diese Form der Energie als „saubere, erneuerbare Energie“ deklarieren. Deshalb ist anzunehmen, dass es im heimischen Markt als Folge einen gesteigerten Bedarf an Energieholz geben wird. Ein Experte hält es für realistisch, dass eine Steigerung der Holzentnahme für Energieholz zu erwarten ist und dass sich dadurch die bereits genannten negativen Effekte auf der Waldfläche ausweiten und verstärken werden. Die zweite Expertenmeinung schätzt die Auswirkungen einer verstärkte Holzenergienutzung hingegen als weniger kritisch für die Wälder ein.

In den USA gibt es derzeit keine großen Feuerstätten für Energieholz. Versuche, große Verfeuerungsanlagen für die Energie- oder Wärmegewinnung zu etablieren, sind bisher aufgrund einer fehlenden staatlichen Förderstruktur gescheitert⁶⁹. Pellets finden, laut Experten, innerhalb der USA nur in kleinen Heizungsanlagen in Privathaushalten Verwendung und auch nur in Regionen, in denen es im Winter sehr kalt wird.

E.2.3 Export von Energieholz

Laut einem der Großhersteller von Pellets in den USA wird für die Erzeugung von Energieholzprodukten ausschließlich minderwertiges Holz, Kronenreste, Durchforstungsholz und Reste von Sägewerken verwendet⁷⁰. Es wurde jedoch nachgewiesen, dass ein Großteil des in den USA zu Pellets verarbeiteten Holzes nicht aus Abfällen der Sägeindustrie oder Ernterückständen stammt, sondern aus ganzen Stämmen. Nach Vorort-Recherchen zeigt sich auch, dass Flächen nicht nur durch Kahlschlag geräumt werden, sondern auch, dass kahlgeschlagene Flächen nicht wieder aufgeforstet werden^{71,72}. Ebenso erfasst die Datenbank der offiziellen Statistik zu „*Timber Products Outputs*“ Energieholz unter den Produkten, die aus Rundholz gefertigt werden⁷⁶.

Die hier dargestellte Information hat einen Schwerpunkt-Fokus auf den Südosten der USA, da 99 % des Exports von Pellets aus den USA aus dieser Region stammt. Generell variiert der Anteil der Ernte, der für Energieholz genutzt wird, in den Bundesstaaten stark. Die Bundesstaaten mit dem höchsten Stammholzanteilen an der Holzenergieproduktion sind Virginia (17 %), North Carolina (13 %), Georgia (11 %) und Florida (11 %)⁷³. Am Beispiel von North Carolina zeigt sich, dass ca. 50 % des genutzten Holzes für Pellets aus Harthölzern stammt, darunter Amberbaum (*Liquidambar styraciflua*), Tulpenbaum (*Liriodendron tulipifera*), Eiche, Ahorn und weitere Arten. Zu weiteren 40 % wird Kiefer verwendet⁷⁴. Insgesamt scheint aber der Anteil an Weichhölzern für Energieholzbereitstellung zu überwiegen (siehe Datenbank *Timber Forests Outputs*). Danach wurden für die energetische Nutzung im Jahr 2020 fast 14 Mio. t Weichholz-Rundholz⁷⁵ geerntet, und ca. 6 Mio. t Rundholz war Hartholz⁷⁶. Dies stimmt auch mit der Expertenaussage überein, dass ca. 2/3 des genutzten Holzes für die Energiegewinnung von Nadelhölzern stammt, und davon ca. die Hälfte aus Nadelholzplantagen.

⁶⁹ <https://media.dogwoodalliance.org/wp-content/uploads/2020/09/Can-Biomass-Companies-Stay-Afloat-S4F-Report.pdf>

⁷⁰ <https://www.envivabiomass.com/modern-biomass/about-wood-pellets/how-pellets-are-made/>

⁷¹ <https://media.dogwoodalliance.org/wp-content/uploads/2019/07/Biomass-Investigation-Booklet-2019.pdf>

⁷² <https://news.mongabay.com/2022/12/envivas-biomass-lies-whistleblower-account/>

⁷³ Timber Products Output: <https://public.tableau.com/views/FIATPOOneClickFactsheet/StateSelection?%3AshowVizHome=no#1>

⁷⁴ Timber Products Output: https://public.tableau.com/views/TPOREPORTINGTOOL/Table4_1VolumebySpeciesProductGreenTons?%3AshowVizHome=no

⁷⁵ ungetrocknet

⁷⁶ <https://public.tableau.com/views/TPOREPORTINGTOOL/Table3VolumebyProductSourceMCF?%3AshowVizHome=no>

In den USA wird derzeit fast die gesamte Pelletproduktion am europäischen Markt (hauptsächlich Großbritannien) verkauft⁷⁷. Alle Großanlagen, die Pellets herstellen, produzieren diese für den Export. Bevor die EU im Jahr 2009 ihre Ziele für erneuerbare Energien auf 20 % für das Jahr 2020 angehoben hat⁷⁸, wurden im Jahr 2011 mit weniger als 1 Mio. t nur geringe Mengen an Pellets in den europäischen Raum geliefert. Im Jahr 2021 wurden bereits 8,3 Mio. t exportiert⁷⁹.

Nach Information der Organisation Dogwood Alliance stieg der Pelletexport nach Deutschland in den Jahren 2019 bis 2021. In den letzten 10 Jahren wurden insgesamt 70.375 t aus den USA nach Deutschland exportiert⁷⁹. Aufgrund von Limitierungen in der Datenerfassung ist anzunehmen, dass die nach Deutschland exportierte Menge real noch höher ist.

Die Auswirkungen eines erhöhten Energieholzexports werden von einem Experten vor allem als nachteilig für einzelne Gemeinden angesehen, die sich in unmittelbarer Nähe von Produktionsstätten von Energieholz befinden. Diese werden als Konflikt-Gemeinden zum Thema „Umweltgerechtigkeit⁸⁰“ bezeichnet, die sich dadurch auszeichnen, dass die Bevölkerung farbiger ist und über ein geringes Einkommen verfügt (Umwelttrassismus). Genannte Konsequenzen erhöhter Energieholzerzeugung beinhalten einen weiteren Verlust der jetzigen Lebensqualität in den umliegenden Gemeinden. Berichtet wird jetzt bereits von Schlafproblemen, Atemwegserkrankungen, lautem LKW-Verkehr, ununterbrochenem Lärm durch die Pelletfabriken (keine Ruhetage oder -zeiten), sowie Kahlschläge und abgeerntete Wälder in der nahen Umgebung, die zuvor für Erholung genutzt wurde (Wandern, Angeln, etc.).

Ein weiterer Aspekt, der eher auf eine Konkurrenzsituation der verschiedenen Holznutzungsbranchen hinweist, ist laut einem Experten, dass die papier- und zellstoffverarbeitende Branche stark unter den gestiegenen Holzpreisen leidet und den Energieholzsektor für die Preissteigerung verantwortlich macht. Allgemein wird aber eher davon ausgegangen, dass eine erhöhte Nachfrage ausschließlich einen steigenden Energieholzpreis nach sich ziehen wird, den die Konsumenten – vorwiegend in Europa – begleichen müssen.

Trotz des bereits erwähnten *Reconciliation Bill* wird von den interviewten Experten davon ausgegangen, dass in naher Zukunft keine Konkurrenz zwischen Exporten und heimischem Markt zu erwarten sind, da es derzeit keine großen Biomasse-Heizanlagen gibt (s. Kap. E.2.2). Laut Expertenmeinung sind die exportierenden Firmen an langfristige Aufträge von 5 – 20 Jahren mit Regierungen anderer Länder und Energieversorgern gebunden. Daher wird vermutet, dass die Produktion von Energieholz eher weiter gesteigert wird. Im Falle einer erhöhten inländischen Nachfrage nach Energieholz kann nicht davon ausgegangen werden, dass sich der Export verringert. Hier besteht ein deutliches Risiko für eine Konkurrenzsituation auf dem heimischen Markt der USA.

E.2.4 Sumpfwälder

Sumpfwälder machten früher einen großen Teil des Waldes im nordamerikanischen Süden aus. Zwischen 1850 und 1920 wurde der größte Teil dieser Wälder zerstört. Seitdem wachsen sie langsam wieder nach.

⁷⁷ Pellets finden, laut Experten, innerhalb der USA nur in kleinen Heizungsanlagen in Privathaushalten Verwendung und auch nur in Regionen, in denen es im Winter sehr kalt wird.

⁷⁸ https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Recht-Politik/EU_Richtlinie_fuer_EE/eu_richtlinie_fuer_erneuerbare_energien.html

⁷⁹ Information schriftlich erhalten, die Herkunft der Daten stammt von US Census Export Trade Office: <https://usatrade.census.gov/>

⁸⁰ Environmental justice

Die Holzernte in Sumpfwäldern kann besonders schwierig sein, da sie einen Teil des Jahres oder das ganze Jahr über unter Wasser stehen. Außerdem wachsen viele Sumpfwaldbäume krumm oder haben hohle Stammanteile, was die Verwendung dieser Bäume für die Herstellung von Papier, Zellstoff oder Schnittholz schwierig macht. Daher wurden diese Wälder häufiger von einer Abholzung ausgenommen. Auch Trockenlegung und Kultivierung anderer Baumarten trat selten auf. Dies ist von Bedeutung, weil Sumpfwälder etwa fünfzehnmal mehr Ökosystemleistungen erbringen als gepflanzte Kiefernwälder. Gerade im Hinblick auf klimatische Veränderungen können diese Ökosystemleistungen bedeutend für die Stabilität der Waldökosysteme sein.

Da die Holzpelletindustrie keine qualitativ hochwertigen Bäume benötigt, sind Bäume aus Sumpfwäldern in den Fokus der energetischen Holznutzung gerückt. So konnte laut einem Experten beobachtet werden, dass die im Ausland gestiegene Nachfrage nach amerikanischen Holzpellets (Kap. E.2.3) dazu führte, dass Biomasseunternehmen vermehrt die Abholzung von über 60 Jahre alten Sumpfwäldern in den Fokus nehmen.

E.3 Polen

Polen hat eine Landesfläche⁸¹ von 312.685 km² und eine Waldfläche von ca. 9 Mio. ha (90.000 km²), was knapp 30 % der Landesfläche ausmacht. Ungefähr 77 % des polnischen Waldes befindet sich auf öffentlichem Land, ca. 20 % sind Privatwald und die verbliebene Fläche verteilt sich auf Nationalparke und Gemeinden. Die Waldfläche Polens vergrößerte sich in den letzten Jahrzehnten ausgehend von ca. 21 % der Landesfläche im Jahr 1945 auf heute 30 %⁸². Die Gründe dafür sind vielfältig. Direkt nach dem 2. Weltkrieg kam es zu großen Umsiedlungen von Bewohnern der Karpaten. Da der menschliche Einfluss sich dort dadurch sehr stark reduzierte, konnte regional natürliche Sukzession stattfinden und die Waldfläche nahm zu. Eine natürliche Waldzunahme fand auch nach 1990 statt, da im Zuge politischer Umbrüche viele ehemals landwirtschaftliche Flächen nicht mehr bewirtschaftet wurden⁸³. Zusätzlich gibt es das nationale Programm zur Vergrößerung der Waldfläche mit der Zielsetzung, die Waldfläche auf 33 % der Landesfläche zu erhöhen⁸². Der polnische Wald besteht zu 74 % aus Nadelbäumen (66 % Kiefer) und zu 26 % aus Laubbäumen⁸⁴. Laut dem forstlichen Statistischen Jahrbuch Polens befinden sich 2,4 Mrd. m³ Holz auf der Waldfläche und das durchschnittliche Bestandsalter liegt bei 60 Jahren. Im Jahr 2020 wurden 39,7 Mio. m³ Holz geerntet⁸⁵.

Die Sortimente, die als Energieholz verwendet werden, sind laut Wieruszewski et al. (2022)⁸⁶ Stämme mit einer Mindestlänge von 1,5 m (M1), Rundholz mit einem Durchmesser von 7-11 cm (mit Rinde) gemessen in 1 m Abstand vom dickeren Ende (S3A), mittelgroßes Feuerholz mit einem oberen Minstdurchmesser ohne Rinde von 5 cm (S4), mittelgroße industrielle Sortimente (S2AP) mit einem oberen Minstdurchmesser ohne Rinde von 5 cm und Restholz (M2E), welches nach der maschinellen Bearbeitung übrig bleibt. Die Sortimente der Klassen S4 und S2AP sind in Polen mengenmäßig die relevantesten. Bei letzterer nahm die Aufarbeitung und Verwendung von Kalamitätsholz stark zu. Im Jahr 2020 wurden 7,5 Mio m³ der erwähnten

⁸¹ The Statesman's Yearbook 2022, Springer Nature Limited 2022, <https://doi.org/10.1057/978-1-349-96045-3>

⁸² <https://www.lasy.gov.pl/en/pro/our-forests/polish-forests>

⁸³ Expert interview

⁸⁴ Forest Data Bank: https://www.bdl.lasy.gov.pl/portal/Media/Default/Publikacje/GUS_lesnictwo_2021.pdf

⁸⁵ Forest Data Bank: https://www.bdl.lasy.gov.pl/portal/Media/Default/Publikacje/GUS_lesnictwo_2021.pdf Tabelle 2.

⁸⁶ <https://doi.org/10.3390/en15186812>

Holzsortimente geerntet und zu Energieholz weiterverarbeitet, was 18 % des gesamten Holzeinschlags in Polen entspricht. Dabei wird zu 87 % Nadelholz für die Gewinnung von Energieholz eingesetzt⁸⁴.

Um Auskunft über Polen zu erhalten, wurden folgende Experten interviewt:

- ▶ Prof. Jerzy Szwagrzyk⁸⁷, Landwirtschaftliche Universität Krakow, Leiter der Abteilung Waldbiodiversität; Experte in Waldökologie und Naturschutz
- ▶ Michał Kolbusz, Stowarzyszenie Pracownia na Rzecz Wszystkich Istot⁸⁸, Experte für Waldbiomasse

Darüber hinaus lieferten folgende Veröffentlichungen wertvolle Information:

- ▶ Kolbusz, M.; Mikos, A.: Forests to Burn – the real coast of bioenergy, 2021, Published by Stowarzyszenie Pracownia na rzecz Wszystkich Istotul. Jasna 17, 43-360 Bystra, Poland.⁸⁹
- ▶ Wieruszewski, M.; Górna, A.; Stanula, Z.; Adamowicz, K.: Energy Use of Woody Biomass in Poland: Its Resources and Harvesting Form. Energies 2022, 15, 6812.⁹⁰

E.3.1 Geltende Vorschriften und die gängige Praxis der Forstwirtschaft

Im September 1991 wurde das polnische Forstgesetz (Ustawa o lasach) verabschiedet, dass die Grundsätze für die Erhaltung, den Schutz und die Vermehrung der Waldressourcen sowie die Bewirtschaftung der Wälder und anderer Elemente der Umwelt im Hinblick auf die nationale Wirtschaft enthält. Das Gesetz bezieht sich auf alle Wälder Polens unabhängig von den Eigentumsverhältnissen⁹⁰.

In den staatlichen Wäldern wird laut Aussage der Experten ein Bewirtschaftungsplan für 10 Jahre erstellt, in dem fest gelegt wird, wieviel Holz dem Wald in diesem Zeitraum entnommen werden darf. Derzeit werden nach Schätzung der Experten ca. 75 % des jährlichen Zuwachses abgeschöpft. Es ist übliche Praxis, dass bei der Ernte ein Kahlschlag auf einer Fläche von bis zu 6 ha durchgeführt wird und danach eine Bodenbearbeitung in Form von Pflügen stattfindet. Müssen Sanitärhiebe auf Grund von Insektenbefall oder Absterben durch Trockenheit durchgeführt werden, darf eine Fläche von bis zu 20 ha kahlgeschlagen werden. Die Regenerierung der Waldbestände erfolgt zu 85 % durch Nachpflanzungen und zu 15 % durch Naturverjüngung. Das Fällen wird derzeit meist noch motor-manuell durchgeführt, d.h. es kommen wenig Harvester in der Fläche zum Einsatz, sondern Waldarbeiter mit Motorsägen.

In den Privatwäldern dürfen keine Holzernten ohne Genehmigung durchgeführt werden, und die Bewirtschaftung wird von staatlicher Seite beaufsichtigt. Von den Experten werden die Ernteraten in Privatwäldern als geringer als in Staatswäldern eingeschätzt, da letztere sehr jung sind und sie einen geringen Bestockungsgrad aufweisen. Die Wälder in privater Hand sind nicht an einen 10 Jahres-Plan gebunden und haben in der Regel auch keine detaillierten Bewirtschaftungspläne. Generell ist die Datenlage in Polen relativ unklar, da zum Beispiel keine Betriebsinventuren durchgeführt werden.

⁸⁷ <https://wl.urk.edu.pl/index/site/7845>

⁸⁸ Übersetzt: Verein Workshop für alle Lebewesen; <https://pracownia.org.pl/>

⁸⁹ <https://pracownia.org.pl/upload/filemanager/pracownia.org.pl/Publikacje/Forests-To-Burn-report-2022.pdf>

⁹⁰ <https://www.lasy.gov.pl/pl/informacje/publikacje/in-english/the-act-on-forests/@download/file/The%20Act%20on%20Forests.pdf>

Laut Aussage eines Experten gibt es Gesetze, die Arten- und Naturschutz in bewirtschafteten Wäldern adressieren. Ansonsten gibt es eine Vielzahl an Gebieten mit unterschiedlichsten Schutzstatus, in denen sich auch Wälder befinden, bspw. beträgt die Fläche unter Natura 2000 im Jahr 2020 in den vom Staat verwalteten Wälder 3,1 Mio. ha (ca. 45% der Staatswaldfläche Polens)⁹¹.

E.3.2 Risikoabschätzung in Hinblick auf Umweltauswirkungen einer gesteigerten Energieholz-Entnahme

Die derzeitige Waldbewirtschaftung in Polen ist stark auf Gewinn durch den Verkauf von Holz ausgerichtet, was zu arten- und strukturarmen Beständen führt. Hinzu kommt, dass die Maßnahmen der Vergangenheit negative Auswirkungen auf den polnischen Wald hatten, die heute noch zu sehen sind, wie die bis zum Jahr 1980 ausgeübte Praxis der Entwässerung von Waldflächen im Tiefland. Diese alten Drainagen führten und führen nach wie vor zu einer geringen Wasserverfügbarkeit in der Fläche. Auswirkungen der Drainagen sind abgesenkte Grundwasserspiegel und eine geringere Widerstandsfähigkeit der Wälder bei auftretender Trockenheit. Derzeit erfolgt keine Wiedervernässung von trockengelegten Waldflächen. In den bergigen Regionen Polens führen laut einem Experten sehr groß angelegte Straßen im Wald zu einem erhöhten Wasserabfluss nach Niederschlägen. Niederschläge führen dort daher zu hohen Erosionsraten und Bodenmaterial wird vom Wasserabfluss auf den Straßen weiter abtransportiert.

In der Veröffentlichung von Kolbusz und Mikos (2021)⁸⁹ wird beschrieben, dass die Europäische Umweltagentur die derzeitige Waldbewirtschaftung in Polen als die größte Gefahr für die Natura 2000 Waldhabitats sieht. Da der polnische Wald zu 66 % mit Kiefer bestockt ist, die Waldzunahmen erst seit 1945 stattfindet, und die aktuelle forstliche Praxis zu einer geringen Diversität in der Altersstruktur mit überdurchschnittlich vielen jungen Beständen führt, ist in den Wäldern eine geringe biologische Vielfalt anzutreffen. Insbesondere bei Arten, die auf alte Wälder mit einem hohen Anteil an Totholz angewiesen sind, ist die Abundanz rückläufig.

Die Datenlage zur genauen Herkunft des aus Polen stammenden Energieholzes ist generell sehr unklar. Zwar findet aktuell eine formale Überprüfung der Unterlagen zur Holzherkunft seitens der Produzenten von Energieholz statt, und darauf basierend auch eine Zertifikatserteilung, aber es gibt keine Vor-Ort Kontrollen (da rechtlich nicht geregelt), die die eigentliche Entnahme in der Fläche überprüfen. Außerdem gibt es keinerlei bindende Kriterien für Produzenten, die energetische Biomasse herstellen. Dieser Zustand wurde kürzlich von der höchsten polnischen Kontrollinstanz⁹² (ähnlich dem Bundesrechnungshof) aufgezeigt, und wird aktuell in Polen diskutiert. So kann z.B. ein Einschlag in ökologisch sensible Gebiete nicht nachgehalten und bei Bedarf nicht unterbunden werden.

In den Jahren 2018 bis 2021 erfolgte bereits eine Steigerung der Energieholzentnahme (2018: 4,5 Mio. m³; 2021: 6,5 Mio. m³). Hinzu kommt, dass der russische Angriffskrieg in der Ukraine und das daraus resultierende EU-Embargo für Unterstützerländer Russlands gravierende Auswirkungen auf den Import von Energieholz nach Polen aus Belarus und Russland hat. Der resultierende Wegfall an Importholz muss bereits heute kompensiert werden und erhöht die Energieholzentnahme aus Wäldern in Polen. Eine weitere Steigerung der Energieholznachfrage würde die bereits bestehenden negativen Auswirkungen der Waldbewirtschaftung auf z.B. die

⁹¹ https://www.bdl.lasy.gov.pl/portal/Media/Default/Publikacje/GUS_lesnictwo_2021.pdf, Tabelle 27.

⁹² Najwyższa Izba Kontroli; Audit (in polnisch): <https://www.nik.gov.pl/aktualnosci/biomasa-w-produkcji-energii-elektrycznej.html>, p. 19

Biodiversität oder Bodenerosion in den bergigen Regionen weiter verschärfen. Auch eine verringerte Senkenleistung auf der Waldfläche wäre zu erwarten. Wieruszewski et al. (2022)⁸⁶ hingegen kommen in ihrer Veröffentlichung zu dem Schluss, dass mit neuen Züchtungen eine größere Vielfalt in der Struktur der Forstkulturen entsteht und ein geringerer Ressourcenverbrauch möglich sein könnte. Dies könnte negative Effekte der erhöhte Holznachfrage abpuffern oder sich sogar positiv auf die biologische Vielfalt auswirken (Wieruszewski et al. 2022). Diese Position ist jedoch kritisch zu sehen, insbesondere da die möglichen positiven Effekte erst in mehreren Jahrzehnten wirksam werden würden, die negativen Effekte aber zeitnah zu erwarten sind.

E.3.3 Export von Energieholz

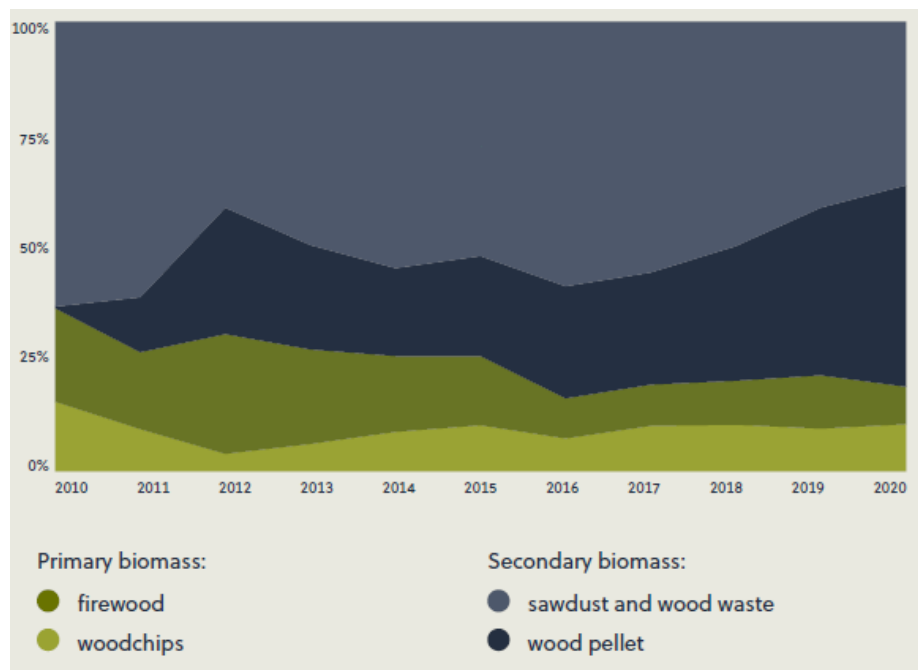
Derzeit werden ca. 60 % der polnischen Produktion von Brennholz und Pellets auf den Märkten der EU und Großbritanniens verkauft⁹³. Die westlichen EU-Länder sind im Wesentlichen die Käufer von Energieholz aus Polen, allen voran Deutschland bei jeglichen Sortimenten.

In den letzten 10 Jahren hat in Polen der Export von Biomasse aus dem Wald zugenommen. Während 2010 noch 0,52 Mio. t Biomasse aus dem Wald für den Export entnommen wurde, waren es 10 Jahre später bereits 1,14 Mio. t. Dies entspricht einer Zunahme von 119 %. Im Jahr 2018 wurden sogar 1,49 Mio. t an Holzbiomasse aus dem Wald exportiert. Während im Jahr 2010 der Export von Sägemehl und Abfallholz der Holzverarbeitenden Industrie mit einem Anteil von 63 % dominierte, hat sich dieser im Jahr 2020 nun auf 36 % reduziert (Abbildung 56). Hingegen steigerte sich der Export von Holzpellets von 0,4 % im Jahr 2010 auf 45 % im Jahr 2020. Holzpellets sind nun die Hauptform, in der Energieholz exportiert wird. Hackschnitzel (woodchips) und Feuerholz hatten 2010 noch einen Anteil am Export von 16 % bzw. 21 %, im Jahr 2020 lag der gemeinsame Anteil bei ca. 19 %. Die Sortimente des exportierten Energieholzes und deren Mengen im Jahr 2020 unterteilen sich wie folgt: Feuerholz (0,096 Mio. t), Woodchips (0,12 Mio. t), Holzpellets (0,52 Mio. t), und Sägemehl und Abfallholz der Holzverarbeitenden Industrie (0,41 Mio. t)⁹⁴.

⁹³ Experten Information von Marek Wieruszewski

⁹⁴ <https://pracownia.org.pl/upload/filemanager/pracownia.org.pl/Publikacje/Forests-to-burn-Kolbusz-Mikos-2022.pdf>

Abbildung 56: Anteile der Holzenergieexporte aus Polen nach Energieholzart



Quelle: Wieruszewski et al. (2022)⁸⁶.

Neben den Zunahmen bei Energieholzexporten ist gegenwärtig ein deutlicher Anstieg der Exporte von Nadel- und Laubschnittholz aus Polen nach Ländern wie China, Deutschland, Tschechien und Schweden zu verzeichnen⁹³.

Auch auf dem heimischen Markt verzeichnet Polen eine stark wachsende Nachfrage nach Holzenergie. Von 2005 bis 2022 hat sich das Volumen für Holzenergie um das 140-fache erhöht, und zwar von 35.000 m³ pro Jahr auf 4,9 Mio. m³ pro Jahr. Ebenso stiegen auch die Holzimporte für Energieholz an. Der Nationale Energie- und Klimaplan Polens für den Zeitraum 2021 bis 2030 verfolgt klar eine weitere Steigerung der Verwendung von Bioenergie. So soll im Jahr 2030 ein Anstieg von 53 % gegenüber dem Jahr 2015 erreicht werden. Die netto installierte elektrische Kapazität, die Biomasse verwendet, soll von 658 MW auf 1.531 MW und die brutto Stromgenerierung von 9,6 TWh (2020) auf 11,6 TWh (2030) gesteigert werden. Dabei ist ein Fokus auf Holzenergie zu erwarten. Für die Umsetzung dieses Plans sind derzeit 24 Biomassekraftwerke für Strom und Wärme im Bau, und weitere große Biomassekraftwerke sind derzeit in Planung⁹⁴.

Diese Entwicklungen und Ziele zeigen, dass mögliche zusätzliche Energieholzexporte nach Deutschland in einem direkten Wettbewerb mit dem bestehenden heimischen Markt und dem geplanten inländischen Ausbau der Biomassenutzung stehen. Generell gestaltet sich die Einschätzung zukünftiger Entwicklungen aber als unsicher, da in letzter Zeit viele nicht vorhersehbare Faktoren (Covid-19, russischer Angriffskrieg auf die Ukraine) einen großen Einfluss auf den Holzmarkt hatten und die Nachfrage erheblich beeinflusst haben.

E.4 Tschechien

Tschechien hat eine Landesfläche⁹⁵ von 78.867 km² und eine Waldfläche von ca. 2,6 Mio. ha (26.000 km²), was knapp 35 % der Landesfläche ausmacht⁹⁶. Ungefähr 53 % des tschechischen Waldes sind Staatswald, ca. 17 % Kommunalwald, ca. 19 % Privatwald und die verbliebene Fläche andere Besitzarten⁹⁷. Die Waldfläche Tschechiens vergrößerte sich in den letzten 20 Jahren um knapp 40.000 ha (400 km²). Der tschechische Wald besteht zu 71 % aus Nadelbäumen (hauptsächlich Kiefer) und zu 29 % aus Laubbäumen. Diese bestocken die Waldfläche mit 701 Mio. m³⁹⁶. In den Jahren 2015 bis 2017 wurden durchschnittlich 17,7 Mio m³ Rundholz im Jahr geerntet. Im Jahr 2020 stieg die Holzernte auf 35,7 Mio. m³ Rundholz, vor allem aufgrund eines hohen Schadholzaufkommens (Trockenheit, Käferkalamitäten).⁹⁶

Um Auskunft über Tschechien zu erhalten, wurden folgende Experten schriftlich interviewt:

- ▶ Dr. Michal Synek, Institut für Waldbewirtschaftung, Abteilung für Waldbewirtschaftung und Waldökologie, stellv. Direktor
- ▶ Dr. Emil Cienicala, Institut für Waldökosystemforschung, Abteilung Wissenschaft und Forschung, Abteilungsleiter

E.4.1 Geltende Vorschriften und die gängige Praxis der Forstwirtschaft

Die wichtigsten Vorschriften zur Waldbewirtschaftung in Tschechien finden sich im Waldgesetz Nr. 289 aus dem Jahr 1995 sowie in nachgelagerten Verordnungen. Diese Regelungen werden fortlaufend aktualisiert. Die neueste Fassung des Waldgesetzes (Version 30) umspannt den Zeitraum Februar 2022 bis Juni 2023. Nach diesen Regelungen werden für Waldflächen Waldbewirtschaftungspläne entwickelt, die vorschreiben, wann und in welchem Umfang Aktivitäten wie Durchforstung und Holzernte erfolgen sollen. Das Waldgesetz legt zudem fest, dass es in Wälder untersagt ist, die Waldbodenstreu zu entnehmen und den Waldboden zu schädigen. So müssen z.B. bei der Holzernte die Wurzeln intakt im Boden verbleiben. Es gibt aber keine konkrete Regelung bzgl. der Menge an Biomasse, die während einer Holzernte entnommen werden darf. Stattdessen dient der Waldbewirtschaftungsplan diesbezüglich als Empfehlung für die Intensität und Frequenz der Durchforstung und Holzernte. Aufgenommen werden auch Empfehlungen für Förster, wie eine Holzernte angepasst an die Standortbedingungen durchgeführt werden sollte, damit keine Degradierung der Bodenfruchtbarkeit stattfindet⁹⁸.

Die gute fachliche Praxis der Forstwirtschaft ist in der Verordnung 298 aus dem Jahr 2018 geregelt. Darin sind standortsbezogenen Umtriebszeiten, Regenerationszeiten und Fristen zur Wiederaufforstung nach der Holzernte angegeben. Auch werden Zielbaumarten und Empfehlungen zum Anbau von Baumarten, die notwendig sind, um die Bodenqualität zu verbessern und den Waldbestand am Standort zu stabilisieren, festgehalten. Die Forstwirtschaft in Tschechien ist aktuell auf die Entnahme von vermarktbarem Holz ausgerichtet (ab einem

⁹⁵ The Statesman's Yearbook 2022, Springer Nature Limited 2022, <https://doi.org/10.1057/978-1-349-96045-3>

⁹⁶ Statistical Yearbook of the Czech Republic – 2021, <https://www.czso.cz/csu/czso/14-forestry-9vwfokrt00>

⁹⁷ Information on Forests and Forestry in the Czech Republic by 2020
https://eagri.cz/public/web/file/698182/Zprava_o_stavu_lesa_2020_a_j_web.pdf

⁹⁸ Šrámek, V. et al. 2021. Recommended methods of management of logging residues in forest stands with a significant production function from the point of view of sustainability of the balance of main nutrients: certified methodology. Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i. Certifikované metodiky pro praxi, 3/2021. ISBN 978-80-7417-218-2. (in tschechisch)

BHD⁹⁹ von 7 cm). Nicht-marktfähige Biomasse wird häufig auf der Fläche belassen, Erntereste werden aber zu einem bestimmten Anteil der Fläche entnommen. Die Mengen an geerntetem Restholz werden vom Statistischen Amt erfasst und für das Jahr 2021 mit 2,9 Mio. m³ beziffert. Allerdings existiert keine gesetzliche Regelung, wie Erntereste zu nutzen sind. Bis dato gibt es nur Empfehlungen aus Forschungsarbeiten. Bei der Wiederaufforstung können Abweichungen von den gesetzlichen Anforderungen auftreten (z.B. bei den Fristen). Aufgrund des hohen Aufkommens von Kalamitätsholz durch den Borkenkäfer in den letzten Jahren ist es zudem gestattet, betroffene Flächen nicht sofort zu räumen, sondern das Totholz bis zum Ende des Jahres 2022 zu belassen.

In Tschechien ist der gesetzliche Naturschutz in Wäldern im bereits erwähnten Waldgesetz verankert. Für Flächen mit besonderem Schutzstatus, wie beispielsweise Nationalparks, Naturreservate und geschützte Landschaften, greift das Natur- und Landschaftsschutzgesetz aus dem Jahr 1992 (neuste Version von 2016). Darin ist die Bewirtschaftung dieser Gebiete geregelt und löst das Waldgesetz ab. So müssen Waldbewirtschaftungspläne in diesen Gebieten von den zuständigen Naturschutzbehörden genehmigt werden.

E.4.2 Risikoabschätzung in Hinblick auf Umweltauswirkungen einer gesteigerten Energieholz-Entnahme

Die Waldböden in Tschechien gelten zu einem großen Anteil als versauert und bezüglich des Nährstoffgehalts als degradiert¹⁰⁰. Eine übermäßige Entnahme von Biomasse würde das Risiko der Bodendegradation erhöhen. Jedoch sind sich die Förster dieses Risikos bewusst und berücksichtigen meist die Empfehlungen im Waldbewirtschaftungsplan, nur so viel Erntereste (Durchmesser < 7 cm mit Rinde) auf einer Fläche zu entnehmen, wie entsprechend des Bodentyps als verträglich gilt.

Ein erhöhte Holzentnahme wird von den Experten als Risiko für den Zustand des tschechischen Waldes bewertet. Derzeitig dürfen nur Erntereste und Rindenabfall der Holzverarbeitung als Energieholz für die kommerzielle Herstellung von Strom oder Wärme genutzt werden. Industrierundholz ist von dieser energetischen Nutzung ausgeschlossen. Die Nutzung von Brennholz ist Haushalten aber gestattet und kann hier auch aus Rundholz stammen.

Trotz des oben erwähnten Problembewusstseins für den Verbleib von Ernteresten auf der Fläche weisen die Wälder in Tschechien, laut Expertenmeinung, zu wenig Totholz auf. Derzeit wird der Anteil auf 10 m³/ha geschätzt. Der angestrebte Wert liegt bei 30 m³/ha, um einen positiven Effekt für Biodiversität, Kohlenstoffspeicherung und Mikroklima zu erreichen.

In den Jahren 2018 bis 2020 verzeichnete Tschechien einen noch nie dagewesenen Rückgang der Waldbestände aufgrund der Dürre und des darauffolgenden Borkenkäferbefalls. Das führte zu Sanitärhiebsen und Holzernterekorden im Jahr 2020, welche sich verdoppelte (s.o.). Bezogen auf Treibhausgasemissionen war der Wald bis zum Jahr 2017 eine Senke (z.B. -2,9 Mio. t CO₂e in 2017). Durch die Schäden im Jahr 2018 wurde er zu in eine CO₂-Quelle (3 Mio. t CO₂e). So führten hohe Mengen an Kalamitätsholz im Jahr 2020 dazu, dass der Beitrag der Forstwirtschaft zu den Gesamtemissionen des Landes etwa 10 % (14,7 Mio. t CO₂e) betrug¹⁰¹.

⁹⁹ Brusthöhendurchmesser

¹⁰⁰ Šantrůčková, H., Cienciala, E., Kaňa, J., Kopáček, J., 2019. The chemical composition of forest soils and their degree of acidity in Central Europe. Sci. Total Environ. 687, 96–103. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.078>

¹⁰¹ UNFCCC, Nationale THG-Inventarberichterstattung 2022, CRF-Tabellen; <https://unfccc.int/documents/461886>

Der tschechische Wald ist bereits ohne eine gesteigerte Energieholzentnahme vielen Risiken ausgesetzt, die seine Qualität und mögliche Ökosystemleistungen mindern. Die Holzernten seit 2015 sind, laut eines Experten, sehr hoch gewesen. Die Holzernte sollte nun graduell reduziert, das Totholzaufkommen gesteigert und der Wald dahin gehend umgestaltet werden, dass er zukünftig widerstandsfähig gegenüber dem sich ändernden Klima ist.

E.4.3 Export von Energieholz

Der Anteil an Feuerholz an der gesamten Holzentnahme entsprach in Tschechien während der letzten drei Jahre 15 bis 18 %. Im Jahr 2021 wurden ca. 5,2 Mio. m³ (ca. 17 %) der gesamten Holzernte als Energieholz genutzt. Erntereste werden nicht unter der Holzentnahme erfasst, werden aber mit hoher Wahrscheinlichkeit ebenso energetisch genutzt. Nach Schätzungen lagen sie im Jahr 2021 bei 2,9 Mio. m³. Energieholzsortimente umfassen Pellets und Briketts für Privathaushalte und Holzhackschnitzel für die Produktion von Wärme und Strom in größeren Anlagen. Auch Rinde aus der Holzverarbeitenden Industrie wird in kleinen Blockheizkraftwerken verwendet.

Exportiert wurden im Jahr 2020 Brennholz (62.000 m³), Holzhackschnitzel (558.000 m³), Erntereste und Abfälle aus der verarbeitenden Holzindustrie (883.000 m³), sowie Pellets (811.000 m³)¹⁰².

Aus Sicht der Experten besteht derzeit keine gesteigerte Nachfrage nach energetischer Biomasse aus dem Ausland, bzw. gibt es keine Kenntnisse darüber. Eine gesteigerte Nachfrage nach Rundholz aus dem Ausland gab es vor 2020, was aber in Verbindung mit den niedrigen Holzpreisen gesehen wird. Dieser Trend nahm aber bereits im Jahr 2021 wieder ab.

Die Auswirkungen von Energieholzexporten auf den heimischen Markt werden sehr unterschiedlich eingeschätzt. Zum einen wird von einem Experten der Export von Energieholz als nicht signifikant bewertet. Es gäbe keine Konkurrenz um das Energieholz und zukünftig ist auch keine Konkurrenz zu erwarten. Von einem weiteren Experten wird angenommen, dass innerhalb der kommenden fünf Jahre das Angebot an Energieholz in Tschechien geringer wird, obwohl das aufgrund der derzeitig außergewöhnlich hohen Erntemenge nicht sehr offensichtlich erscheint. Mit dem Rückgang an Energieholz wird mit einer steigenden Konkurrenz gerechnet und es ist fraglich, ob Energieholzexporte in den kommenden Jahren auf einem hohen Niveau gehalten werden können oder abnehmen.

¹⁰² https://eagri.cz/public/web/file/698182/Zprava_o_stavu_lesa_2020_aj_web.pdf

E.5 Interviewleitfaden

E.5.1 Interviewleitfaden zu den Länderstudien in BioSink (deutsch)

Auswirkung der erhöhten Nutzung von Holz auf die Wälder in Polen, Tschechien, USA (Südosten?) und Kanada

In BioSINK (Auswirkung der energetischen Nutzung forstlicher Biomasse in Deutschland auf deutsche und internationale LULUCF-Senken) werden die Auswirkungen der Holzenergienutzung auf die Senkenleistung des Waldes im In- und Ausland analysiert und in die THG-Bilanzierung von Holzprodukten integriert. Zudem stehen Förderinstrumente, die die Holzenergienutzung adressieren, im Fokus der Arbeiten. Im Spannungsfeld von Senkenleistungen der Waldfläche und Holzprodukten, Emissionen entlang der Prozesskette und möglichen Substitutionseffekten soll ein Beitrag geleistet werden, den Umgang mit der Ressource Holzen zum Erreichen von Klimaschutzziele zu optimieren.

Für Deutschland finden im Projekt Modellierungen der Holzverwendung, der Waldbewirtschaftung und der THG-Bilanzierung statt. Analysen zu möglichen Energieholzimport erfolgen über Experteninterviews und Literaturrecherchen.

Zu Ihrer Person

Was ist Ihr persönlicher Hintergrund (Ausbildung, Arbeits-/Forschungsschwerpunkt)?

1. Geltende Vorschriften und die gängige Praxis der Forstwirtschaft

- ▶ Welche geltenden Vorschriften gibt es in Ihrem Land in der Forstwirtschaft? Wie und wo sind diese festgelegt (Gesetze, Verordnung, Richtlinie, etc.)?
- ▶ Was ist die gängige Praxis in der Forstwirtschaft? Gibt es Abweichungen zu den Vorschriften? Gibt es bereits durch die gängige Praxis Umweltrisiken?
- ▶ Welche Regeln/Gesetze gibt es bzgl. des Naturschutzes im Wald?

2. Risikoabschätzung in Hinblick auf Umweltauswirkungen einer gesteigerten Energieholz-Entnahme

- ▶ Welche Risiken im Hinblick auf die Umweltauswirkungen gibt es aufgrund der bestehenden Waldbewirtschaftung?
- ▶ Würden sich diese Auswirkungen verstärken, wenn es zu einer erhöhten Holzentnahme vor allem für Energieholz kommt? Welche Änderungen sind abzusehen oder schon sichtbar? (Fokus auf Kohlenstoffspeicher im Wald und die Biodiversität, aber auch Wasser und Boden)

3. Export von Energieholz (ergänzend zu Importstatistiken im AP1-Bericht)

- ▶ Welcher Anteil des Holzeinschlags wird als Energieholz genutzt? Welche Sortimente?
- ▶ Was wird exportiert?

- ▶ Gibt es eine erhöhte Nachfrage an Biomasse aus dem Ausland (z.B. Deutschland)? Welche Sortimente?
- ▶ Kann ein steigender Export an Energieholz zu Konkurrenzen mit dem inländischen Markt führen?

Wir streben an, zwei ExpertInnen zu interviewen. Sie sollten möglichst ein breites Spektrum abdecken von eher „Forstwirtschafts-affin“ bis eher „Naturschutz-affin“.

E.5.2 Interviewleitfaden zu den Länderstudien in BioSink (englisch)

1. Applicable regulations and common forestry practice

- ▶ What are the applicable forestry regulations in your country? How and where are these established (laws, regulation, directive, etc.)?
- ▶ What is the common practice in forestry? Are there any deviations from the regulations? Are there already environmental risks due to the common practice?
- ▶ What are the rules/laws regarding nature conservation in the forest?

2. Risk assessment regarding environmental impacts of increased energy wood extraction

- ▶ What are the risks in terms of environmental impacts due to existing forest management?
- ▶ Would these impacts be exacerbated if there is increased timber extraction primarily for energy wood? What changes are foreseeable or already visible? (Focus on forest carbon stocks and biodiversity, but also water and soil).

3. Export of energy wood

- ▶ What proportion of the wood harvest is used as energy wood? Which assortments? What kind of products (pellets, wood chips, etc.) and for what use (small scale CHP, private households, co-firing coal power plants)?
- ▶ What is exported?
- ▶ Is there an increased demand for biomass from abroad (e.g., Germany)? Which assortments?
- ▶ Can increased export of energy wood lead to competition with the domestic market?