Schlussbericht zum Vorhaben

Thema:

Verbesserung der Schätzung der Totholz-Kohlenstoffvorräte für die deutsche Treibhausgas-Berichterstattung (Totholz-THG)

Zuwendungsempfänger:

Johann Heinrich von Thünen-Institut

Bundesallee 50

38116 Braunschweig

Förderkennzeichen:

22WC-413601

Laufzeit:

06.06.2017 bis 30.06.2021

Monat der Erstellung:

12/2021

Datum der Veröffentlichung:

19.05.2022



Gefördert durch:



Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger für den Waldklimafonds unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.



Verbesserung der Schätzung der Totholz-Kohlenstoffvorräte für die deutsche Treibhausgas-Berichterstattung (Totholz-THG)

Steffen Herrmann, Steffi Dunger, Wolfgang Stümer, Katja Oehmichen



Ausführende Stelle:

Thünen-Institut für Waldökosysteme

Alfred-Möller-Str. 1, Haus 41/42

16225 Eberswalde

Inhaltsverzeichnis

In	haltsve	rzeiclع	hnis	i
Αl	bildun	ıgsver	zeichnis	iii
Τa	bellen	verzei	ichnis	۰۷
1	Hint	tergru	ınd, Aufgabenstellung und Arbeitsablauf	1
	1.1	Hint	ergrund	1
	1.2	Aufg	abenstellung und Zielsetzung	3
	1.3	Stan	d der Wissenschaft und Technik	3
	1.4	Plan	ung und Ablauf	4
2 re	-	-	, Analyse und Synthese zu Inventurverfahren zur Totholzerfassung und weiteren rametern	6
	2.1	Allge	emeine Verfahren	6
	2.2	Bund	deswaldinventur	6
	2.3	Inve	nturverfahren zu toten Wurzeln	7
	2.3.	1	Direkte Verfahren	7
	2.3.	2	Indirekte Verfahren	8
	2.4	Natı	ırschutzkonzepte mit Totholzbezug	8
	2.5	Verg	leich der Datenlage in den Ländern der Europäischen Union	9
	2.6	Einfl	ussfaktoren auf den Zersetzungsprozess	9
	2.7	Holz	dichten und Kohlenstoffgehalt in Relation zur Zersetzungsklasse	. 11
	2.8	Synt	hese und Ableitung des Forschungsbedarfes	. 13
	2.8.	1	Totholzinventurverfahren	. 13
	2.8.	2	Totholzdichte	. 13
3	Unt	erirdi	sches Totholz	. 15
	3.1	Wur	zelmorphologie	. 15
	3.1.	1	Buche (Fagus sylvatica)	. 15
	3.1.	2	Eiche (Quercus sp.)	. 16
	3.1.	3	Fichte (Picea abies)	. 17
	3.1.	4	Kiefer (Pinus sylvestris)	. 18
	3.2	Bepr	obungskonzept	. 20
	3.2.	1	Inventurdesign	. 20
	3.2.	2	Datengrundlage BWI 2012	. 21
	3.3	Date	enerhebung	. 23
	3.3.	1	Vorstudie Geländeaufnahmen	. 23
	3.3.	2	Auswahl Probeflächen	. 24
	3.3.	3	Standortbeschreibung	. 25

3.3.4 3.4 Erge 3.4.1			4	Verfahrensablauf der unterirdischen Totholzbeprobung	29
			Erge	bnisse	37
			1	Holzdichte	38
		3.4.2	2	Kohlenstoff	39
		3.4.3	3	C/N-Verhältnis	40
4		Obe	rirdis	ches Totholz	42
	4.	1	Вері	robungskonzept	42
	4.	2	Date	enerhebung	42
		4.2.2	1	Vorstudie Geländeaufnahmen	43
		4.2.2	2	Auswahl Probeflächen	44
		4.2.3	3	Standortbeschreibung	45
		4.2.4	4	Geländearbeiten	47
	4.	3	Labo	pranalysen	49
		4.3.2	1	Ermittlung Feucht- und Trockengewichte	49
		4.3.2	2	Holzdichte	49
		4.3.3	3	Weitere Laborarbeiten	49
	4.	4	Erge	bnisse	49
		4.4.2	1	Holzdichte	50
		4.4.2		Kohlenstoff	51
		4.4.3	3	C/N-Verhältnis	52
5		Bere	echnu	ıng der Totholz-Kohlenstoffvorräte und Erstellung Totholzinventar	54
	5.	1	Entv	vicklung von Schätzern und Funktionen für Biomassebestimmung	54
	5.	2	Bere	echnung der Holzdichten und Kohlenstoffgehalte	58
	5.	3	Schä	itzung des Variations- bzw. Fehlerbereichs und Bezug zur Grundgesamtheit	59
	5.	.4 Ber		echnung und Erstellung des Totholzinventars nach IPCC-Vorgaben	60
	5.	5	Bew	ertung und Analyse des neu erstellten Totholzinventars	61
	5.	6	Inte	gration des Verfahrens in die Treibhausgasberichterstattung	62
Li	ter	atur	verze	ichnis	63
Αı	าhล	ang			70

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht zu den Kohlenstoffpools (IPCC 2006)	2
Abbildung 2: Inventurdesign Bundeswaldinventur (Quelle: Riedel et al. 2017)	6
Abbildung 3: Abgeleitete Totholzdichten in CWD von Fagus sylvatica, Picea abies und Pinus sylvestris	12
Abbildung 4: Abgeleitete Kohlenstoffkonzentrationen in CWD von Fagus sylvatica, Picea abies und	
Pinus sylvestris	
Abbildung 5: Wurzelsystem Buche (Quelle: Köstler et al., 1968)	
Abbildung 6: Wurzelsysteme Stiel- (links) und Traubeneiche (rechts) (Quelle: Köstler et al., 1968)	17
Abbildung 7: Wurzelsysteme Fichte (links) und Kiefer (rechts) (Quelle: Köstler et al. 1968)	19
Abbildung 8: Anzahl der Buchen-Wurzelstöcke in Abhängigkeit von natürlicher Höhenstufe,	
Durchmesserklasse (cm) und Zersetzungsgrad	21
Abbildung 9: Anzahl der Buchen-Wurzelstöcke in Abhängigkeit von Höhenstufe (m),	
Durchmesserklasse (cm) und Zersetzungsgrad	22
Abbildung 10: Anzahl der Fichten-Wurzelstöcke in Abhängigkeit von natürlicher Höhenstufe,	
Durchmesserklasse (cm) und Zersetzungsgrad	22
Abbildung 11: Anzahl der Fichten-Wurzelstöcke in Abhängigkeit von Höhenstufe (m),	
Durchmesserklasse (cm) und Zersetzungsgrad	
Abbildung 12: Lage der Probepunkte im nordostdeutschen Tiefland (Quelle: OpenStreetMap)	25
Abbildung 13: Entnommene Buchenwurzelstöcke in den Zersetzungsgraden 1 bis 4 (jeweils von oben	
links nach unten rechts; oberirdisch (obere 4 Abbildungen) und gesamt (untere 4 Abbildungen))	26
Abbildung 14: Buchenmischbestand im Revier Maienpfuhl (Liepe; links) und Buchenreinbestand im	
Revier Chorin (Sandkrug; rechts)	27
Abbildung 15: Bodenprofile der Buchenstandorte in den Revieren Maienpfuhl (Liepe; links) und Chorin	
(Sandkrug; rechts)	27
Abbildung 16: Entnommene Fichtenwurzelstöcke in den Zersetzungsgraden 1 bis 4 (jeweils von oben	
links nach unten rechts; oberirdisch (obere 4 Abbildungen) und gesamt (untere 4 Abbildungen))	
Abbildung 17: Bodenprofil am Fichtenstandort im Revier Üderheide (Eichhorst)	
Abbildung 18: Verfahren der unterirdischen Totholzbeprobung	
Abbildung 19: Unterteilung Wurzelstock	
Abbildung 20: Aufnahme des oberirdischen Wurzelstocks und des Überschirmungsgrads	
Abbildung 21: Erfassung der Bestandesparameter	
Abbildung 22: Ausgraben Wurzelstock	
Abbildung 23: Vermessen des Wurzelstockes und der dazugehörigen Grobwurzeln	
Abbildung 24: Bergung von Wurzelstock und Wurzeln mit Hilfe eines Seilzugs	
Abbildung 25: Wiegen von Wurzelstock und Wurzeln mittels Dreibein	33
Abbildung 26: Wiegen Wurzelstock (links) und Entnahme Wurzelproben aus den verschiedenen	22
Wurzelbereichen (Quelle: Röhling et al., 2019, verändert)(rechts)	
Abbildung 27: Vermessen und Wiegen der Wurzelproben	
Abbildung 28: Trocknung der Wurzelproben im Trockenschrank	
Abbildung 29: Vakuumieren einer Wurzelprobe	
	33
Abbildung 31: Linkes Bild: Mühle (links) und Vorzerkleinerer (rechts), Rechtes Bild: gemahlenes	26
ProbematerialAbbildung 32: Messung von C und N im TRUMAC im Zentrallabor des Thünen-Instituts für	30
	27
AgrarklimaschutzAbbildung 33: Darrdichte (g cm-3) in toten Grobwurzeln (≥ 2 cm) und Wurzelstöcken von <i>Fagus</i>	3/
	20
sylvatica, Picea abies und Pinus sylvestrisAbbildung 34: Kohlenstoffkonzentration (%) in toten Grobwurzeln (≥ 2 cm) und Wurzelstöcken von	39
Fagus sylvatica, Picea abies und Pinus sylvestris	40
Abbildung 35: C/N-Verhältnis in toten Grobwurzeln (≥ 2 cm) und Wurzelstöcken von <i>Fagus sylvatica,</i>	40
Picea abies und Pinus sylvestris	/11
Abbildung 36: Lage der Beprobungsflächen im Stadtwald von Eberswalde (Quelle: OpenStreetMap)	

Abbildung 37: Durchführung von Testbohrungen mittels Forstner- und Schlangenbohrer	44
Abbildung 38: Lage Probeflächen in der Höhenstufe Flach- und Hügelland (Quelle: OpenStreetMap)	44
Abbildung 39: Lage Probeflächen in der Höhenstufe Mittelgebirge (Quelle: OpenStreetMap)	45
Abbildung 40: Kiefernmischbestand mit Laubbäumen im Revier Chorin (BWI-Punkt 38216, Ecke 3)	
(links) und Kiefernreinbestand im Revier Briese (BWI-Punkt 39361, Ecke 1) (rechts)	46
Abbildung 41: Eichenmischbestand mit Laubbäumen im Revier Egstedt (BWI-Punkt 53584, Ecke 1)	
(links) und Kiefernmischbestand im Revier Weißbach (BWI-Punkt 55413, Ecke 3) (rechts)	47
Abbildung 42: Messung von Bestandesparametern und oberirdischem Totholz	47
Abbildung 43: Vorbereitung und Beprobung eines Wurzelstockes	48
Abbildung 44: Messung der Bohrlochtiefe	48
Abbildung 45: Raumdichte (g cm-3) in liegendem Totholz (> 10 cm) von Fagus sylvatica, Quercus robur/	
petrea und Pinus sylvestris	51
Abbildung 46: Kohlenstoffkonzentration (%) in liegendem Totholz (> 10 cm) von Fagus sylvatica, Picea	
abies und Pinus sylvestris	52
Abbildung 47: C/N-Verhältnis in liegendem Totholz (> 10 cm) von <i>Fagus sylvatica, Picea abies</i> und <i>Pinus</i>	
sylvestris	53
Abbildung 48: Reduktionsfaktoren in Abhängigkeit vom Zersetzungsgrad für unterirdische Biomasse	
von Buche, Fichte und Kiefer; links Originalwerte, rechts mit Überschätzungskorrektur	55
Abbildung A-49: Repräsentative Totholzobjekte (Wurzelstöcke und liegendes Totholz) in Abhängigkeit	
vom Zersetzungsgrad	70

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beschreibung der Zersetzungsgrade für Totholz im Rahmen der Bundeswaldinventur	7
Tabelle 2: Erforderlicher Stichprobenumfang zur ober- und unterirdischen Totholzbeprobung	. 14
Tabelle 3: Entwicklung der Wurzelsysteme auf unterschiedlichen Standorten	. 19
Tabelle 4: Inventurdesign oberirdisches Totholz	. 20
Tabelle 5: Beschreibung der Untersuchungsstandorte für die Wurzelstockaufnahmen	. 24
Tabelle 6: Übersicht der aufgenommenen Wurzelstöcke	. 37
Tabelle 7: Volumenbasierte Reduktionsfaktoren abgeleitet nach Müller-Using und Bartsch (2009) für	
Buche und Herrmann et al. 2015 für Buche, Fichte und Kiefer	. 56
Tabelle 8: Dichtebasierte Reduktionsfaktoren	. 57
Tabelle 9: Reduktionsfaktoren Masseverlust	. 58
Tabelle 10: Vorräte 2012 und 2017 sowie Veränderung von oberirdischem und unterirdischem Totholz	
	. 61
Tabelle A-11: Berichterstattung Totholz in den Nationalen Inventarberichten der europäischen Union	
Tabelle A-12: Übersicht Beprobung oberirdisches Totholz Höhenstufe Flach- und Hügelland	. 76
Tabelle A-13: Übersicht Beprobung oberirdisches Totholz Höhenstufe Mittelgebirge (TH = Totholz)	. 77
Tabelle A-14: Standortinformation Probeflächen oberirdische Totholzbeprobung Höhenstufe Flach-	
und Hügelland	. 78
Tabelle A-15: Standortinformation Probeflächen oberirdische Totholzbeprobung Höhenstufe	
Mittelgebirge	. 79

1 Hintergrund, Aufgabenstellung und Arbeitsablauf

1.1 Hintergrund

Im Rahmen der Klimaberichterstattung ist Deutschland Vertragsstaat der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC; UNFCCC 2005) und seit 1994 verpflichtet, Inventare zu nationalen Treibhausgasemissionen zu erstellen, zu veröffentlichen und regelmäßig fortzuschreiben. Im Februar 2005 trat das Kyoto-Protokoll in Kraft, welches die internationale Staatengemeinschaft verpflichtet, verbindliche Handlungsziele und Umsetzungsstrategien für den globalen Klimaschutz zu realisieren. Daraus ergeben sich weitreichende und detaillierte Verpflichtungen für die Erstellung, die Berichterstattung und die Überprüfung von Emissionsinventaren. Durch den Artikel 3 des Kyoto-Protokolls (UNFCCC 1998) wird der europäischen Staatengemeinschaft die gemeinsame Erfüllung der Verpflichtungen des Kyoto-Protokolls und der Klimarahmenkonvention ermöglicht. Dies erfolgt durch europäische Regelungen, wie durch die Festlegungen der EU-Verordnung 525/2013 und ihrer Durchführungsverordnung 749/20142. Für Deutschland sind diese Anforderungen durch die europäische Umsetzung des Kyoto-Protokolls auf dem Verordnungsweg rechtsverbindlich geworden. Gemäß Entscheidung 24/CP.19 müssen alle im Annex I der Klimarahmenkonvention aufgeführten Staaten, darunter auch Deutschland, jährlich Berichtstabellen im Common Reporting Format (CRF) und einen Nationalen Inventarbericht (National Inventory Report - NIR) erstellen und übermitteln. Mit dem NIR und den jährlichen Berichtstabellen werden detaillierte und vollständige Angaben über den gesamten Prozess der Erstellung der Treibhausgasinventare und die Inventare selbst bereitgestellt.

Die Treibhausgasemissionen des Waldes werden im Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) berichtet. Neben dem Wald gehören zu dem Sektor auch die Landnutzung und Landnutzungsänderungen der Landwirtschaft, der Grünflächen, der Gewässer und der Siedlungen. Die Erstellung des Treibhausgasinventars für den LULUCF-Sektor wurde dem Thünen-Institut übertragen.

Für die Erstellung der Treibhausgasinventare sind die international verbindlichen Vorschriften und Regelwerke zu beachten und anzuwenden. Die Treibhausgasinventare für den Wald werden derzeit für die Klimarahmenkonvention (Decision 19/CMP.1), für das Kyoto-Protokoll (UNFCCC 1998) und für die EU (EU Decision 529/2013) nach den Vorgaben der 2006 IPCC Guidelines for national Greenhouse Gas Inventories (IPCC 2006) und den IPCC Good Practice Guidance (IPCC 2000) angefertigt.

Po	no1	OR CARBON POOLS USED IN AFOLU FOR EACH LAND-USE CATEGORY Description		
Biomass	Above- ground biomass	All biomass of living vegetation, both woody and herbaceous, above the soil including stems, stumps, branches, bark, seeds, and foliage. Note: In cases where forest understory is a relatively small component of the above-ground biomass carbon pool, it is acceptable for the methodologies and associated data used in some tiers to exclude it, provided the tiers are used in a consistent manner throughout the inventory time series.		
	Below- ground All biomass of live roots. Fine roots of less than (suggested) 2mm diamet often excluded because these often cannot be distinguished empirically from organic matter or litter.			
Dead organic matter	Dead wood	Includes all non-living woody biomass not contained in the litter, either standing, lying on the ground, or in the soil. Dead wood includes wood lying on the surface, dead roots, and stumps, larger than or equal to 10 cm in diameter (or the diameter specified by the country).		
	Litter	Includes all non-living biomass with a size greater than the limit for soil organic matter (suggested 2 mm) and less than the minimum diameter chosen for dead wood (e.g. 10 cm), lying dead, in various states of decomposition above or within the mineral or organic soil. This includes the litter layer as usually defined in soil typologies. Live fine roots above the mineral or organic soil (of less than the minimum diameter limit chosen for below-ground biomass) are included in litter where they cannot be distinguished from it empirically.		
Soils Soil organic matter ¹		Includes organic carbon in mineral soils to a specified depth chosen by the country and applied consistently through the time series ² . Live and dead fine roots and DOM within the soil, that are less than the minimum diameter limit (suggested 2 mm) for roots and DOM, are included with soil organic matter where they cannot be distinguished from it empirically. The default for soil depth is 30 cm and guidance on determining country-specific depths is given in Chapter 2.3.3.1.		

¹ Includes organic material (living and non-living) within the soil matrix, operationally defined as a specific size fraction (e.g., all matter passing through a 2 mm sieve). Soil C stock estimates may also include soil inorganic C if using a Tier 3 method. CO₂ emissions from liming and urea applications to soils are estimated as fluxes using Tier 1 or Tier 2 method.

Abbildung 1: Übersicht zu den Kohlenstoffpools (IPCC 2006)

Im Wald erfolgt die Berichterstattung zum Zustand und den Veränderungen der Kohlenstoffspeicherung nach fünf verschiedenen Pools. Einer dieser Kohlenstoffpools ist der Pool für Totholz (siehe Abbildung 1). Die Berichtsverpflichtungen erfordern eine vollständige Berichterstattung aller Pools, so auch des Pools Totholz. Dazu gehören stehende und liegende Totholzobjekte, tote Wurzeln und tote Baumstümpfe. Die Aufnahmegrenze liegt bei 10 cm.

In Hinblick auf die Vollständigkeit und den Detaillierungsgrad weist die derzeitige Berichterstattung des Totholzpools Defizite auf. Wie in Abbildung 1 dargestellt, sind alle Objekte des Totholzpools zu berichten. Momentan ist es aufgrund der bestehenden Datenlage nicht möglich, über tote Wurzeln zu berichten, weil dazu keine Informationen verfügbar sind. Ebenso gibt es bei der Erfassung von Wurzelstöcken ein Defizit, da die in den Berichtsrichtlinien vorgegebene Aufnahmegrenze (IPCC 2006) von der Datenerhebung der Bundeswaldinventur 2012 (BWI 2012) abweicht.

Bei der Ableitung der Biomasse aus den Totholzvorräten der Waldinventuren werden Daten für verschiedene Holzdichten verwendet (UBA 2020). Hier besteht Verbesserungspotential, um entsprechend der IPCC Guidelines landesspezifische Daten anzuwenden und damit die Qualität des Inventars zu erhöhen. Die

² Carbon stocks in organic soils are not explicitly computed using Tier 1 or Tier 2 method, (which estimate only annual C flux from organic soils), but C stocks in organic soils can be estimated in a Tier 3 method. Definition of organic soils for classification purposes is provided in Chapter 3.

Anwendung von Daten und Umrechnungsfaktoren, die für ganz Deutschland zutreffen, ist daher zu prüfen und anzustreben. Im Weiteren ist die Fehlerquantifizierung ein fester Bestandteil der Berichterstattung. Fehler können einerseits bei der Datenerhebung der Totholzobjekte im Wald und andererseits bei der Berechnung der im Totholz gespeicherten Kohlenstoffvorräte auftreten. Es sollten daher mögliche Fehlerquellen identifiziert und im Fehlerbudget berücksichtigt werden.

1.2 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Mit diesem Projekt soll die Treibhausgas-Berichterstattung der Kohlenstoffspeicherung in Totholz vervollständigt und verbessert werden. Dazu wurden ein umfassender Vergleich und eine Analyse der verschiedener Inventurverfahren der Totholzerfassung und bereits existierender Daten zu Totholzobjekten, Totholzvorräten, Holzdichten und Kohlenstoffgehalten durchgeführt. Ein Schwerpunkt lag hier auf der Erarbeitung eines Ansatzes zur Erfassung und Schätzung der toten Wurzeln. Ebenso wurde ein Konzept zur Ermittlung landesspezifischer, statistisch abgesicherte Holzdichten und Kohlenstoffgehalte für ausgewählte Baumarten erarbeitet. Parallel dazu wurde eine Fehlerbetrachtung durchgeführt.

Ein Kernpunkt des Projektes war die praktische Umsetzung der vorangegangenen Verfahrensentwicklung zur Erhebung der verschiedenen Inventurparameter der Totholzobjekte. Im Gelände wurden im Rahmen einer Feldstudie verschiedene Inventurparameter erhoben, bei der Wurzelstöcke und tote Wurzeln im Fokus der Inventur standen. Anhand dieser neuen Daten wurden Ansätze zur Modellierung von Schätzern und Funktionen für die Biomasseberechnung von Totholz entwickelt. Aufbauend auf diesen Informationen und den Inventurdaten erfolgte eine exemplarische Berechnung und Erstellung eines Totholzinventars nach IPCC-Vorgaben für Deutschland. Das neu erstellte Totholzinventar wurde einer ersten Bewertung und Analyse unterzogen. Mit den vorliegenden Ergebnissen des Projektes ist ein wichtiger Schritt für die Integration des unterirdischen Totholzes in die Treibhausgasberichterstattung erfolgt.

1.3 Stand der Wissenschaft und Technik

Totholz ist eine wichtige Größe im Kohlenstoffkreislauf. Daher ist ein zunehmendes Interesse an der Erfassung und Bewertung der Quantität und Qualität des Totholzes zu beobachten (Huston & Marland, 2003). Neben der lebenden ober- und unterirdischen Biomasse, der Humusauflage und dem Mineralboden zählt Totholz zu den Kohlenstoff-Pools, über deren Veränderung gemäß Artikel 3.4 des Kyoto-Protokolls zu berichten ist. Da sich Deutschland im Dezember 2006 für die Anrechnung von Kohlenstoff-Senken und Quellen durch die forstliche Bewirtschaftung nach Artikel 3.4 des Kyoto-Protokolls entschieden hat, werden seit 2008 auch belastbare Angaben zum Totholz für die jährliche Klimaberichterstattung benötigt. Dies erfordert entsprechende Inventuraufnahmen, Methoden und Verfahren, um die jährliche Änderung der Totholz-Kohlenstoffvorräte zu ermitteln.

In Abhängigkeit von der Zielstellung einer Totholzinventur und dem damit verbundenen Zweck kann die Definition von Totholz variieren (siehe Bastrup-Birk et al. 2006, BMELV 2011, BMVEL 2001, Hagemann et al. 2009, Müller-Using & Bartsch 2003, Ringvall et al. 2001, etc.). Für die Treibhausgasberichterstattung ist die nachfolgend aufgeführte Definition der IPCC Guidelines for national Greenhouse Gas Inventories (IPCC 2006) verpflichtend. Als Totholz wird die Gesamtheit der nicht lebenden holzigen Biomasse bezeichnet, die nicht in der Humusauflage enthalten ist, steht oder auf dem Boden liegt oder sich im Boden befindet. Dazu gehören stehende und liegende Totholzobjekte, tote Wurzeln und tote Baumstümpfe. Die Aufnahmegrenze liegt bei 10 cm (IPCC 2006). Um das Totholz nach den Vorgaben dieser Definition in die Berichterstattung integrieren zu können, ist eine geeignete Inventurmethode erforderlich. Die Inventurverfahren für Totholz differenzieren sich in terrestrische und fernerkundungsbasierte Aufnahmeverfahren. Bei den terrestrischen Verfahren können Probekreisinventuren (BMELV 2011), Linienstichproben (Keller (Red.) 2013, US Forest Service 2011), Vollflächenaufnahmen (Meyer et al. 2001) oder auch Kombinationen aus den verschiedenen Methoden durchgeführt werden (Oehmichen 2007). In den bestehenden Totholzinventurverfahren ist meist kein Totholz im Boden enthalten, da die Erhebung von Informationen zu toten Wurzeln ein sehr aufwändiges und komplexes Verfahren ist. Daher sind die Daten und die Expertise des Waldklimafondsprojektes unterirdischen Waldbäumen "Untersuchung der Biomasse von zur Konkretisierung der Treibhausgasberichterstattung Deutschlands (Wurzelbiomasse)" und Untersuchungen zur Wurzelbiomasse der Kiefer (Neubauer et al. 2015) von großer Bedeutung. Sie geben Aufschluss zur Wurzelbiomasse von Eiche, Birke und Kiefer. Zudem liefern die Untersuchungen dieser Arbeiten Erfahrungen und praktische Hinweise zur Erhebung von Daten zu Wurzeln.

Als Grundlage für die Berichterstattung werden die Daten der Bundeswaldinventur 2002 und 2012 und der Kohlenstoffinventur 2017 verwendet. Für die Totholzvorräte der genannten Inventuren wurde die Biomasse für die einzelnen Zersetzungsgrade mit der Raumdichte nach Fraver et al. (2002) für Nadelholz und nach Müller-Using & Bartsch (2009) für Laubholz ermittelt. Um die Raumdichte des Laubholzes zu berechnen, wurden die Totholzobjekte der Baumartengruppen Laubbäume (außer Eiche) und Eiche zusammengelegt. Hier wird angestrebt, entsprechend der IPCC Guidelines landesspezifische Daten für verschiedene Baumarten zu entwickeln und anzuwenden, was gleichzeitig zur Qualitätsverbesserung des Inventars beiträgt. Im Jahr 2012 belief sich der Kohlenstoffvorrat im Totholz auf ca. 20 Mio. Tonnen (Wellbrock et al. 2014).

1.4 Planung und Ablauf

Der Arbeitsplan des Projektes war in drei Module unterteilt, die jeweils einzelne Arbeitspakete und entsprechende Meilensteine enthalten. Das übergreifende Arbeitspaket umfasste die Projektleitung und Projektkoordination, die sich über die gesamte Projektlaufzeit erstreckte.

Das erste Modul war der Erarbeitung der Methodik und der Verfahrensentwicklung gewidmet. Im Vergleich, der Analyse und Synthese wurden verschiedene Inventurverfahren zur Totholzerfassung mit dem Fokus auf

tote Wurzeln und Wurzelstöcke aufgearbeitet. Hierfür wurden sowohl Studien, Untersuchungen und Literatur aus Deutschland als auch aus anderen Ländern verwendet. Dabei standen die Parameter Zerfallsklassen, Holzdichten, Volumen und Kohlenstoffgehalt im Mittelpunkt der Analysen. Die Ergebnisse wurden zusammengestellt und bilden die Basis für die Verfahrensentwicklung der Erfassung toter Wurzeln und Wurzelstöcke. Daneben wurden in diesem Modul Qualitätsanforderungen und entsprechende Parameter zur Genauigkeitsbestimmung entwickelt, die der Fehlerabschätzung dienen.

Das zweite Modul beinhaltete alle Arbeiten zur Datenerhebung des Totholzes im Gelände. Als erstes erfolgte die Konzeption und Planung der Totholzinventur. Hierfür wurden Probeaufnahmen im Gelände durchgeführt, um unterschiedliche Verfahren in der Praxis zu testen. Ebenso wurden in einer Testphase die Materialprobenahme und -aufbereitung von Totholzobjekten für die Laboranalyse geprüft. Der Schwerpunkt dieses Moduls war die Durchführung der Datenerhebung im Gelände an verschiedenen Standorten in Brandenburg und Thüringen. An den Inventurpunkten wurden die verschiedenen Inventurparameter aufgenommen und die Materialproben der Totholzobjekte entnommen. Diese wurden anschließend in der Laborphase in Eberswalde aufgearbeitet. Die Analysen des Kohlenstoff- und Stickstoffgehalts zur C/N-Bestimmung wurden im Thünen-Institut in Braunschweig durchgeführt. Danach erfolgten die Datenaufbereitung und -zusammenstellung sowie die Analyse und Bewertung der Ergebnisse.

Die Berechnung der Totholz-Kohlenstoffvorräte und die Erstellung des Totholzinventars erfolgte im dritten Modul. Anhand der erhobenen Daten wurden Funktionen und Schätzer für die Herleitung der Biomasse aus toten Wurzeln entwickelt. Die neu gewonnenen Daten für Holzdichten und Kohlenstoffgehalte wurden in die Berechnung der Totholzvorräte eingebunden. Damit wurde unter Verwendung der neuen Daten ein umfassendes Totholzinventar nach IPCC-Vorgaben für Deutschland berechnet Das neu erstellte Totholzinventar wurde einer ersten Bewertung und Analyse unterzogen. Mit den vorliegenden Ergebnissen des Projektes ist ein wichtiger Schritt für die Integration des unterirdischen Totholzes in die Treibhausgasberichterstattung erfolgt.

Aufgrund der anhaltenden Einschränkungen durch Corona konnte die laufende Vorstellung und Präsentation der Arbeiten auf Tagungen und Konferenzen nur sehr eingeschränkt erfolgen. Der für das Projektende ursprünglich geplante Abschlussworkshop musste entfallen. Die Ergebnisse des Projektes sollen daher an geeigneter Stelle publiziert werden.

2 Vergleich, Analyse und Synthese zu Inventurverfahren zur Totholzerfassung und weiteren relevanten Parametern

2.1 Allgemeine Verfahren

wird Generell zwischen terrestrischen Stichprobenverfahren und fernerkundungsbasierten Inventurverfahren unterschieden. Voraussetzung für die Festlegung des Stichprobendesigns sind Inventurziel und Genauigkeitsanforderungen (Oehmichen 2007). Im Rahmen dieser Untersuchung sind v.a. die terrestrischen Stichprobenverfahren relevant und werden daher im Folgenden genauer betrachtet. Bei den terrestrischen Aufnahmeverfahren wird zwischen Probekreisinventuren, Clusterstichproben (Kleinn, 2007) sowie Linienstichproben unterschieden. Kreisförmige Stichprobeneinheiten (Probekreisinventuren) wurden i.d.R. für Mehrzweckinventuren wie bspw. die Bundeswaldinventur (BWI), aber nicht speziell zur Totholzerfassung entwickelt. Dagegen werden Linienstichproben (LIS = Line Intersect Sampling) ausschließlich zur Erfassung von liegendem Totholz verwendet. Im Schweizerischen Landesforstinventar wird dieses Verfahren auch in Kombination mit dem Probekreisverfahren eingesetzt (siehe auch Oehmichen, 2007). Generell werden als Aufnahmeparameter meist Baumart, Totholztyp (stehend, liegend, Wurzelstock), Zersetzungsgrad, Durchmesser und Höhe bei stehendem Totholz und Wurzelstöcken bzw. Länge bei liegendem Totholz erfasst. Eine Zusammenstellung der verschiedenen Verfahren und weitere Details sind in Oehmichen (2007) sowie darüber hinaus in Russell et al. (2015) enthalten. Als Grundlage für die vorliegende Untersuchung dient die Bundeswaldinventur. Diese wird daher nachfolgend genauer beschrieben.

2.2 Bundeswaldinventur

Die Bundeswaldinventur (BWI) ist eine terrestrische Stichprobeninventur mit einer systematischen Stichprobenverteilung permanent markierter Probepunkte. An den Probepunkten werden in verschiedenen Aufnahmeeinheiten Daten an unterschiedlichen Objekten erhoben (Abbildung 2).

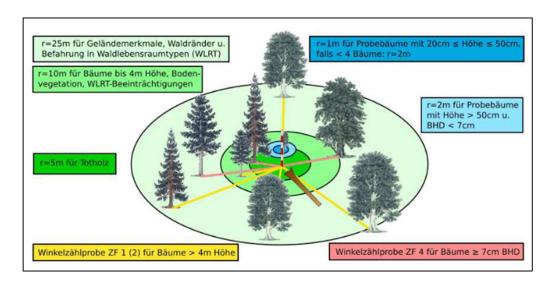


Abbildung 2: Inventurdesign Bundeswaldinventur (Quelle: Riedel et al. 2017)

Das Totholzvorkommen wird im Probekreis mit 5 m Radius erfasst (Abbildung 2). Die Aufnahme schließt alles Totholz mit einem Durchmesser ab 10 cm am dickeren Ende und Wurzelstöcke ab einem Schnittflächendurchmesser ab 20 cm ein (BMELV 2020). Zur Charakterisierung des Totholzes werden die Kenngrößen Dimension (Durchmesser, Länge), Baumartengruppe (Nadelbäume, Laubbäume (außer Eiche), Eiche), Totholztyp (liegendes Totholz, stehendes Totholz, Wurzelstöcke, Abfuhrreste) und Zersetzungsgrad (Tabelle 1) aufgenommen.

Tabelle 1: Beschreibung der Zersetzungsgrade für Totholz im Rahmen der Bundeswaldinventur (Quelle: BMELV 2020)

Zersetzungsgrad	Beschreibung des Zersetzungsgrades				
1 – unzersetzt	Rinde noch am Stamm				
2 – beginnende Zersetzung	Rinde in Auflösung bis fehlend, Holz noch beilfest, bei Kernfäule <1/3 des Durchmessers				
3 – fortgeschrittene Zersetzung	Splint weich, Kern nur noch teilweise beilfest, bei Kernfäule >1/3 des Durchmessers				
4 – stark vermodert	Holz durchgehend weich, beim Betreten einbrechend, Umrisse aufgelöst				

2.3 Inventurverfahren zu toten Wurzeln

Im Folgenden wurden mögliche Inventurverfahren zur Erfassung von toten (Grob-)Wurzeln auf eine Anwendung im Rahmen des Projekts geprüft. Als Orientierung diente dabei ein Übersichtsartikel von Bolte et al. (2003), in dem 'aktuelle' Freilandmethoden vorgestellt und diskutiert wurden.

2.3.1 Direkte Verfahren

Wurzelgrabung und manuelle Wurzelfreilegung

Diese Methode, bei der das Wurzelsystem von Hand mithilfe von Spaten und anderen Grabwerkzeugen freigelegt wird, erlaubt die genaueste Untersuchung und Erfassung von Wurzelstruktur und Wurzelmasse (Bolte et al. 2003). Dieses Verfahren wurde für die Entnahme der Wurzeln im Projekt verwendet.

Murachscher Wurzelbohrer

Im Frühjahr 2018 wurde der von Prof. Dr. Dieter Murach an der HNE Eberswalde entwickelte und von ihm selbst zur Einführung vorgeführte Wurzelbohrer für eine Anwendung im Rahmen des Projekts geprüft. Mit dem Murachschen Wurzelbohrer können in der Bodenoberfläche Bohrkerne gewonnen werden. Diese Methode ermöglicht eine Erfassung der Wurzeldichte. Da der Wurzelbohrer nur sehr punktuell eingesetzt werden kann und vor allem Feinwurzeln in den oberen 20 cm des Bodens erfasst, wurde ein Einsatz im Rahmen des Projekts nicht weiterverfolgt.

2.3.2 Indirekte Verfahren

Georadar

Zwischen März und August 2018 wurden umfangreiche Literaturrecherchen und Expertenbefragungen zum Einsatz von Georadar (engl. ground penetrating radar - GPR) zur Erfassung toter Grobwurzeln durchgeführt. Als Ergebnis wurden zwei unterschiedliche Anwendungssysteme mit Herrn Professor Steffen Rust, HAWK Hildesheim/Holzminden/Göttingen und Herrn Markus Hübner, GGU Karlsruhe getestet. Dabei zeigte sich, dass eine direkte Anwendung im Rahmen des Projekts mit zu hohen Zeit- und Kostenaufwendungen und zu großen Unsicherheiten in Bezug auf das gewünschte Ergebnis, der Erfassung der Biomasse toter Grobwurzeln, verbunden gewesen wäre. Das Thema wurde daher in der Folgezeit nicht weiterverfolgt.

Weitere Verfahren

In diesem Zusammenhang fand auch ein Austausch und Gerätevorführung bei der Firma Rinntech Heidelberg zu den Möglichkeiten einer indirekten Erkennung von toten Wurzeln statt. Dabei wurde insbesondere die "Wurzeldiagnose" mittels ARBORADIX auf der Basis von Schallgeschwindigkeitsmessungen besprochen und vorgeführt. Auch dieses Verfahren erwies sich für unseren Anwendungsbereich nicht geeignet.

2.4 Naturschutzkonzepte mit Totholzbezug

Im Rahmen der Konzeptentwicklung zur Beprobung des oberirdischen Totholzes wurde eine umfassende Literaturrecherche zu den Parametern Totholzlänge und Totholzdurchmesser durchgeführt. Dabei wurden auch die in den einzelnen Bundesländern existierenden Naturschutzkonzepte und -programme zum Erhalt und zur Mehrung von Alt- und Totholz einbezogen.

Ziel der Konzepte ist meist eine möglichst vielfältige Totholzanreicherung (hinsichtlich Baumart, Typ (stehend oder liegend), Dimension und Zersetzungszustand) zum Zweck der Biodiversitätsförderung. Viele Totholzkonzepte enthalten daher primär Mengenangaben sowie Vorgaben zur Anzahl an Habitat- oder Biotopbäumen als Zielgröße. Daneben liegt der Fokus vor allem auf stark dimensioniertem Totholz, da dieses bisher sehr selten ist und insbesondere große Käferarten darauf angewiesen sind (z.B. Buse et al. 2008; siehe auch Thorn et al. 2018).

Konkrete Angaben zur Dimension (Durchmesser und Länge) sind derzeit nur in wenigen Bundesländern (Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz, Sachsen-Anhalt, Saarland und Thüringen) zu finden. Dabei wird meist nur stehendes Totholz mit Durchmesserangabe berücksichtigt. Längenangaben finden sich nur in den Bundesländer Sachsen-Anhalt und Thüringen. In diesen Bundesländern wird zudem zwischen liegendem und stehendem Totholz unterschieden. Im Programm "Leitlinie Wald 2014" in Sachsen-Anhalt ist Totholz definiert als "Abgestorbene Bäume, abgebrochene Starkäste mit einem Durchmesser > 30 cm bei

Weichlaubholz, sonst > 50 cm und 3 m Länge". In Thüringen ist Totholz im Sinne des "Habitatbaum- und Totholzkonzepts": "stehendes und liegendes Totholz (Stämme oder Stammabschnitte ab 3 m Länge mit mindestens 30 cm BHD bzw. 30 cm Durchmesser bei liegendem Totholz am stärksten Ende)". Weitere Informationen zu den einzelnen Konzepten und Programmen können z.B. der Übersichtstabelle in Thorn et al. (2018) entnommen werden.

2.5 Vergleich der Datenlage in den Ländern der Europäischen Union

Um eine Übersicht zu Totholzinventurverfahren, Totholzvorräten und der Kohlenstoffspeicherung in anderen Ländern der Europäischen Union zu erhalten, wurden die Nationalen Inventarberichte der einzelnen Länder miteinander verglichen. Frankreich und Spanien konnten dabei jedoch nicht berücksichtigt werden, da ihre Inventarberichte zum Zeitpunkt der Recherche nur in französischer und spanischer Sprache vorlagen. Eine Übersicht über die Totholzberichterstattung in den einzelnen Ländern der Europäischen Union ist im Anhang zu finden (Tabelle A-11).

Bei der Berichterstattung des Kohlenstoffpools Totholz in der Landnutzungskategorie Wald (hier nochmals unterteilt in verbleibende Waldfläche und Neuwaldfläche) werden die jeweiligen nationalen Waldinventuren der Länder als Bezugsquelle verwendet. Nach Gschwantner et al. (2016) werden drei verschiedene Stichprobenaufnahmeverfahren (Winkelzählprobe, konzentrische Probekreise und andere Probeflächen mit fester Größe) in den nationalen Waldinventuren der europäischen Länder angewendet. Die Aufnahmen werden entweder auf temporären oder permanenten Probeflächen durchgeführt. Die im Rahmen der nationalen Waldinventuren durchgeführten Totholzinventuren erfolgen größtenteils über konzentrische Probekreise mit festgelegten Radien. Die Radien variieren je nach europäischem Land zwischen 5 m (z.B. Deutschland) und 15 m (z.B. Dänemark). Die aufgenommenen Totholzobjekte umfassen überwiegend stehendes Totholz, liegendes Totholz und Wurzelstöcke in unterschiedlichen Dimensionen.

Detaillierte Angaben zum Totholz in den einzelnen Ländern gehen aus den Berichten nicht hervor. Lediglich vereinzelte Werte über die Speicherung von Kohlenstoff im Totholz (z.B. Belgien mit 1,9 t C/ha) oder über die Veränderung des gespeicherten Kohlenstoffs im Totholz (z.B. Deutschland mit 0,0368 t C ha⁻¹ a⁻¹) waren in den Nationalen Inventarberichten der Länder zu finden. Angaben zum unterirdischen Totholz wurden zu keinem Land gefunden.

2.6 Einflussfaktoren auf den Zersetzungsprozess

Die zeitliche Variabilität (Dynamik) des Totholzpools wird einerseits durch die Bestandesmortalität (Eintrag) und andererseits durch den Zersetzungsprozess (Austrag) bestimmt. Der Zersetzungsprozess ist

charakterisiert durch eine Verringerung der Dimension und Masse und damit einhergehenden Veränderungen der biologischen, physikalischen und chemischen Holzeigenschaften und kann in verschiedene Teilprozesse untergliedert werden (siehe auch Herrmann 2017). Hauptprozess der Totholzzersetzung ist der Verlust von organischem Material (Kohlenstoff) aufgrund von Respiration durch Mikroorganismen (Pilze und Bakterien). Laut einer Untersuchung von Chambers et al. (2001) kann dieser Prozess in den Tropen bis zu 76 % des Gesamtkohlenstoffverlustes ausmachen. Neben der Respiration ist vor allem die durch biologische Aktivität (insbesondere Insekten) und physikalische Vorgänge (z.B. Frost) verursachte Fragmentierung von Totholz und die damit einhergehende, räumliche Verteilung von organischem Material im Ökosystem, bedeutsam. Im subalpinen Bereich kann der Fragmentierungsanteil laut Lambert et al. (1980) bis zu 63 % des Gesamtkohlenstoffverlustes ausmachen. Generell wird er mit etwa 30 % angegeben (Harmon und Chen 1991; MacMillan 1988; Yatskov 2001). Mit fortschreitender Zersetzung und abnehmender Festigkeit gewinnt der Anteil der Fragmentierung zunehmend an Bedeutung (Harmon et al. 1986; Müller-Using und Bartsch 2004). Dagegen ist das Auswaschen löslicher Stoffe aus dem Totholz von untergeordneter Bedeutung für den Masseverlust. Weitere an der Zersetzung beteiligte Prozesse sind biologische Transformation und Verwitterung.

Die für den Hauptteil des Zersetzungsprozesses (Respiration) verantwortlichen Mikroorganismen sind ebenso wie die an der Fragmentierung beteiligten Insekten abhängig von der Substratqualität, charakterisiert durch Holzdichte, Dimension, chemische Inhaltsstoffe (wie Lignin, Zellulose, Extraktstoffe) und Zersetzungsstadium, und den klimatischen Faktoren (Temperatur, Niederschlag; Mackensen et al. 2003).

Nach Harmon et al. (1995) überlagert die Substratqualität möglicherweise die klimatischen Faktoren. In anderen Arbeiten wurden deutliche Beziehungen zwischen klimatischen Parametern und Totholzzersetzung herausgestellt (Mackensen et al. 2003, Chambers et al. 2001). So wurde in der Analyse eines globalen Datensatzes eine Beschleunigung der Zersetzungsrate um den Faktor 2,53 (Q₁₀) bei einer Temperaturerhöhung um 10 °C im Bereich zwischen 0 und 30 °C beobachtet (Mackensen et al. 2003). Die mittlere Jahrestemperatur zeigte dabei eine stärkere Korrelation zur Zersetzungsrate als alle untersuchten Standortfaktoren oder Holzeigenschaften. Zwischen substratspezifischen und klimatischen Variablen wurden aber auch Wechselwirkungen beobachtet (Yatskov et al. 2003, Yin 1999). Dabei wurde für leicht zersetzbare Arten zwischen mittlerer Jahrestemperatur und durchschnittlicher Zersetzungsrate eine positive Korrelation beobachtet, während zersetzungsresistenteres Material durch eine Temperaturzunahme nicht (Yatskov et al. 2003) oder nur gering (Yin 1999) beeinflusst wurde. Ein vollständiges Verständnis erfordert daher die Integration von beidem, substratspezifischen und klimatischen Variablen, und die Berücksichtigung der Zersetzergemeinschaft (siehe auch Swift et al. 1979, Weedon et al. 2009).

2.7 Holzdichten und Kohlenstoffgehalt in Relation zur Zersetzungsklasse

Für die in Deutschland häufigsten Baumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche (laut BWI 2012 insgesamt 73 % des Holzbodens (www.bundeswaldinventur.de)) gibt es bisher kaum landesspezifische Daten zu Holzdichten und Kohlenstoffgehalten in Relation zur Zersetzungsklasse (siehe auch UBA 2020). Daher wurde zunächst eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt, mit der die existierenden Daten analysiert und zusammengestellt wurden (Herrmann et al. in prep.a). Ein Problem bei der Übertragbarkeit der existierenden Holzdichten und Kohlenstoffgehalte anderer Länder und Studien waren jedoch die unterschiedlichen Zersetzungsklassifizierungssysteme. Diese variierten zwischen 3 Stufen in Tschechien und 8 Zersetzungsstufen in Rumänien und der Slowakei. In einem ersten Schritt wurde daher eine Methode zur Harmonisierung dieser Daten mit der 4-stufigen Klassifizierung der Bundeswaldinventur entwickelt. Falls in einer der verschiedenen Studien die Darrdichte anstatt der Raumdichte gemessen wurde, wurde diese in Raumdichte umgerechnet (Niemz und Sonderegger 2017). Darauf aufbauend wurde eine Metaanalyse zur Berechnung von Mittelwerten der Holzdichten und Kohlenstoffgehalte der untersuchten Baumarten in Abhängigkeit vom Zersetzungsstadium durchgeführt. Eine detaillierte Veröffentlichung der gesamten Untersuchung ist in Bearbeitung.

Zur Berechnung der Holzdichte je Zersetzungsklasse wurde zunächst eine gleichmäßige Verteilung der Zersetzungsklassen entlang des Zersetzungsgradienten zwischen 100% unzersetzt zu Beginn (Klasse 1) und 0% unzersetzt (bzw. 100% zersetzt) am Ende des Zersetzungsprozesses (Klasse 4; bei 4-stufiger Klassifizierung) angenommen. Weiterhin wurde eine gleichmäßige Verteilung der in den verschiedenen Studien ermittelten Holzdichtewerte innerhalb der jeweiligen Zersetzungsklasse angenommen und dem arithmetischen Mittelwert der jeweiligen Zersetzungsstufe zugeordnet. Danach wurden die Holzdichtewerte gegen den Zersetzungsgrad aufgetragen. Mittels einer Funktion, welche die Beziehung zwischen Holzdichte und Zersetzungsgrad am besten beschreibt, konnten anhand der jeweiligen Mittelwerte der einzelnen Zersetzungsklassen des 4-stufigen Referenzsystems die zugehörigen Holzdichtewerte abgeleitet werden. Die gleiche Methode wurde auch zur Ableitung der Kohlenstoffkonzentration angewendet.

Insgesamt wurden 41 verschiedene Datensätze aus 14 Ländern Europas für die Totholzdichte in die Analyse einbezogen (davon 23 für Fichte, 9 für Kiefer, 8 für Buche und einer für Eiche). Für die Kohlenstoffkonzentration waren es 20 Datensätze aus 8 europäischen Ländern (8 für Fichte, 5 für Kiefer, 6 für Buche und einer für Eiche). Die abgeleiteten Totholzdichten und Kohlenstoffkonzentrationen sind in den Abbildung 3 und Abbildung 4 dargestellt.

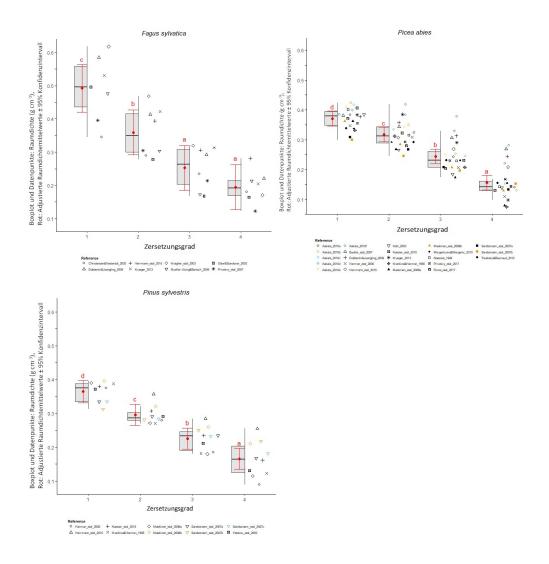


Abbildung 3: Abgeleitete Totholzdichten in CWD von *Fagus sylvatica, Picea abies und Pinus sylvestris*; Boxplots zeigen Median, untere und obere Quartile, Minimum und Maximum; Punkte außerhalb Boxplots repräsentieren Ausreißer; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Gruppenmittelwerten (p < 0.05; Tukey HSD Test).

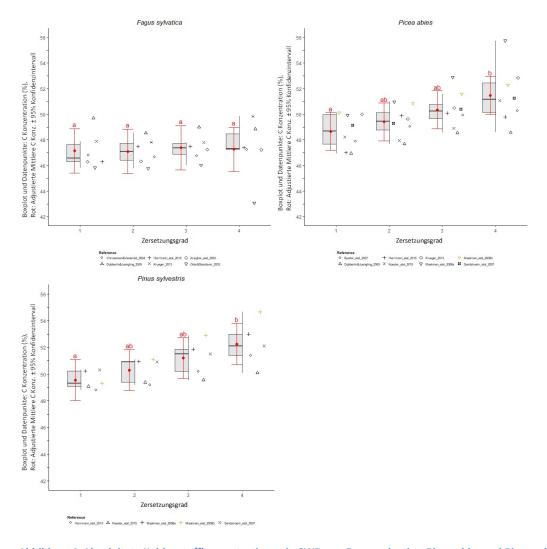


Abbildung 4: Abgeleitete Kohlenstoffkonzentrationen in CWD von Fagus sylvatica, Picea abies und Pinus sylvestris; Boxplots zeigen Median, untere und obere Quartile, Minimum und Maximum; Punkte außerhalb Boxplots repräsentieren Ausreißer; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Gruppenmittelwerten (p < 0.05; Tukey HSD Test).

2.8 Synthese und Ableitung des Forschungsbedarfes

2.8.1 Totholzinventurverfahren

Nach intensiver Literaturrecherche zu möglichen Inventurverfahren und Durchführung von Tests zur indirekten Erfassung von toten Wurzeln hat sich als einzig mögliche und am besten geeignete Methode für die aktuelle Untersuchung die Wurzelausgrabung ergeben. Nur diese Methode bietet die Möglichkeit einer hochaufgelösten Biomasseerfassung und gleichzeitiger Probenentnahme.

2.8.2 Totholzdichte

Für das unterirdische Totholz existieren in Deutschland bisher kaum belastbare Zahlen. Derzeit gibt es nur eine Studie von Krüger (2013) für Buche, Fichte und Eiche. Beim oberirdischen Totholz zeigte sich, dass vor allem für Buche, Eiche (derzeit nur die Studie von Krüger 2013) und Kiefer Forschungsbedarf besteht.

Aufgrund der unzureichenden Datengrundlage wurden die unterirdischen Totholzbeprobungen an den Baumarten Buche und Fichte durchgeführt, um jeweils eine Laub- und eine Nadelhauptbaumart in den Untersuchungen abzudecken. Für die Erhebung der oberirdischen Totholzbeprobungen wurden die Baumarten Buche, Eiche und Kiefer ausgewählt. Tabelle 2 gibt einen Überblick über den erforderlichen Stichprobenumfang der ober- und unterirdischen Totholzbeprobung in den jeweiligen Zersetzungsgraden, der basierend auf den aus der Literaturstudie ermittelten Standardabweichungen berechnet wurde.

Tabelle 2: Erforderlicher Stichprobenumfang zur ober- und unterirdischen Totholzbeprobung (ZG = Zersetzungsgrad)*

Baumart	ZG 1	ZG 2	ZG 3	ZG 4
Fagus sylvatica	30	171	168	505
Picea abies	30	36	64	112
Pinus sylvestris	11	35	58	139

^{*}Für Quercus robur/ petrea konnte kein Stichprobenumfang ermittelt werden, da keine Daten verfügbar waren.

3 Unterirdisches Totholz

3.1 Wurzelmorphologie

Als Überblick zur Wurzelmorphologie wurden allgemeine Merkmale, Wachstumsreaktionen auf verschiedenen Bodenverhältnissen und die Entwicklung der Wurzelsysteme auf unterschiedlichen Standorten zu den Hauptbaumarten Buche, Eiche, Fichte und Kiefer aus der Literatur zusammengestellt.

3.1.1 Buche (Fagus sylvatica)

Allgemeine Merkmale

- Herzwurzelsystem (durchschnittliche Tiefe: 1,2-1,4 m (Köstler et al. 1968)) (Abbildung 5) mit vielfach stark untereinander verwachsenen Wurzeln, welche bei ungehemmter Entwicklung nicht mehr in Horizontal- oder Vertikalwurzeln unterschieden werden können (Köstler et al. 1968, Polomski & Kuhn 2001, Kutschera & Lichtenegger 2013)
- Horizontalwurzeln am Stockrand kräftig entwickelt (bis 0,6-1,0 m), danach durchweg rasche Aufzweigung in schwächere Wurzelstränge, welche nur wesentlich über den Kronenbereich hinauswachsen (Köstler et al. 1968, Polomski & Kuhn 1998, Polomski & Kuhn 2001, Kutschera & Lichtenegger 2013) (ähnliche Tendenz bei den Vertikalwurzeln zu finden (hier bis 0,5 m Tiefe))
- die Tendenz "Wurzel möglichst tief in den Boden zu verankern", ist bei Buche wenig ausgeprägt, somit erreicht die Vertikalwurzel nur Tiefen von maximal 1,6-1,8 m (Köstler et al. 1968), Polomski & Kuhn (2001) geben hingegen maximale Reichweiten zwischen 5,7 und 6,2 m und maximale Tiefen zwischen 1,8 und 3,5 m an

Wachstumsreaktion auf verschiedene Bodenverhältnisse

reagiert sehr stark auf Änderungen der Bodenverhältnisse wie wechselnde Dichtelagerung,
 Sauerstoffmangel und/oder hohen Skelettanteil im Boden, dabei kommt es zur Verflachung des
 Wurzelwerkes (Köstler et al. 1968, Polomski & Kuhn 1998) (siehe auch Tabelle 3)

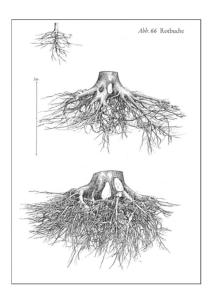


Abbildung 5: Wurzelsystem Buche (Quelle: Köstler et al., 1968)

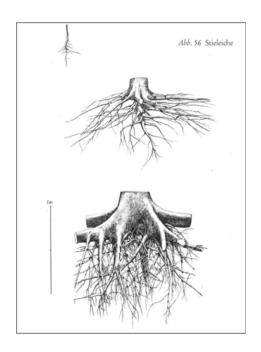
3.1.2 Eiche (Quercus sp.)

Allgemeine Merkmale:

- Trauben- und Stieleiche zeigen in ihrem Wurzelwerk keine grundlegenden Unterschiede (z.B. Karl-Urbahn 1951 (in Kreuzer 1961), Köstler et al. 1968, Kutschera & Lichtenegger 2013)
- in der Jugendphase Pfahlwurzelsystem (durchschnittliche Tiefe: 0,15 m), ab einem Alter von 30-50 Jahren Verlagerung des Hauptwurzelwachstums auf die Horizontalwurzeln und Ausbildung eines Herzwurzelsystems mit oft brett- und strangartigen Aufzweigungen (Bibelriether 1962, Köstler et al. 1968, Polomski & Kuhn 1998, Kutschera & Lichtenegger 2013, Mauer et al. 2017) (Abbildung 6), die bis zu einer Tiefe von 0,15-0,20 m vordringen (Köstler et al., 1968) und Reichweiten von bis zu 0,5-0,6 m erreichen können (Bibelriether 1962)
- charakteristisch für Eiche sind die über große Strecken seil- oder strangartig im Boden verlaufenden Wurzeln (Köstler et al. 1968, Kutschera & Lichtenegger 2013)

Wachstumsreaktionen auf verschiedene Bodenverhältnisse:

- reagiert auf wechselnde Standortverhältnisse mit unterschiedlicher Bewurzelungsintensität (Köstler et al., 1968) (siehe auch Tabelle 3)
- nach Kutschera & Lichtenegger (2013) hängt das Tiefenstreben der Eichenwurzeln vor allem von der genetischen Veranlagung, Ökotypen, Klima und Beschaffenheit der Böden ab



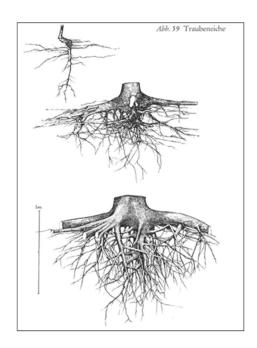


Abbildung 6: Wurzelsysteme Stiel- (links) und Traubeneiche (rechts) (Quelle: Köstler et al., 1968)

3.1.3 Fichte (*Picea abies*)

Allgemeine Merkmale:

- Senkerwurzelsystem, klargetrennt und aufgebaut aus einem oberflächennah angelegten, kräftig entwickelten, tellerartigen Horizontalwurzelsystem, von welchem (oder vom Stock ausgehend) zahlreiche Senker (Vertikalwurzeln) entspringen, die je nach Standort mehr oder weniger tief in den Boden vordringen (Köstler et al. 1968, Kutschera & Lichtenegger 2013, Gulder 2017) (Abbildung 7)
- Horizontalwurzeln nur in den obersten 0,1-0,3 m des Bodens verlaufend (bevorzugt im Humus am Übergang zum Mineralboden) mit Reichweiten von beispielsweise bis zu 9 m (= Radius von 18 m) (Vater 1927) (in Köstler et al. 1968)
- Vertikalwurzelausbildung in den ersten Lebensjahrzehnten (etwa ab 20. Lebensjahr angelegt, mit 30-40 Jahren im Wesentlichen die spätere Gesamttiefe erreicht) sehr stark (zwischen 1,2 bis 2 m), im höheren Alter nur noch Verdichtung durch weitere Anlage von Senkern (bei ungehemmter Entwicklung beträchtliche Bodentiefen möglich (nach Jüttner 1954 bis zu 6 m) (in Köstler et al. 1968), Einstellung des Vertikalwachstums ab einem Alter von etwa 80 Jahren (Gulder 2017)
- nach Gulder (2017) erreicht die Fichte auf stabilen (Wasserhaushalt mäßig trocken bis frisch) und mäßig labilen Böden (Wasserhaushalt mäßig wechseltrocken und mäßig wechselfeucht) Hauptwurzel-horizonte (= Bodentiefe, bis zu welcher rund 70% der Wurzelmasse angelegt sind) von 0,2 bis 0,6 m (Maximum 1,25 m), auf labilen Böden (Wasserhaushalt wechselfeucht, stark wechselfeucht, feucht) hingegen nur maximal 0,4 m

 Kuhr (1999) hingegen gibt für tiefgründige, lehmige Sandstandorte maximale Wurzeltiefen von 6 m (aus Jüttner 1954) an, das Wurzelwachstum der Fichte kann durch Verwachsungen gekennzeichnet sein, nach Holmsgaard & Scharff (1964) (in Kutschera & Lichtenegger 2013) ist es möglich das bis zu 40 % aller Bäume eines Fichtenbestandes im Wurzelwerk miteinander verwachsen sind

Wachstumsreaktionen auf verschiedene Bodenverhältnisse:

wird am stärksten durch die Sauerstoffverhältnisse im Boden beeinflusst (Köstler et al. 1968, Polomski & Kuhn 2001, Gulder 2017), je schlechter die Bodendurchlüftung, um so flacher die Bewurzelung der Fichte, des Weiteren spielt die Wasserversorgung eine entscheidende Rolle bei der Ausbildung der Wurzel (Köstler et al. 1968, Polomski & Kuhn 2001), so reagiert die Fichtenwurzel auf starke Wechsel-feuchte oder Grundwasser empfindlicher als jene von Buche und Lärche (Gulder 2017), Substrattyp oder Nährstoffvorrat haben hingegen nur eine geringen Einfluss auf die Ausprägung des Wurzelwerks (Gulder 2017) (siehe auch Tabelle 3)

3.1.4 Kiefer (*Pinus sylvestris*)

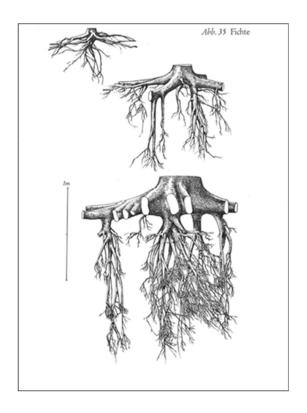
Allgemeine Merkmale:

- Pfahlwurzelsystem (Abbildung 7), bestehend aus einem Wurzelstock mit vertikaler Pfahlwurzel und horizontal verlaufenden Seitenwurzeln, welche in unmittelbarem Zusammenhang bezüglich Ihrer Durchmesserstärke stehen (je größer der Durchmesser der Pfahlwurzel, desto geringer der Durchmesser der Hauptseitenwurzeln und umgekehrt) (Köstler et al. 1968)
- Hauptseitenwurzeln in den oberen 0,1 0,3 m des Bodens verlaufend mit Reichweiten von beispielsweise bis zu 16 m (Wagenhoff 1938 in Köstler et al. 1968)
- Tiefenerschließung der Pfahlwurzel in den ersten Lebensjahrzehnten sehr stark (10-20 Jahre: bis 0,15 m Tiefe, 30-40 Jahre: 0,18 bis 0,25 m), im höheren Alter hingegen kaum noch ausgeprägt (maximale gemessene Tiefreichenweite: 6 m (Wiedemann 1927 in Köstler et al. 1968) (durchschnittliche Wurzeltiefe: 2 m (www.wald.de)), hier nähert sich das Wurzelsystem immer mehr einer Herzwurzelform an (Kutschera & Lichtenegger 2013)
- nach Kalela (1954) (in Kutschera & Lichtenegger 2013) ist das Wurzelwerk der Kiefer ab einem Alter von
 35-40 Jahren ausgewachsen

Wachstumsreaktionen auf verschiedene Bodenverhältnisse:

 primär beeinflusst die Bodenart (im Speziellen die Bodenlagerung) die Wurzelentwicklung, so verschieben sich beispielsweise die Anteile der Wurzeltypen bei zunehmendem Lehmgehalt und gleichzeitig verstärkter Dichtelagerung des Bodens so, das Pfahlwurzeln weniger deutlich ausgeprägt sind und häufig Herzwurzeln auftreten (je dichter der Boden, desto stärker die Aufzweigungstendenz der Wurzeln) (Bibelriether 1963, Köstler et al. 1968, Polomski & Kuhn 1998, www.wald.de) (siehe auch Tabelle 3)

- in enger Wechselbeziehung mit der Lagerung des Bodens wirkt sich außerdem der Wasserhaushalt auf das Wurzelwachstum aus (z.B. zeigt sich bei Pseudogleyböden: je dichter der Boden, je höher der Skelettanteil, je stärker die Pseudogleydynamik und je schärfer die Trockenphase ist, umso gestauchter ist die Wurzelform und umso stärker die Aufzweigungstendenzen (Köstler et al. 1968), dabei können die Senker mittlere Tiefen von 0,8 bis 1,5 m im Alter von 80 bis 100 Jahren erreichen (Bibelriether 1963))
- nach Melzer (1964) (in Kutschera & Lichtenegger 2013) und Kutschera & Lichtenegger (2013) beeinflusst vorwiegend das Klima die Tiefe der Bodendurchwurzelung, so ist beispielsweise das geringe Tiefenstreben der Wald-Kiefer in Schweden oder in Finnland nicht ursächlich "rassisch" bedingt, sondern auf das kühlere Klima zurückzuführen (Kutschera & Lichtenegger 2013)



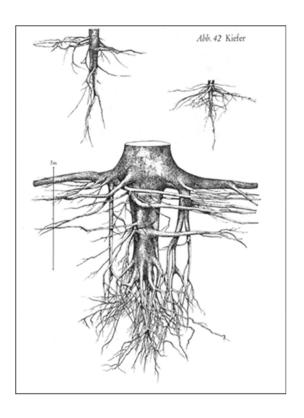


Abbildung 7: Wurzelsysteme Fichte (links) und Kiefer (rechts) (Quelle: Köstler et al. 1968)

Tabelle 3: Entwicklung der Wurzelsysteme auf unterschiedlichen Standorten

Bodenart	Buche	Eiche	Fichte	Kiefer
Grundwasser-	Buche wurzelt extrem	Eiche wurzelt flach,	Fichte wurzelt recht flach	Vertikalwurzeln zweigen sich
beeinflusste	flach.	besonders bei lang	(maximal 40 cm (Gulder 2017))	stark auf und nehmen ein
Standorte		anhaltend-enden hohen	und extensiv, aber	besenartiges Aussehen an (ja
		Grundwasserständen.	weitstreichend im Ober-boden.	mehr sich das Grundwasser
				der Oberfläche nähert, umso
				flacher wird das
				Wurzelsystem).
Pseudogley	Das Herzwurzelsystem	Eiche ist in der Lage mit	Zahl und Dimension der Senker	Pfahlwurzel kommt nur in der
	wechselt zu einem	vereinzelten Wurzeln	hängt von der Stärke der	Jugend vor, mit zu-
	Senkerwurzelsystem (je	tief-reichend in den	Pseudogley-verhältnisse ab (je	nehmendem Alter wächst die
	schwerer der Ton, desto	dichten sauerstoffarmen	extremer der Pseudogley, umso	Pfahlwurzel nach und nach in

	flacher die Wurzel). Altbuchen erreichen maximal 7 dm Bodentiefe und sind sehr anfällig gegenüber Windwurf.	Unterboden einzudringen (je dichter und schwerer der Boden, um so extensiver die Durchwurzelung im Untergrund).	zahlreicher, kürzer, schwächer und stärker aufgezweigt sind die Senker). Die Wurzelmasse beschränkt sich daher haupt- sächlich auf den flachen Wurzelteller, der sich in den oberen, besser durch-lüfteten Bodenschichten ausbreitet.	den Stock ein, gleichzeitig kommt es zur Entwicklung von Senkern an den Hauptseitenwurzeln, es bilden sich Sen- kerwurzelsysteme.
Skelettreicher Boden	Wurzeln vielfach plattig. Tiefenreichweite nur 6-8 dm Bodentiefe.		Fichte bildet ein unregel- mäßiges, dichtes Senker- wurzelwerk aus.	Geringes Tiefstreben der Wurzel.
Ton	Buche wurzelt flach und erreicht (auch im Alter) nur 8-9 dm Bodentiefe.	Ausbildung eines flachen Stützwurzelsystems mit weitstreichenden Abzweigungen im Ober- boden.	Fichte bildet stark aufzweigende Senker aus, die mehrere dm tief in den Ton vordringen.	Kiefer wurzelt mit ihren Senkerwurzeln ziemlich flach, wurzelt aber tiefer als die meisten anderen Baumarten.
Zweischichtenboden (z.B. Sand über Ton/Lehm)	Buche wurzelt fast ausschließlich im Ober- boden (meist nur 5-7 dm) und zeigt eine typische, flach halbkugelige, aber sehr intensive Wurzel-tracht.	Eiche wurzelt nur flach im Oberboden.	Fichte bildet ein kräftiges Vertikalwurzelsystem aus.	Vertikalwurzeln zweigen sich stark auf und nehmen ein besenartiges Aussehen an (ja mehr sich das Grundwasser der Oberfläche nähert, umso flacher wird das Wurzel- system).

3.2 Beprobungskonzept

Nach der wissenschaftlichen Ausarbeitung der Einflussfaktoren auf die Totholzzersetzung (Kapitel 2.6) erfolgt in diesem Kapitel die Ableitung eines entsprechenden Stichprobendesigns für die Probepunkte im Gelände. Hierfür wurden Auswertungen der BWI 2012 durchgeführt, um Vorkommen und Verteilung der Anzahl der Wurzelstöcke nach Höhenstufe und Durchmesser zu erhalten.

3.2.1 Inventurdesign

In Anbetracht der in Kapitel 2.6 beschriebenen Einflussfaktoren ergibt sich das in Tabelle 4 dargestellte Inventurdesign. Die Inventur der toten Wurzeln und Wurzelstöcke zur Schätzung der Kohlenstoffspeicherung sollte den möglichen Variationsbereich und die Grenzen der einzelnen Stratifizierungsfaktoren je Baumart abbilden (Tabelle 4). Die Werte in den Durchmesser- und v.a. in den Höhenklassen sind Richtgrößen und können ggf. angepasst werden. Schwarz hervorgehoben ist eine mögliche Variante zur Reduktion des Gesamtdesigns für eine erste (Basis-)Schätzung. Damit käme man bei 5 Wiederholungen auf 80 Wurzelstöcke, bei 3 Wiederholungen wären es 48 zu beprobende Wurzelstöcken. Diese Variante könnte in der nächsten Stufe durch die Einbeziehung der übrigen Straten erweitert werden.

Tabelle 4: Inventurdesign oberirdisches Totholz

Anzahl

Baumart	4 Buche	Fichte	Kiefer	Eiche
Höhenstufe (müNN)	3 <100	ca. 500	>900	
Durchmesserklasse (cm)	3 <30	30-40	>40	

Alter/Zersetzungsgrad	4	beginnend	mittel	fortgeschritten	stark zersetzt
Boden	3	Sand	Lehm		
	432	-			
Wiederholungen	5				
Gesamt	2160	Wurzelstöck	æ		

3.2.2 Datengrundlage BWI 2012

Zunächst wurden alle in der BWI 2012 erfassten Wurzelstöcke in Relation zur natürlichen Höhenstufe dargestellt (Abbildung 8 und Abbildung 10). Danach erfolgte eine Stratifizierung entsprechend der 3-stufigen Einteilung im Inventurdesign (vgl. Tabelle 4, Abbildung 9 und Abbildung 11).

Nach Auswahl der Untersuchungsobjekte je Stratum könnte weiterführend z.B. nach der Anzahl der Wurzelstöcke je Plot, der Höhe der Wurzelstöcke und/oder nach dem Volumen stratifiziert werden. Die in Abbildung 8 bis Abbildung 11 dargestellte Stratifizierung dient nur der Orientierung. Die eigentlichen Aufnahmen sollen in der Nähe der BWI-Plots durchgeführt werden, ohne die Plots zu beeinträchtigen.

Buche

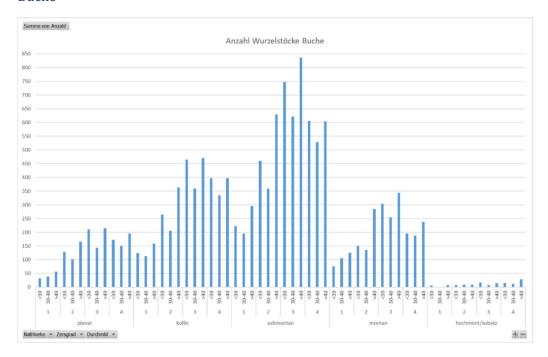


Abbildung 8: Anzahl der Buchen-Wurzelstöcke in Abhängigkeit von natürlicher Höhenstufe, Durchmesserklasse (cm) und Zersetzungsgrad. Gesamtanzahl: 13902; Datengrundlage BWI3, Stratifizierung "BestockTypFein": "Buchen-Reinbestockung" und "Buchen-Mischbestockung"

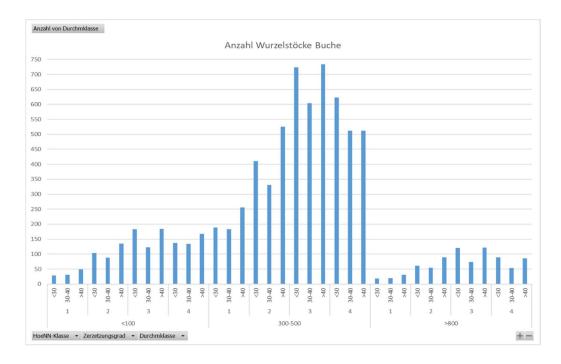


Abbildung 9: Anzahl der Buchen-Wurzelstöcke in Abhängigkeit von Höhenstufe (m), Durchmesserklasse (cm) und Zersetzungsgrad. Gesamtanzahl: 7787; Datengrundlage BWI3, Stratifizierung "BestockTypFein": "Buchen-Reinbestockung" und "Buchen-Mischbestockung"

Fichte

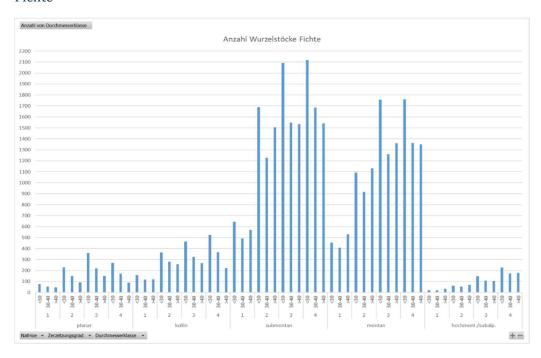


Abbildung 10: Anzahl der Fichten-Wurzelstöcke in Abhängigkeit von natürlicher Höhenstufe, Durchmesserklasse (cm) und Zersetzungsgrad. Gesamtanzahl: 36613; Datengrundlage BWI3, Stratifizierung "BestockTypFein": "Fichten-Reinbestockung" und "Fichten-Mischbestockung"

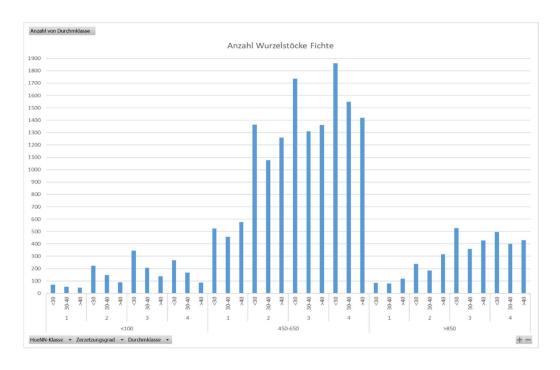


Abbildung 11: Anzahl der Fichten-Wurzelstöcke in Abhängigkeit von Höhenstufe (m), Durchmesserklasse (cm) und Zersetzungsgrad. Gesamtanzahl: 19994; Datengrundlage BWI3, Stratifizierung "BestockTypFein": "Fichten-Reinbestockung" und "Fichten-Mischbestockung"

3.3 Datenerhebung

3.3.1 Vorstudie Geländeaufnahmen

Im Zeitraum von Juli bis August 2018 wurden auf der zum Thünen-Institut für Waldökosysteme gehörenden Versuchsfläche in Britz erste Probeausgrabungen an Wurzelstöcken der Baumarten Buche und Kiefer durchgeführt (siehe auch Oehmichen et al. 2020). Damit wurde der Verfahrensablauf und die einzelnen Arbeitsschritte zur unterirdischen Totholzbeprobung getestet und dokumentiert.

Die Versuchsfläche liegt nördlich von Eberswalde (Abbildung 12). Sie ist dem Wuchsbezirk Angermünde-Strasburger Grund-(Wellen-)moräne des Wuchsgebiets Ostmecklenburg-Nordbrandenburger Jungmoränenland zugeordnet und überwiegend mir Kiefer und Buche bestockt. Die weiteren Kenndaten sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

Die Ergebnisse der Vorstudie wurden nach eingehender Prüfung ebenfalls in die Gesamtauswertung einbezogen.

Tabelle 5: Beschreibung der Untersuchungsstandorte für die Wurzelstockaufnahmen (Quelle: Landesbetrieb Forst Brandenburg)

Standort	Höhe*	Bodentyp	Nährstoff-	Mittlere Jahres-	Gesamtjahres-
	(m ü. NN)		versorgung	temperatur (°C)	niederschlag
					(mm)
Eichhorst	52	Sandige	mittel	8.6	590
		Braunerde			
Britz	53	Podsolige	kräftig	8.2	555
		Braunerde			
Liepe	70	Lehm-Fahlerde-	reich bis	8.2	555
		böden	kräftig		
Sandkrug	40	Sandige	mittel	8.2	555
		Braunerde			

^{*}Quelle: https://de-de.topographic-map.com/maps/6jd7/Eberswalde/

3.3.2 Auswahl Probeflächen

Anhand der in Kapitel 3.2.1 genannten Kenngrößen (Baumart, Höhenstufe, Zersetzungsgrad, Durchmesser) erfolgte die Auswahl von 3 Untersuchungsstandorten im nordostdeutschen Tiefland (Höhenstufe Flach- und Hügelland, Abbildung 12) auf denen jeweils 4 Buchen- und 4 Fichtenwurzelstöcke in den Zersetzungsgraden 1 bis 4, sowie ein Buchenwurzelstock im Zersetzungsgrad 1 entnommen wurden.

Beim Ausgraben stellten insbesondere die Bodeneigenschaften sowie die Dimension der toten Wurzelstöcke eine große Herausforderung dar. Zudem zeigte sich während der Arbeiten, dass ein Ausgraben von toten Wurzelstöcken mit einem Schnittflächendurchmesser von > 40 cm in Abhängigkeit von Baumart und Bodenbeschaffung mit den im Projekt zur Verfügung stehenden Geräten nur sehr begrenzt möglich war. Aus diesem Grund waren die durchgeführten Geländearbeiten mit einem wesentlich größeren Arbeits- und Zeitaufwand verbunden als ursprünglich eingeplant. Dadurch musste der Umfang der beprobten Wurzelstöcke stark reduziert werden, so dass auf die unterirdische Totholzbeprobung in den Höhenstufen Mittelgebirge und Gebirge/ Hochgebirge verzichtet werden musste.



Abbildung 12: Lage der Probepunkte im nordostdeutschen Tiefland (Quelle: OpenStreetMap)

3.3.3 Standortbeschreibung

Buche

Die Entnahme der Buchenwurzelstöcke in den Zersetzungsgraden 2 bis 4 (Abbildung 13) erfolgte in einem Buchenmischbestand in der Nähe der Ortschaft Liepe im Revier Maienpfuhl. Die Entnahme des Buchenwurzelstocks im Zersetzungsgrad 1 erfolgte in einem zweischichtigen Buchenreinbestand mit vereinzelter Beimischung von Eiche und Kiefer nahe der Ortschaft Sandkrug im Revier Chorin.

Beide Reviere sind der Landeswaldoberförsterei Chorin zugeordnet. Sie liegen ebenfalls im Wuchsbezirk Angermünde-Strasburger Grund-(Wellen-)moräne des Wuchsbegebiets Ostmecklenburg-Nordbrandenburger Jungmoränenland. Die weiteren Standortsdaten sind in Tabelle 5 zusammengestellt.



Abbildung 13: Entnommene Buchenwurzelstöcke in den Zersetzungsgraden 1 bis 4 (jeweils von oben links nach unten rechts; oberirdisch (obere 4 Abbildungen) und gesamt (untere 4 Abbildungen))





Abbildung 14: Buchenmischbestand im Revier Maienpfuhl (Liepe; links) und Buchenreinbestand im Revier Chorin (Sandkrug; rechts)



Abbildung 15: Bodenprofile der Buchenstandorte in den Revieren Maienpfuhl (Liepe; links) und Chorin (Sandkrug; rechts)

Fichte

Die Entnahme der vier Fichtenwurzelstöcke in den einzelnen Zersetzungsgraden (Abbildung 16) erfolgte in einem Fichtenmischbestand mit Laub- und Nadelbäumen im Revier Überheide der Landeswaldoberförsterei Groß Schönebeck (BWI-Punkt 38209, Ecke 2) im Wuchsbezirk Eichhorster Platte des Wuchsgebiets Ostmecklenburger-Nordbrandenburger Jungmoränenland. Die weiteren Kenndaten sind in Tabelle 5 zusammengestellt.



Abbildung 16: Entnommene Fichtenwurzelstöcke in den Zersetzungsgraden 1 bis 4 (jeweils von oben links nach unten rechts; oberirdisch (obere 4 Abbildungen) und gesamt (untere 4 Abbildungen))



Abbildung 17: Bodenprofil am Fichtenstandort im Revier Üderheide (Eichhorst)

3.3.4 Verfahrensablauf der unterirdischen Totholzbeprobung

Abbildung 18 gibt einen Überblick über den Verfahrensablauf der unterirdischen Totholzbeprobung. Die einzelnen Arbeitsschritte im Gelände (1-3) und im Labor (4-7) werden im Folgenden näher beschrieben.



Abbildung 18: Verfahren der unterirdischen Totholzbeprobung

3.3.4.1 Allgemeine Daten und Bestandesaufnahme

Im ersten Schritt der Geländearbeiten erfolgte das Aufsuchen eines geeigneten Wurzelstocks und die Ansprache des Zersetzungsgrades nach dem 4-stufigen Klassifizierungssystem der BWI (Tabelle 1). Danach wurde die durchschnittliche Höhe des oberirdischen Wurzelstockes mittels Längenmaßband sowie der

Wurzelstockdurchmesser an der Bodenoberfläche und an der Schnittfläche mittels Kreuzkluppung gemessen und der Überschirmungsgrad erfasst (Abbildung 19 und Abbildung 20).

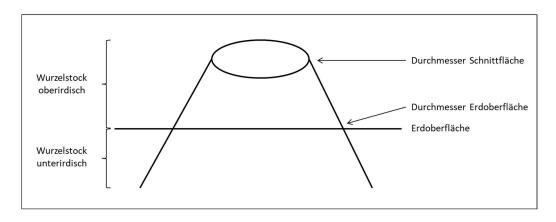


Abbildung 19: Unterteilung Wurzelstock



Abbildung 20: Aufnahme des oberirdischen Wurzelstocks und des Überschirmungsgrads

Nach Aufnahme des oberirdischen Wurzelstocks erfolgte die Erfassung des Bestandes. Dabei wurden die lebenden sowie toten Nachbarbäume und Wurzelstöcke des ausgewählten Wurzelstocks in einem Radius von 5 m erfasst. Neben der Entfernungsermittlung und der Ansprache des Zersetzungsgrads erfolgte die Messung des Durchmessers an allen erfassten Nachbarbäumen und Wurzelstöcken (Abbildung 21).



Abbildung 21: Erfassung der Bestandesparameter

3.3.4.2 Ausgraben Wurzelstock

Nach der Erfassung der allgemeinen Daten und des Bestandes wurde der Wurzelstock mit seinen dazugehörigen Wurzeln mittels Spaten, kleinen Schaufeln und weiteren Werkzeugen bis zum Wurzeldurchmesser von 2 cm freigelegt und ausgegraben (Abbildung 22).





Abbildung 22: Ausgraben Wurzelstock

3.3.4.3 Vermessung Wurzelstock und Wurzeln

Nach Freilegen des unterirdischen Wurzelstocks und der zugehörigen Wurzeln erfolgte die Aufnahme der Wurzelparameter. Hierzu gehörten: (1) die Messung der Durchmesser an Wurzelansatz und Wurzelende (Abbildung 23) aller Wurzeln ab einem Minimumdurchmesser von 2 cm, (2) die Ermittlung der entsprechenden Wurzellängen, des Zersetzungsgrades und der maximalen Durchwurzelungstiefe aller Wurzeln sowie (3) die Dokumentation der Position der einzelnen Wurzeln am Wurzelstock.





Abbildung 23: Vermessen des Wurzelstockes und der dazugehörigen Grobwurzeln

Im Anschluss wurde der komplette Wurzelstock aus dem Boden entnommen. Bei größeren Wurzelstöcken wurde dies mit Hilfe eines Seilzugs durchgeführt (Abbildung 24). Mittels einer an einem Dreibein befestigten Waage wurde danach das Gesamtgewicht von Wurzelstock und Wurzeln ermittelt (Abbildung 25). Zuvor wurden Wurzelstock und Wurzeln grob gereinigt. Kleinere Wurzelstöcke wurden mit einer Laborwaage im Thünen-Institut für Waldökosysteme in Eberswalde gewogen.



Abbildung 24: Bergung von Wurzelstock und Wurzeln mit Hilfe eines Seilzugs



Abbildung 25: Wiegen von Wurzelstock und Wurzeln mittels Dreibein

Nach Abschluss der Geländearbeiten wurde die Wurzel zum Thünen-Institut für Waldökosysteme nach Eberswalde gebracht und von den verbliebenen Verunreinigungen gesäubert. Dort wurden mittels einer Motorkettensäge alle Wurzelteile mit einem Durchmesser > 10 cm vom Wurzelstock entfernt und der Wurzelstock ohne Wurzeln gewogen, entweder mit der Waage am Dreibein (Abbildung 25) oder auf einer Laborwaage (Abbildung 26). Weiterhin wurden Probestücke aus den Durchmesserbereichen 2 – 5 cm, 5 – 10 cm und > 10 cm - am Ende der Wurzeln, in der Mitte und an den Wurzelansätzen - sowie aus dem ober- und unterirdischem Wurzelstock entnommen (Abbildung 26).

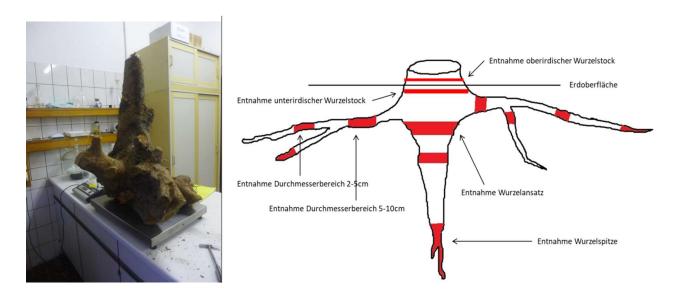


Abbildung 26: Wiegen Wurzelstock (links) und Entnahme Wurzelproben aus den verschiedenen Wurzelbereichen (Quelle: Röhling et al., 2019, verändert) (rechts)

3.3.4.4 Feuchtigkeitsbestimmung

Zu Beginn der Laborarbeiten wurden Durchmesser und Länge der entnommenen Wurzelproben gemessen und die einzelnen Wurzelstücke zur Ermittlung des Frischgewichtes gewogen (Abbildung 27). Zudem wurde der Zersetzungsgrad notiert. Nach Ermittlung des Frischgewichts wurden die Proben bis zur Gewichtskonstanz im laboreigenen Trockenschrank (Abbildung 28) für ca. 5 Tage bei 105 °C getrocknet. Danach wurden die Wurzelproben zur Ermittlung der Trockengewichte erneut gewogen.



Abbildung 27: Vermessen und Wiegen der Wurzelproben



Abbildung 28: Trocknung der Wurzelproben im Trockenschrank

3.3.4.5 Darrdichtebestimmung

Nach Ermittlung des Gesamttrockengewichts wurde ein Teil der Proben zur Bestimmung der Darrdichte in Abhängigkeit vom Zersetzungsgrad und der Position (vgl. Abbildung 26) ausgewählt. Diese Proben wurden gewogen und anschließend vakuumiert (Abbildung 29). Danach erfolgte die Bestimmung der Darrdichte nach der Wasserverdrängungsmethode (Prinzip des Archimedes, Abbildung 30).



Abbildung 29: Vakuumieren einer Wurzelprobe



Abbildung 30: Tauchen einer Wurzelproben zur Dichtebestimmung

Die Bestimmung der Darrdichte (ρ) [g/cm³] erfolgte über die Formel:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

wobei m dem Trockengewicht [g] der Totholzprobe und V dem Volumen [cm³] bzw. dem Gewicht des durch die Probe verdrängten Wassers beim Tauchvorgang entspricht. Das Gewicht der Vakuumierfolie wurde für die jeweilige Foliengröße zuvor erhoben und bei der Berechnung der Darrdichte vom Gesamtgewicht abgezogen.

Über die Formel:

$$Rd = Dd \ x \ \frac{100 - \beta v}{100}$$

kann die Darrdichte in die Raumdichte umgerechnet werden (Niemz und Sonderegger 2017). Dabei ist Rd = Raumdichte, Dd = Darrdichte und $\delta v = Volumenquellung$ oder -schwindung (%; 17,9, 11,9 und 12,1 für Buche, Fichte und Kiefer).

Diese Umrechnung wurde jedoch für intaktes Holz entwickelt. Mit zunehmender Zersetzung und in Abhängigkeit von Fäuletyp und Baumart sollte dies eher als Annäherung betrachtet werden.

3.3.4.6 *Mahlen*

Im Anschluss an die Dichtebestimmung wurde eine Unterstichprobe der Wurzelproben mittels einer Bandsäge in der Holzwerkstatt der Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde (HNEE) zerkleinert. Danach wurden die Proben im Zentralen Ökologischen Labor der HNEE gemahlen. Hier wurden die Proben zunächst durch einen Vorzerkleinerer zerfasert und mittels einer Mühle (Ultra-Zentrifugal Mühle Typ 211-1, Firma Retsch) pulversiert (Abbildung 31).



Abbildung 31: Linkes Bild: Mühle (links) und Vorzerkleinerer (rechts), Rechtes Bild: gemahlenes Probematerial

3.3.4.7 *C/N* –*Analyse*

Die Analyse der C und N Konzentration erfolgte am Zentrallabor des Thünen-Instituts in Braunschweig. Die Messung erfolgte mittels Makro-Elementaranalyse über die Verbrennung des Probenmaterials bei 1350 °C (TRUMAC, LECO, Saint Joseph; Abbildung 32). Der Gehalt an Ct wurde über das gebildete CO_2 mittels IR-Detektor quantifiziert, der Nt-Gehalt wurde nach Reduktion von NO_x zu N_2 mittels Wärmeleitfähigkeitsdetektor gemessen.



Abbildung 32: Messung von C und N im TRUMAC im Zentrallabor des Thünen-Instituts für Agrarklimaschutz

3.4 Ergebnisse

Insgesamt wurden 15 Wurzelstöcke, verteilt auf drei verschiedene Baumarten - Kiefer (3), Fichte (4), Buche (8) - ausgegraben und analysiert (Tabelle 6). Das Trockengewicht variierte dabei zwischen 0,5 und 87 kg. Zwischen ober- und unterirdischem Zersetzungsgrad wurde ein Unterschied von maximal einer Stufe beobachtet.

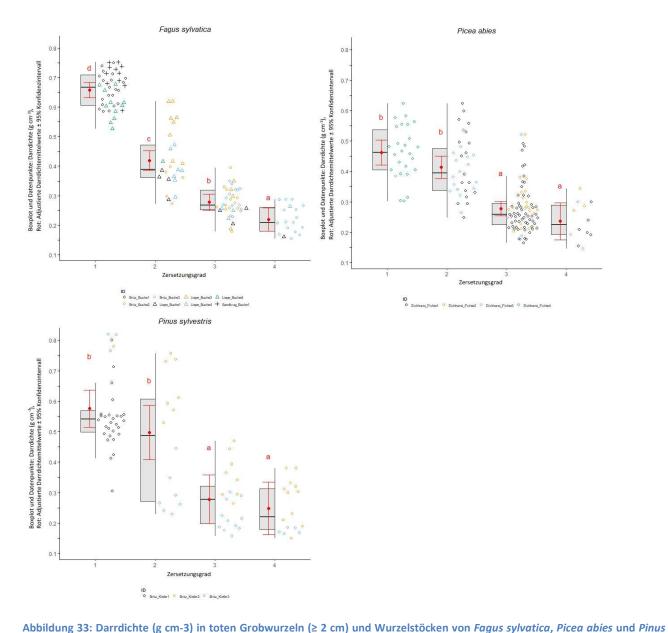
Tabelle 6: Übersicht der aufgenommenen Wurzelstöcke (Standorte: EH = Eichhorst, BR = Britz, LI = Liepe, SK = Sandkrug; †m.R., o.R.)

Baumart	ID	Zersetzun	gsgrad	Durch-	Stock-	Trocken-
		ober-	unter-	messer	höhe	gewicht
		irdisch	irdisch	Schnitt- fläche (cm)	(cm)	≥ 2 cm (kg)
P. abies	EH-Fi1	3	2	26	20	11,7
P. abies	EH-Fi2	4	4	22.5	17,5	2,33
P. abies	EH-Fi3	2	3	25.9	20	8,41
P. abies	EH-Fi4	1	1	42.7+	27	86,8
P. sylvestris	BR-Ki1	1	1	21.5 ⁺	12	19,3
P. sylvestris	BR-Ki2	3	3	14.95	10	6,55
P. sylvestris	BR-Ki3	4	3	17.5 ⁺	6,5	4,9
F. sylvatica	BR-Bu1	1	1	13.5 ⁺	10	6,85
F. sylvatica	BR-Bu2	2	3	9	4	0,49
F. sylvatica	BR-Bu3	3	4	11.9	8	0,68

F.	sylvatica	LI-Bu1	4	4	35	13	5,51
F.	sylvatica	LI-Bu3	3	2	44	20	60,0
F.	sylvatica	LI-Bu4	4	3	45.9	13	32,9
F.	sylvatica	LI-Bu5	2	1	35.1 ⁺	15	32,2
F.	sylvatica	SK-Bu1	1	1	27+	15	37,0

3.4.1 Holzdichte

Mit zunehmendem Zersetzungsgrad wurde bei den untersuchten Baumarten eine signifikante Abnahme der Holzdichte in toten Grobwurzeln (≥ 2 cm) und Wurzelstöcken auf der Grundlage der Einzelproben beobachtet (Abbildung 33). Signifikante Unterschiede zwischen allen Zersetzungsstufen wurden dabei nur für Buche beobachtet. Bei Fichte und Kiefer waren die Unterschiede zwischen den Zersetzungsstufen 1 und 2 sowie 3 und 4 nicht signifikant (Abbildung 33).



sylvestris; Boxplots zeigen Median, unteres and oberes Quartil, Minimum- und Maximumwerte; Punkte außerhalb Boxplots repräsentieren Ausreißer; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Gruppenmittelwerten (p < 0.05; Tukey HSD)

3.4.2 Kohlenstoff

Insgesamt blieb die Kohlenstoffkonzentration in Abhängigkeit vom Zersetzungsgrad relativ konstant. Signifikante Änderungen, d.h. ein Anstieg der C Konzentration zwischen den Zersetzungsstufen 1 und 3 und eine Verringerung am Ende des Zersetzungsprozesses (Zersetzungsstufe 4) wurden nur für Buche beobachtet (Abbildung 34). Bei Fichte und Kiefer nahm die C Konzentration am Ende des Zersetzungsprozesses tendenziell zu.

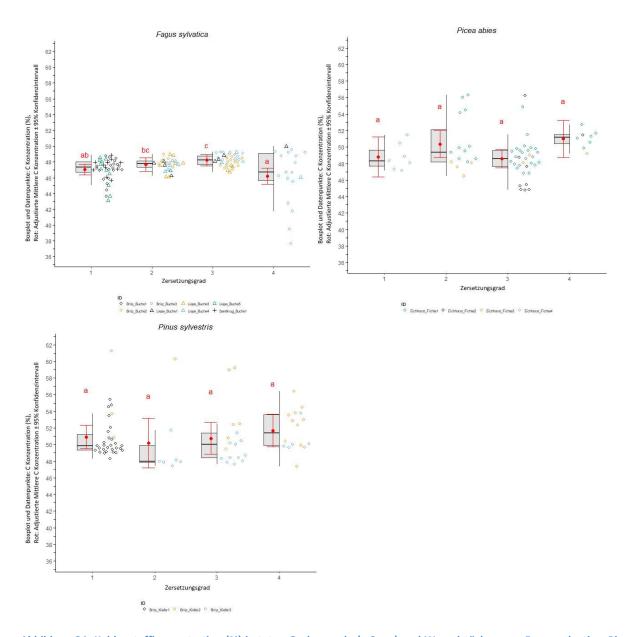


Abbildung 34: Kohlenstoffkonzentration (%) in toten Grobwurzeln (≥ 2 cm) und Wurzelstöcken von Fagus sylvatica, Picea abies und Pinus sylvestris; Boxplots zeigen Median, unteres and oberes Quartil, Minimum- und Maximumwerte; Punkte außerhalb Boxplots repräsentieren Ausreißer; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Gruppenmittelwerten (p < 0.05; Tukey HSD)

3.4.3 C/N-Verhältnis

Mit zunehmendem Zersetzungsgrad wurde bei den untersuchten Baumarten eine signifikante Verringerung des C/N-Verhältnisses beobachtet (Abbildung 35). Da die C Konzentration im Verlauf des Zersetzungsprozesses relativ konstant blieb, wurde diese Abnahme hauptsächlich durch einen Anstieg der Stickstoffkonzentration (ohne Abbildung) verursacht. Zu den detaillierten Ergebnissen wird derzeit eine weitere Veröffentlichung vorbereitet (Herrmann et al. in prep.b).

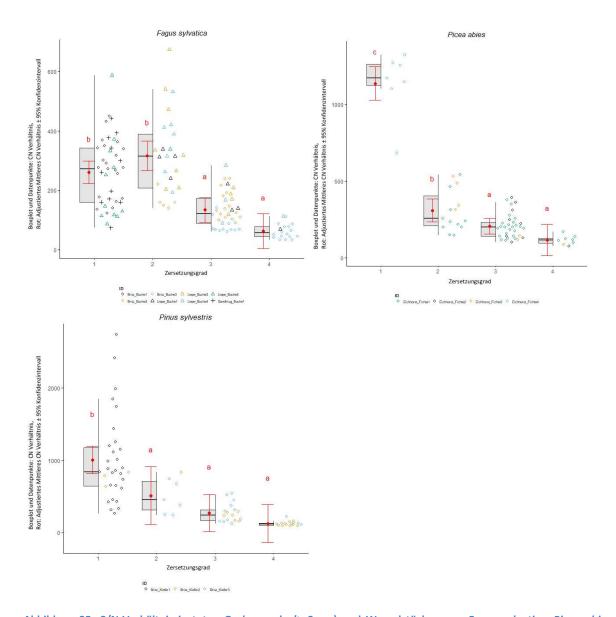


Abbildung 35: C/N-Verhältnis in toten Grobwurzeln (≥ 2 cm) und Wurzelstöcken von Fagus sylvatica, Picea abies und Pinus sylvestris; Boxplots zeigen Median, unteres and oberes Quartil, Minimum- und Maximumwerte; Punkte außerhalb Boxplots repräsentieren Ausreißer; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Gruppenmittelwerten (p < 0.05; Tukey HSD)

4 Oberirdisches Totholz

4.1 Beprobungskonzept

In Deutschland gibt es derzeit nach unserem Kenntnisstand zur Holzdichte von oberirdischem Totholz nur eine Untersuchung für die Baumart Eiche und wenige Untersuchungen für die Baumarten Buche und Kiefer. Daher sollen im Rahmen dieses Projektes weitere Aufnahmen durchgeführt werden.

Hierzu wurden die vorhandenen Totholzdaten der BWI 2012 ausgewertet. Analog zum Beprobungskonzept für das unterirdische Totholz wurden hierzu die Parameterkombinationen Totholztyp, Zersetzungsgrad und Standort betrachtet. Zudem wurden der Bewirtschaftungs- und der Bestandestyp berücksichtigt.

Die BWI unterscheidet vier oberirdische Totholztypen – stehendes und liegendes Totholz, Abfuhrreste und Wurzelstöcke. Da die Entnahme von Probematerial an stehendem Totholz als zu gefährlich erachtet wurde, wurden im Rahmen dieser Untersuchung nur Proben an liegendem Totholz und an Wurzelstöcken entnommen. Abfuhrreste wurden ebenfalls nicht berücksichtigt. Neben der Einteilung in Totholztypen und der Berücksichtigung der 4 Zersetzungsgrade (vgl.2.2, Tabelle 1) waren zudem Länge und Durchmesser wichtige Auswahlkriterien. Dabei wurden auch die in der BWI 2012 ermittelten Längen- und Durchmesserverteilungen an liegendem Totholz sowie die Verteilung der Schnittflächendurchmesser der Wurzelstöcke berücksichtigt. Die Mindestlänge sollte 1 m betragen. In der Regel wurden deutlich längere Stammabschnitte zur Beprobung genutzt. Als Mindestdurchmesser wurde für liegendes Totholz und Wurzelstöcke (Schnittflächendurchmesser) 20 cm gewählt. Dies stimmt zudem mit der Mehrzahl der Untersuchungen in Deutschland und auf europäischer Ebene überein.

Ähnlich wie bereits für das liegende Totholz erfolgte die Auswahl der Untersuchungsstandorte über drei Höhenstufen – Flach- und Hügelland (bis ca. 200 m ü. NN), Mittelgebirge (> 300 m ü NN) und Gebirge (> 800 m ü. NN). Weiterhin wurde darauf geachtet, dass sowohl bewirtschaftete als auch unbewirtschaftete Wälder mit Rein- und Mischbeständen berücksichtigt wurden. Nach der Auswahl der Untersuchungsstandorte wurden die Totholzproben an den jeweiligen Baumarten entnommen und im Anschluss im Labor des Thünen-Instituts für Waldökosysteme aufbereitet. Das genaue Vorgehen wird in den Kapiteln 4.2 und 4.3 beschrieben. Die Ergebnisse werden in Kapitel 4.4 dargestellt.

4.2 Datenerhebung

Mittels Feld-PC (Firma GETAC, Modell V110), GPS (Firma Sokkia, Modell GIR 1600) und Magnetsuchgerät (Firma Schonstedt, Modell GA-72 Cd) erfolgte zunächst das Aufsuchen des Markierungseisens des ausgewählten BWI-Punktes. Die eigentlichen Aufnahmen wurden - wie diejenigen des unterirdischen Totholzes - in der Nähe der BWI-Plots durchgeführt, ohne die Plots zu beeinträchtigen. Im Rahmen des

Projektes konnten nur oberirdische Totholzbeprobungen in der Höhenstufe Flach- und Hügelland durchgeführt werden. Die Totholzbeprobungen in der Höhenstufe Mittelgebirge mussten nach kurzer Zeit im März 2020 aufgrund des Lockdowns infolge der Corona-Pandemie abgebrochen werden. Totholzbeprobungen in der Höhenstufe Gebirge und Hochgebirge wurden nicht durchgeführt.

4.2.1 Vorstudie Geländeaufnahmen

Im Zeitraum von Mai bis Juni 2019 wurden umfangreiche Testbeprobungen im Stadtwald Eberswalde (Abbildung 36) durchgeführt. Dieser ist dem Wuchsbezirk Tramper Platte im Wuchsgebiet Ostmecklenburg-Nordbrandenburger Jungmoränenland zugeordnet und mit den Baumarten Buche, Eiche, Douglasie und Kiefer bestockt. Die Höhe ü. NN beträgt ca. 60 m. Bezogen auf den Zeitraum von 1961 bis 1990 beträgt der mittlere Jahresniederschlag 593 mm, die Jahresmitteltemperatur liegt bei 8,6 °C (Quelle: Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde). Die Böden der Waldflächen sind geprägt durch mäßig frische, grundwasserfreie sandige Braunerden (Quelle: Landesbetrieb Forst Brandenburg 2013).

Im Rahmen der Testprobungen wurden verschiedene Bohrertypen und Bohrergrößen am zu beprobenden Totholz der Baumarten Buche, Eiche und Kiefer im Zersetzungsrad 1 bis 4 getestet (Abbildung 37).



Abbildung 36: Lage der Beprobungsflächen im Stadtwald von Eberswalde (Quelle: OpenStreetMap)



Abbildung 37: Durchführung von Testbohrungen mittels Forstner- (links) und Schlangenbohrer (rechts)

4.2.2 Auswahl Probeflächen

In der Höhenstufe Flach- und Hügelland wurden 20 Probeflächen ausgewählt (Abbildung 38), auf denen im Zeitraum von August 2019 bis Januar 2020 196 Totholzobjekte (siehe Tabelle A-12, im Anhang) beprobt wurden. In der Höhenstufe Mittelgebirge wurden 19 Probeflächen (Abbildung 39) ausgewählt, die im Zeitraum von Februar 2020 bis März 2020 aufgesucht wurden. Aufgrund des geringem Totholzvorkommens konnten die Beprobungen allerdings nur auf 6 Probeflächen durchgeführt werden. Dabei wurden 28 Totholzproben entnommen (siehe Tabelle A-13 im Anhang).

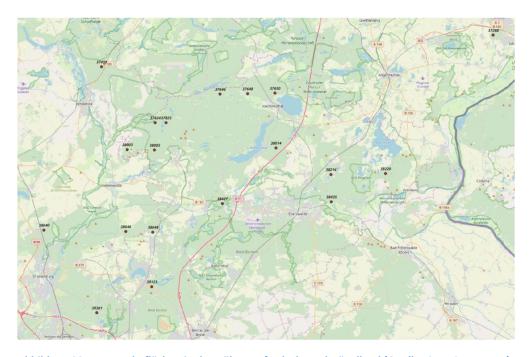


Abbildung 38: Lage Probeflächen in der Höhenstufe Flach- und Hügelland (Quelle: OpenStreetMap)



Abbildung 39: Lage Probeflächen in der Höhenstufe Mittelgebirge (Quelle: OpenStreetMap)

4.2.3 Standortbeschreibung

Die oberirdische Totholzbeprobung in der Höhenstufe Flach- und Hügelland erfolgte in den Revieren:

- Briese (BWI-Punkt 39361, Ecke 1, Kiefern-Reinbestockung (Abbildung 40)), Lottsche (BWI-Punkt 38646, Ecke 2, Kiefern-Mischbestockung mit Laubbäumen und BWI-Punkt 38648, Ecke 4, Buchen-Mischbestockung mit Laubbäumen und Nadelbäumen), Neuholland (BWI-Punkt 38640, Ecke 4, Kiefern-Mischbestockung mit Laubbäumen) und Zühlsdorf (BWI-Punkt 39123, Ecke 1, Buchen-Reinbestockung) der Landeswaldoberförsterei Borgsdorf,
- Chorin (BWI-Punkt 38216, Ecke 3, Kiefern-Mischbestockung mit Laubbäumen (Abbildung 40)),
 Maienpfuhl (BWI-Punkt 38220, Ecke 3, Buchen-Mischbestockung mit Laubbäumen) und Kahlenberg (BWI-Punkt 38435, Ecke 2, Buchen-Mischbestockung mit Nadelbäumen) der Landeswaldoberförsterei Chorin,
- Glambeck (BWI-Punkt 37650, Ecke 4, Kiefern-Reinbestockung), Köllnsee (BWI-Punkt 37646, Ecke 1, Kiefern-Reinbestockung), Pehlenbruch (BWI-Punkt 37648, Ecke 2, Kiefern-Mischbestockung mit Laubbäumen), Überheide (BWI-Punkt 38427, Ecke 2, Kiefern-Reinbestockung), Voigtsweise (BWI-Punkt 38014, Ecke 3, Eichen-Mischbestockung mit Laubbäumen und Nadelbäumen und BWI-Punkt 38014, Ecke 4, Kiefern-Mischbestockung mit Laubbäumen) und Wildbahn (BWI-Punkt 37282, Ecke 3, Eichen-Mischbestockung mit Laubbäumen) der Landeswaldoberförsterei Groß Schönebeck und
- Prötze (BWI-Punkt 38003, Ecke 3, Eichen-Reinbestockung und BWI-Punkt 38005, Ecke 4, Kiefern-Reinbestockung), Rehluch (BWI-Punkt 37825, Ecke 2, Kiefern-Reinbestockung), Trämmersee (BWI-Punkt 37824, Ecke 1, Kiefern-Mischbestockung mit Laubbäumen) und Vogelsang (BWI-Punkt 37450, Ecke 3, Kiefern-Mischbestockung mit Laubbäumen) der Landeswaldoberförsterei Reiersdorf.

Die Reviere sind den Wuchsbezirken Schwedter Terrasse, Oranienburger Talsand, Kienschorfheide, Angermünde-Strasburger Grund-(Wellen-)moräne, Eichhorster Platte, Eberswalder Talabschnitt, Wandlitzer

Platte und Basdorfer Sand-Hochfläche der Wuchsgebiete Nordostbrandenburger Jungmoränenland und Ostmecklenburg-Nordbrandenburger Jungmoränenland zugeordnet und befinden sich zwischen 75 und 150 m ü. NN. Alle weiteren Standortinformationen sind in Tabelle A-14 (im Anhang) dargestellt.



Abbildung 40: Kiefernmischbestand mit Laubbäumen im Revier Chorin (BWI-Punkt 38216, Ecke 3) (links) und Kiefernreinbestand im Revier Briese (BWI-Punkt 39361, Ecke 1) (rechts)

Die oberirdische Totholzbeprobung in der Höhenstufe Mittelgebirge erfolgte in den Revieren:

- Egstedt (BWI-Punkt 53584, Ecke 1 und 4, Eichen-Mischbestockung mit Laubbäumen (Abbildung 41) und BWI-Punkt 53568, Ecke 1, Buchen-Mischbestockung mit Laubbäumen) des Forstamts Erfurt-Willrode,
- Bad Klosterlausnitz (BWI-Punkt 53610, Ecke 3, Kiefern-Mischbestockung mit Nadelbäumen),
 Leuchtenburg (BWI-Punkt 54857, Ecke 2, Kiefern-Mischbestockung mit Nadelbäumen) und Wolfersdorf (BWI-Punkt 55001, Ecke 1, Kiefern-Mischbestockung mit Laub- und Nadelbäumen) des Forstamts Jena-Holzland und
- Weißbach (BWI-Punkt 55413, Ecke 2, Kiefern-Mischbestockung mit Laub- und Nadelbäumen und BWI-Punkt 55413, Ecke 3, Kiefern-Mischbestockung mit Laub- und Nadelbäumen (Abbildung 41)) des Forstamts Neustadt an der Orla.

Die Reviere sind den Wuchsbezirken Ilm-Saale-Platten, Westlicher Beckenrand und Ostthüringischer Buntsandstein der Wuchsgebiete Thüringer Becken und Ostthüringisches Trias-Hügelland zugeordnet (Tabelle A-15, im Anhang).



Abbildung 41: Eichenmischbestand mit Laubbäumen im Revier Egstedt (BWI-Punkt 53584, Ecke 1) (links) und Kiefernmischbestand im Revier Weißbach (BWI-Punkt 55413, Ecke 3) (rechts)

4.2.4 Geländearbeiten

4.2.4.1 Erfassung oberirdisches Totholz

Nach Aufsuchen eines geeigneten Totholzobjekts (liegendes Totholz oder Wurzelstock) erfolgte die Ansprache des Zersetzungsgrades und die Ermittlung des Überschirmungsgrads. Beim liegenden Totholz wurden die Parameter Durchmesser sowie Länge und beim Wurzelstock die Parameter Durchmesser der Schnittfläche, Durchmesser an der Erdoberfläche sowie Stockhöhe aufgenommen (Abbildung 42).



Abbildung 42: Messung von Bestandesparametern und oberirdischem Totholz

4.2.4.2 Entnahme von Probematerial

Die Entnahme des Probematerials erfolgte überwiegend mittels Schlangenbohrer (Durchmesser: 1,6 cm, Länge: ca. 40 cm) und Akku-Bohrmaschine (Makita DDF481RTJ 18V 5,0Ah). Dabei wurde zunächst die Rinde mit Hilfe einer Axt von den zu beprobenden Totholzobjekten entfernt (Abbildung 43). Danach wurde der Bohrer in einem Winkel von 90° senkrecht zur Stammachse angesetzt und bis zur Mitte des jeweils gemessenen Durchmessers gebohrt (Abbildung 43). Nachdem das komplette Probematerial aus dem Bohrloch entfernt wurde, wurde die Bohrlochtiefe mittels Holzstab und Zollstock ermittelt (Abbildung 44). Bei stark zersetzten Totholzobjekten (v.a. ZG 4) erfolgte die Entnahme von Probematerial oder -stücken per Hand, ggf. mittels Handsäge.



Abbildung 43: Vorbereitung und Beprobung eines Wurzelstockes

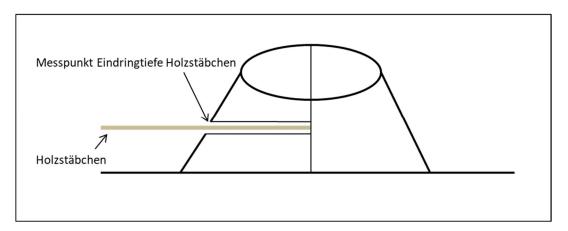


Abbildung 44: Messung der Bohrlochtiefe

4.3 Laboranalysen

4.3.1 Ermittlung Feucht- und Trockengewichte

Wie bei der Analyse der unterirdischen Totholzbeprobung wurde das entnommene Probematerial im Labor des Thünen-Instituts für Waldökosysteme in Eberswalde gewogen (= Frischgewicht) und bis zur Gewichtskonstanz im laboreigenen Trockenschrank (siehe auch Abbildung 28 in Kapitel 3.3.4.4) für mindestens 3 Tage bei 105°C getrocknet. Danach wurden die Proben erneut gewogen und die Trockengewichte ermittelt.

4.3.2 Holzdichte

Die Bestimmung der Holzdichte (ρ) [g/cm³] erfolgte über die Formel:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

(vgl. auch Kap. 3.3.4.5) wobei m dem Trockengewicht [g] der Totholzprobe und V dem Volumen [cm³] des in das Holz eingedrungenen Bohrers entspricht.

Dieses Volumen [cm³] berechnet sich als:

$$V = \pi * (r)^2 * t$$

dabei entspricht π der Kreiszahl Pi = 3,1415926..., r ist der Radius des verwendeten Bohrers [cm] und t ist die Tiefe des Bohrlochs [cm].

4.3.3 Weitere Laborarbeiten

Nach Ermittlung der Holzdichten wurden die Proben wie für das unterirdische Totholz beschrieben zerkleinert, gemahlen und zur Analyse von C und N in das Zentrallabor des Thünen-Instituts für Agrarklimaschutz gebracht (siehe auch Kapitel 3.3.4.6 und 3.3.4.7).

4.4 Ergebnisse

Bei der Datenauswertung stellte sich heraus, dass bei der Datenerhebung, d.h. den Bohrproben- und Materialentnahmen methodisch leider nicht alles wie gewünscht funktioniert hatte. Daher konnte nur ein Teil der Daten in die Ergebnisse einfließen. Zwischen den beprobten Totholztypen Wurzelstock und

liegendem Totholz wurde kein signifikanter Unterschied für die gemessenen physikalischen und chemischen Holzeigenschaften festgestellt. Daher wurden die Daten zusammengefasst. Die Ergebnisse der Vorstudie wurden nach vorheriger Prüfung teilweise ebenfalls in die Gesamtauswertung einbezogen. Ein Überblick über repräsentative Totholzobjekte (Wurzelstöcke und liegendes Totholz) in Abhängigkeit vom Zersetzungsgrad findet sich im Anhang (Abbildung A-49).

4.4.1 Holzdichte

Mit zunehmendem Zersetzungsgrad wurde bei den untersuchten Baumarten eine signifikante Abnahme der Holzdichte beobachtet (Abbildung 45). Signifikante Unterschiede zwischen allen Zersetzungsstufen wurden dabei aber nur für Kiefer festgestellt.

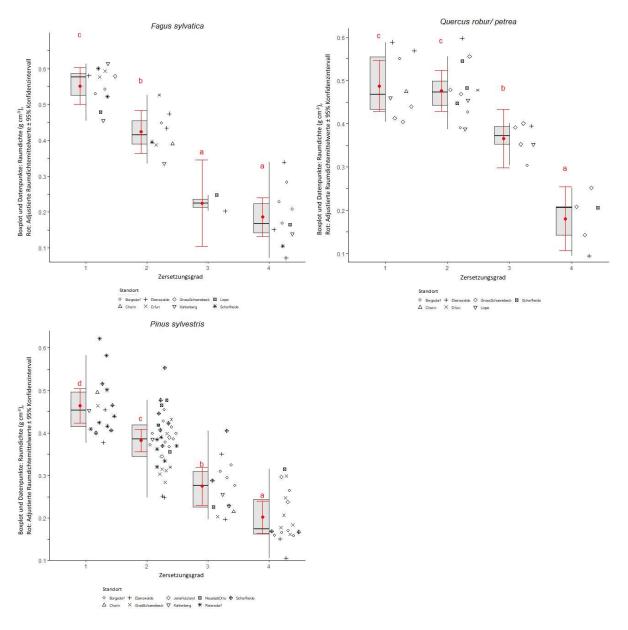


Abbildung 45: Raumdichte (g cm-3) in liegendem Totholz (> 10 cm) von Fagus sylvatica, Quercus robur/ petrea und Pinus sylvestris; Boxplots zeigen Median, unteres and oberes Quartil, Minimum- und Maximumwerte; Punkte außerhalb Boxplots repräsentieren Ausreißer; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Gruppenmittelwerten (p < 0.05; Tukey HSD)

4.4.2 Kohlenstoff

Für Buche und Kiefer blieb die Kohlenstoffkonzentration in Abhängigkeit vom Zersetzungsgrad ähnlich konstant, auf vergleichbarem Niveau, wie beim unterirdischen Totholz (vgl. Kap. 3.4.2, Abbildung 34). Dagegen wurde für Eiche mit zunehmender Zersetzung ein signifikanter Anstieg der C-Konzentration beobachtet (Abbildung 46).

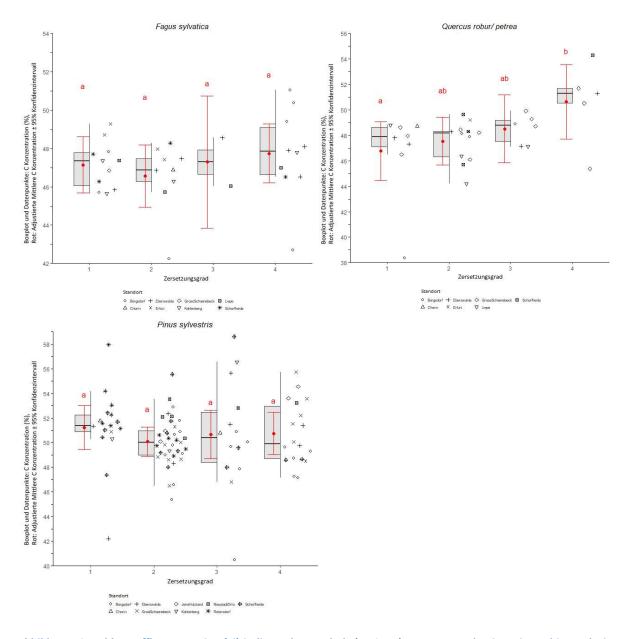


Abbildung 46: Kohlenstoffkonzentration (%) in liegendem Totholz (> 10 cm) von Fagus sylvatica, Picea abies und Pinus sylvestris; Boxplots zeigen Median, unteres and oberes Quartil, Minimum- und Maximumwerte; Punkte außerhalb Boxplots repräsentieren Ausreißer; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Gruppenmittelwerten (p < 0.05; Tukey HSD)

4.4.3 C/N-Verhältnis

Ähnlich wie für das unterirdische Totholz (vgl. Kap. 3.4.3, Abbildung 35), wurde auch für das oberirdische Totholz eine signifikante Verringerung des C/N-Verhältnisses mit zunehmendem Zersetzungsgrad beobachtet (Abbildung 47). Die Abnahme wurde ebenfalls hauptsächlich durch den Anstieg der Stickstoffkonzentration (ohne Abbildung) verursacht.

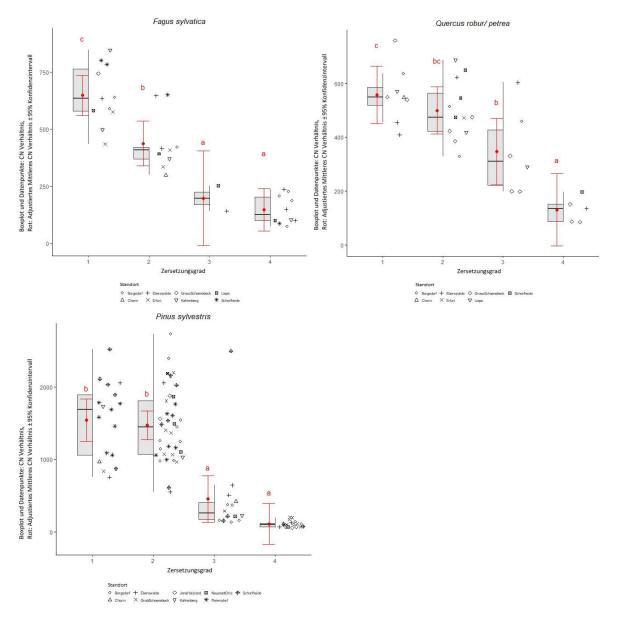


Abbildung 47: C/N-Verhältnis in liegendem Totholz (> 10 cm) von *Fagus sylvatica*, *Picea abies* und *Pinus sylvestris*; Boxplots zeigen Median, unteres and oberes Quartil, Minimum- und Maximumwerte; Punkte außerhalb Boxplots repräsentieren Ausreißer; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Gruppenmittelwerten (p < 0.05; Tukey HSD)

5 Berechnung der Totholz-Kohlenstoffvorräte und Erstellung Totholzinventar

Auf der Grundlage der im Rahmen dieses Projektes aufgenommenen 15 Wurzelstöcke, verteilt auf drei verschiedene Baumarten, Kiefer (3), Fichte (4), Buche (8), wurde eine erste Schätzung des in toten (Grob-)Wurzeln vorhandenen unterirdischen Kohlenstoffspeichers durchgeführt. Im Folgenden werden die dazu notwendigen Arbeitsschritte skizziert.

5.1 Entwicklung von Schätzern und Funktionen für Biomassebestimmung

Zunächst erfolgte die Ableitung des Brusthöhendurchmessers (BHD) anhand des gemessenen Schnittflächendurchmessers und der Höhe des jeweiligen Wurzelstocks mittels einer baumartenspezifischen Funktion, welche auf Daten eines Biomasseprojekts der FVA Baden-Württemberg basiert (Vonderach 2021).

Anhand des jeweiligen BHD's als Eingangsgröße wurde im nächsten Schritt die unterirdische Phytomasse in kg pro Einzelbaum für lebende bzw. unzersetzte Bäume mit den Biomassefunktionen in Röhling et al. (2019) für Kiefer sowie in Bolte et al. (2003) für Buche und Fichte geschätzt (siehe auch UBA 2020, Tabelle 401).

Diese wurde anschließend mit der gemessenen, in den jeweiligen Zersetzungsgraden (ZG) verbliebenen unterirdischen Phytomasse der untersuchten Baumarten verglichen. Anhand der Relation zwischen gemessener und geschätzter (unzersetzter) unterirdischer Biomasse wurde ein entsprechender Reduktionsfaktor in Abhängigkeit vom Zersetzungsgrad ermittelt (Abbildung 48). Die Schätzung erfolgte konservativ entsprechend den Anforderungen an einen Tier 2-Ansatz (IPCC 2006). Daher wurde keine Korrektur für eine mögliche Durchmesserverringerung vom intakten zum zersetzten Wurzelstock vorgenommen. Zudem erfolgte bei Überschätzung eine Korrektur der ermittelten Reduktionsfaktoren in ZG 1 auf maximal 100% der geschätzten unterirdischen Phytomasse für lebende bzw. unzersetzte Bäume (Abbildung 48). Die Korrektur wurde für Buche und Fichte durchgeführt. Dabei wurden die Reduktionsfaktoren in ZG 2 bis 4 ebenfalls angepasst.

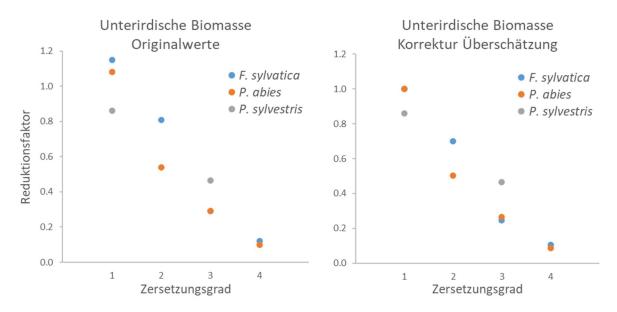


Abbildung 48: Reduktionsfaktoren in Abhängigkeit vom Zersetzungsgrad für unterirdische Biomasse von Buche, Fichte und Kiefer; links Originalwerte, rechts mit Überschätzungskorrektur

Da die Anzahl der erhobenen Wurzelstöcke in Abhängigkeit von Baumart und ZG sehr gering ist (maximal zwei Wurzelstöcke für ZG 2-4), wurden die ermittelten Reduktionsfaktoren zur weiteren Absicherung zunächst mit anderen, anhand der Literatur abgeleiteten Reduktionsfaktoren für oberirdisches Totholz verglichen und auf Plausibilität geprüft. Dies erfolgt unter der Annahme, dass für den Zersetzungsprozess unter- und oberirdisch grundsätzlich die gleichen Gesetzmäßigkeiten gelten. In der Literatur finden sich in Relation zum ZG hauptsächlich Untersuchungen zur Dichteabnahme, nur sehr vereinzelt zum Volumen- und Masseverlust. Daher erscheint v.a. ein Vergleich der Reduktionsfaktoren der einzelnen Komponenten der (Totholz-)Masse – Dichte und Volumen sinnvoll. Hauptprozess der Zersetzung ist die Respiration, d.h. die Veratmung von C durch Mikroorganismen, welche sich hauptsächlich in der Dichteabnahme ausprägt (siehe auch Herrmann 2017). Im Stadium der beginnenden Zersetzung (ZG 2) entspricht der Dichte- dem Masseverlust. Mit fortschreitender Zersetzung gewinnt die Fragmentierung – als weiterer Teilprozess der Zersetzung - infolge biotischer (Pilze, Insekten) und abiotischer (physikalischer; z.B. Witterung) Einflussfaktoren an Bedeutung (vgl. auch Kap. 2.4). Die Fragmentierung spiegelt sich v.a. in der Volumenabnahme wider. Daher eignet sich der Volumenverlust in den fortgeschrittenen Zersetzungsstadien, ZG 3 und v.a. ZG 4 als Schätzer für den Masseverlust. Durch die Holzdichte allein würde der Masseverlust in diesen Zersetzungsstadien unterschätzt (d.h. die tatsächlich verbliebene Masse wäre geringer). Das gleiche gilt umgekehrt, im Stadium beginnender Zersetzung (ZG 2), für das Volumen. Die abgeleiteten Reduktionsfaktoren von Dichte und Volumen erlauben somit auch direkt Rückschlüsse auf die ermittelten Reduktionsfaktoren der Masse. Die hier einbezogenen dichtebezogenen Reduktionsfaktoren basieren auf den Untersuchungen von Müller-Using und Bartsch (2009) sowie Fraver et al. (2002), welche im Nationalen Inventarbericht (UBA 2020) als Referenz verwendet werden. Weiterhin wurden die Ergebnisse der im Rahmen des Projekts durchgeführten Meta-Analyse von Totholzdichten für oberirdisches Totholz (siehe Kap. 2.7) einbezogen. Die Reduktionsfaktoren auf der Grundlage der Volumenabnahme basieren auf Untersuchungen von Müller-Using und Bartsch (2009) für Buche sowie Herrmann et al. (2015) für Buche, Fichte und Kiefer, jeweils für oberirdisches Totholz. Basierend auf der zweiten Untersuchung wurden zudem Reduktionsfaktoren zur Massenabnahme abgeleitet (siehe Tabelle 9). Für den Volumenvergleich wurde zunächst das Volumen der erfassten unterirdischen Biomasse durch Division mit der ermittelten mittleren Totholzdichte der aufgenommenen Buchen-Wurzelstöcke bestimmt. Der Vergleich mit den abgeleiteten volumenbasierten Reduktionsfaktoren auf der Grundlage der Untersuchung von Müller-Using und Bartsch (2009) sowie von Herrmann et al. (2015) ergab keinen wesentlichen Unterschied, mit Ausnahme des etwa 30 % niedrigeren Wertes in ZG 3 (Tabelle 7). Letzterer resultiert aus zwei aufgenommenen Wurzelstöcken, BR-BU2 und LI-BU4 mit einem volumenbezogenen Reduktionsfaktor von 0.51 und 0.84. Dabei entspricht der zweite Wert ziemlich genau den beiden Vergleichswerten. Im Rahmen dieser (möglichst konservativen) Schätzung wird der 30 % geringere Mittelwert verwendet. Zudem fällt der deutlich höhere Reduktionsfaktor in ZG 4 in der Untersuchung von Herrmann et al. (2015) auf. Dieser ist sicherlich auch im Untersuchungsdesign (Sturmflächen mit begrenztem Zersetzungszeitraum, mehrheitlich geringe Durchmesser in ZG 4) begründet.

Tabelle 7: Volumenbasierte Reduktionsfaktoren abgeleitet nach Müller-Using und Bartsch (2009) für Buche und Herrmann et al. 2015 für Buche, Fichte und Kiefer

Baumart	Zersetzungs-	Korrektur Volumen	Korrektur Volumen	Korrektur Volumen
	grad	Wurzelstöcke ¹	Müller-Using und Bartsch	Herrmann et al.
			2009	2015
Buche	1	1	1	*
Buche	2	1.1	0.95	0.96
Buche	3	0.59	0.84	0.86
Buche	4	0.32	0.27	0.71

¹inklusive Überschätzungskorrektur

Die Reduktionsfaktoren auf Grundlage der Dichteabnahme der Wurzelstöcke sind für Buche mit denjenigen aus der Untersuchung von Müller-Using und Bartsch (2009) und aus der Literaturanalyse (siehe Kap. 2.7) vergleichbar (Tabelle 8). Bei Fichte sind die deutlich tieferen Werte in ZG 3 und 4 in der Untersuchung von Fraver et al. (2002) auffällig. Letztere wurde allerdings an Nordamerikanischen Nadelholzarten (*Abies balsamea, Picea rubens, Thuja occidentalis, Tsuga canadensis*) durchgeführt.

^{*}nicht beprobt

Insgesamt betrachtet, erscheinen die Reduktionsfaktoren der Fichtenwurzelstöcke in ZG 4 etwas hoch. Die Werte von Kiefer sind vergleichbar mit denjenigen der Literaturanalyse.

Tabelle 8: Dichtebasierte Reduktionsfaktoren

Baumart	Zersetzungs-	Korrektur Dichte	Korrektur Dichte UBA	Korrektur Dichte
	grad	Wurzelstöcke ¹	2020	Literaturanalyse
Buche	1	1	1 ²	1
Buche	2	0.64	0.64	0.73
Buche	3	0.42	0.36	0.51
Buche	4	0.34	0.45	0.40
Fichte	1	1	13	1
Fichte	2	0.89	0.83	0.85
Fichte	3	0.60	0.38	0.66
Fichte	4	0.51	0.33	0.42
Kiefer	1	1		1
Kiefer	2	0.86		0.80
Kiefer	3	0.48		0.61
Kiefer	4	0.43		0.44

¹inklusive Überschätzungskorrektur

Die Reduktionsfaktoren auf der Grundlage der Massenabnahme sind für Buche und Fichte in ZG 3 und 4 deutlich tiefer als der Vergleichswert aus der Untersuchung von Herrmann et al. (2015) (Tabelle 9). Dies könnte in ZG 4 auch an der oben erwähnten Problematik des Untersuchungsdesigns liegen.

²Müller-Using und Bartsch, 2009

³Fraver et al., 2002

Tabelle 9: Reduktionsfaktoren Masseverlust

Baumart	Zersetzungs-	Korrektur Masse	Korrektur Masse
	grad	Wurzelstöcke ¹	Herrmann et al. 2015
Buche	1	1	*
Buche	2	0.70	0.68
Buche	3	0.25	0.48
Buche	4	0.11	0.34
Fichte	1	1	*
Fichte	2	0.50	0.78
Fichte	3	0.27	0.58
Fichte	4	0.09	0.26
Kiefer	1	0.86	*
Kiefer	2		0.76
Kiefer	3	0.465	0.54
Kiefer	4		0.40

¹inklusive Überschätzungskorrektur für Buche und Fichte

Insgesamt betrachtet erscheinen die im Rahmen des Projekts Totholz-THG in Abhängigkeit vom Zersetzungsgrad ermittelten unterirdischen Totholzmassen plausibel. Diese spiegeln zudem den Ansatz einer möglichst konservativen Schätzung wieder. Uns ist bisher keine vergleichbare Untersuchung bekannt, in der versucht wurde die Biomasse von toten Grobwurzeln direkt zu inventarisieren und den darin gespeicherten Kohlenstoff zu erfassen. Die hier erhobenen Daten sind, soweit bekannt, die besten (und einzigen) derzeit verfügbaren Daten dieser Art. Die Erhebung sollte jedoch in einem zukünftigen Projekt auf einen größeren Stichprobenumfang (Mittelwertbezug) und auf weitere Standorte in Deutschland ausgedehnt werden.

5.2 Berechnung der Holzdichten und Kohlenstoffgehalte

Auf der Grundlage der vorliegenden Untersuchung wurden für tote Wurzeln und Wurzelstöcke folgende Mittelwerte der Kohlenstoffkonzentration ermittelt:

Buche: 47,1 %, RMSE 0.68 %

Fichte: 49,7 %, RMSE 1.45 %

Kiefer: 50,9 %, RMSE 1.75 %

^{*}nicht beprobt

Für Fichte bzw. Nadeltotholz könnte ggf. der Anstieg von C mit zunehmendem ZG einbezogen werden - ZG 1-3: 49,3 % (RMSE 1.36 %), ZG 4: 51% (RMSE 1.71 %) – und im Vergleich zur Anwendung eines Gesamtmittelwertes beurteilt werden.

Analog zur Ableitung des BHD aus dem Schnittflächendurchmesser und der Schätzung der unterirdischen Biomasse wird auch beim Kohlenstoffgehalt für Fichte und Kiefer der Kohlenstoffgehalt von Fichte für Nadeltotholz insgesamt, d.h. inklusive Kiefer angewendet. Da der Kohlenstoffgehalt von Fichte nach den vorliegenden Daten durchschnittlich etwa 1 % niedriger als derjenige von Kiefer ist, ist dies ebenfalls im Sinne einer konservativen Schätzung.

5.3 Schätzung des Variations- bzw. Fehlerbereichs und Bezug zur Grundgesamtheit

Die geschätzte unterirdische Phytomasse für intakte, unzersetzte Wurzelstöcke variiert für Buche um ±49 % und für Fichte um ±34,6 % (siehe auch UBA 2020, Tabelle 401). Für Kiefer liegt die Variation im untersuchten Durchmesserbereich in Abhängigkeit der Konfidenzintervalle für die Modellkoeffizienten zwischen 33,4 und 34,5 % an der unteren sowie 224 und 217 % an der oberen Grenze des Vorhersagebereichs (siehe auch Röhling et al. (2019)). Bezieht man die Variation bei der Vorhersage des BHD mit ein, erhöht sich der oben angegebene Variationsbereich für Buche um etwa 13-14 % für den kleinsten und um etwa 3 % für den größten Schnittflächendurchmesser (13,5 und 47,5 cm m.R.). Für Fichte sind es ±3 % für den größten und ±5 % für den kleinsten Durchmesser (33,21 bzw. 18.93 cm m.R.). Bei Kiefer beträgt die zusätzliche Variation für den kleinsten Durchmesser (14,58 cm m.R.) -2,1% an der unteren und +15,2 % an der oberen Grenze des Vorhersagebereichs; für den größten Durchmesser (18,42 cm m.R.) sind es -1,4 und +10,8 %.

Da Fichten- und Kieferntotholz im Rahmen der BWI nicht separat ausgewiesen wird, wurde zur Ableitung des BHD und der unterirdischen Biomasse wechselseitig das Modell von Fichte für Kiefer und umgekehrt das Kiefernmodell für Fichte angewendet und der Effekt im Folgenden verglichen. Mit dem Modell für Kiefer kommt es zu einer deutlichen Überschätzung der unterirdischen Biomasse für Fichte (im Mittel um 30 %). Beim BHD sind es durchschnittlich 10 %. Umgekehrt resultiert für Kiefer mit dem Fichtenmodell eine (leichte) Unterschätzung von etwa 18 % für die unterirdische Biomasse und 7,5 % für den BHD. Da der Fichtenanteil im lebenden Bestand und der resultierende Totholzanteil für Fichte deutlich höher als derjenige für Kiefer ist, wird im Rahmen der Untersuchung die Anwendung des Fichtenmodells für Nadeltotholz favorisiert. Dies ist zudem im Sinne der Anforderungen an einen Tier 2-Ansatz zur Durchführung einer konservativen Schätzung (IPCC 2006).

Hinsichtlich der Variation der in den jeweiligen Zersetzungsgraden erhobenen verbleibenden Wurzelmassen müssen bestimmte Annahmen getroffen werden. Da es hierzu bisher kaum direkte Erkenntnisse gibt (Je Baumart und Zersetzungsgrad wurden in der aktuellen Untersuchung i.d.R. keine Wiederholungsmessungen durchgeführt.), wird – wie bereits zur Absicherung von Teil 1 - eine Kombination aus den hier gewonnenen Ergebnissen, insbesondere zur Variation der Holzdichte und Ergebnissen zur Variation bei der oberirdischen Totholzzersetzung anhand der oben angeführten Untersuchungen angewendet. Als Schätzwert für die Variation der erhobenen Wurzelmassen wurde anhand dieser Untersuchungen nach Beurteilung der Plausibilität neben dem Maximalwert der Variation vorzugsweise die Variation der verbleibenden Masse ausgewählt.

Nach Durchführung und Kombination beider Teile erfolgt im nächsten Schritt die entsprechende Hochrechnung für alle im Rahmen der Bundeswaldinventur erfassten Wurzelstöcke. Diese soll zumindest das Potential und die mögliche Bedeutung des untersuchten unterirdischen Kohlenstoffpools verdeutlichen. Abschließend wird die technische Einarbeitung in das Totholzinventar durchgeführt. Die Ergebnisse sollten durch zukünftige Wiederholungsaufnahmen abgesichert oder ggf. aktualisiert werden. Erst dadurch können die Repräsentanz und der Variationsbereich der hier gewonnenen Untersuchungsergebnisse beurteilt werden.

5.4 Berechnung und Erstellung des Totholzinventars nach IPCC-Vorgaben

Aktuell wird im deutschen Treibhausgasinventar nur das oberirdische Totholz berichtet. Die dabei relevante Größe ist die Veränderung der gespeicherten Kohlenstoffmenge im Totholz. Die Berechnung der Änderung des Totholzkohlenstoffvorrates erfolgt nach dem Tier 2-Ansatz mit der Vorratsveränderungsmethode (Stock-Difference Method, Equation 2.19, 2006 IPCC Guidelines). Für die Berechnung der Kohlenstoffvorräte im oberirdischen Totholz werden die Daten der BWI 2002, der Inventurstudie 2008, der BWI 2012 und der Kohlenstoffinventur 2017 verwendet. Eine weitergehende ausführliche Beschreibung zu den verwendeten Methoden ist im Nationalen Inventarbericht (UBA 2020) zu finden. Für die Herleitung der Veränderung des unterirdischen Totholzes wird dieselbe Vorratsveränderungsmethode angewendet. Allerdings liegen aktuell für das unterirdische Totholz nur die Ergebnisse für die Zustände der BWI 2012 und der Kohlenstoffinventur 2017 vor.

Bei der Berechnung der Zustände unterscheiden sich die Methoden zwischen dem oberirdischen und unterirdischen Totholz. Für das oberirdische Totholz erfolgt die Berechnung über die Biomasse für die einzelnen Zersetzungsgrade mit der Raumdichte nach Fraver et al. (2002) für Nadelholz und nach Müller-Using & Bartsch (2009) für Laubholz. Einen Überblick über die verwendeten Biomasse Expansionsfaktoren und deren Fehler, getrennt nach Baumartenklassen und Zersetzungsgraden, finden sich im nationalen Inventarbericht (UBA 2020). Für das unterirdische Totholz erfolgt die Berechnung, wie in den vorherigen Kapiteln beschrieben, mit Einzelbaum-Biomassefunktionen.

Bezugsgröße ist der BHD, der über eine Funktion aus dem Schnittflächendurchmesser des oberirdischen Wurzelstockes geschätzt wird.

Die Ergebnisse getrennt nach oberirdischem und unterirdischem Totholz sind für die Zustände 2012 und 2017 und für die Veränderung in Tabelle 10 zu finden. Zu beachten ist, dass die Ergebnisse für das Totholz noch vorläufig sind, da die Qualitätskontrolle der Hochrechnung für die Inventurzeitpunkte und der Veränderung noch nicht abgeschlossen ist.

Tabelle 10: Vorräte 2012 und 2017 sowie Veränderung von oberirdischem und unterirdischem Totholz

	Zustand 2012	Zustand 2017	Veränderung 2012-2017
	[tC/ha]	[tC/ha]	[tC/ha*a]
Oberirdisches Totholz	2,701	3,086	0,077
Unterirdisches Totholz	2,300	2,709	0,082

5.5 Bewertung und Analyse des neu erstellten Totholzinventars

Die Ergebnisse in Tabelle 10 zeigen, dass ein erheblicher Teil des Kohlenstoffs in dem unterirdischen Teil des Totholzes gespeichert ist. Der Anteil des unterirdischen Totholzes am Gesamttotholz beträgt nach dieser ersten Hochrechnung für 2012 ca. 46,0 % und für 2017 46,7 %. Bei der für die Berichterstattung relevanten Veränderung unterscheiden sich die Veränderungsraten (Emissionsfaktoren (EF)) zwischen oberirdischem und unterirdischem Totholz kaum, wobei sogar eine leicht höhere Veränderung bei dem unterirdischen Totholz zu sehen ist. Mit dem EF von 0,082 tC/ha*a für das unterirdische Totholz würde für die Berichterstattung eine Speicherleistung von jährlich 3 Mio. Tonnen Kohlendioxid zusätzlich abgeschätzt werden.

Was bedeutet dies für die Berichterstattung? Nach den Vorgaben der IPCC-Guidelines, ist auch das unterirdische Totholz zu berichten. Für die Berechnung gibt es aktuell keine verlässlichen Daten, weshalb unterirdisches Totholz nicht berichtet wird. Dies betrifft nicht nur Deutschland, sondern auch alle anderen Staaten. Dieses Projekt zeigt, dass fast die Hälfte des vorhandenen Totholzes nicht berichtet wird. Allerdings sind die Ergebnisse des Projektes mit sehr hohen Unsicherheiten verbunden, weshalb der angegebene Anteil des nicht berichteten Totholzes nur ein erster Anhaltspunkt für weitere Untersuchungen sein kann.

Das Projekt zeigt deutlich, dass ein wesentlicher Anteil der Kohlenstoffspeicherung bei der Berichterstattung von Totholz nicht berichtet wird. Um diese Lücke zu schließen, sind weitere Untersuchungen auf nationaler und internationaler Ebene notwendig. Für Deutschland sollte sich an dieses Projekt ein Folgeprojekt anschließen, welches sich auf die weitere Datenerhebung konzentriert, um eine deutschlandweite repräsentative Datengrundlage zu erhalten.

5.6 Integration des Verfahrens in die Treibhausgasberichterstattung

Mit den vorliegenden Ergebnissen ist ein wichtiger Schritt für die Integration des unterirdischen Totholzes in die Treibhausgasberichterstattung erfolgt. Allerdings sind die aus dem Projekt gewonnenen Ergebnisse durch den geringen Stichprobenumfang der erhobenen toten Wurzeln nur bedingt belastbar. Des Weiteren fehlt noch eine Überprüfung der angewendeten Methoden durch eine Peer-Review-Veröffentlichung, um die Qualitätsanforderungen in der Berichterstattung zu erfüllen. Aus den genannten Gründen können die Ergebnisse nicht direkt in die Erstellung des Treibhausgasinventars einfließen. Indirekt stellen diese eine wichtige Grundlage für die weitere Integration von unterirdischem Totholz, wie von den IPCC-Guidelines gefordert, dar. Dies gilt nicht nur für das deutsche Inventar, sondern auch für Inventare anderer Länder. Die Ergebnisse des Projektes ergänzen die wissenschaftlichen Arbeiten zu diesem Thema auf internationaler Ebene und sie können verwendet werden, um beispielsweise Default-Methoden für die IPCC-Guidelines zu entwickeln.

Literaturverzeichnis

- Bastrup-Birk, A., Neville, P., Chirici, G., Houston, T. (2006): The BioSoil Forest Biodiversity Field Manual, Version 1.0/1.1/1.1a, For the field assessment 2006-2007, Forest Focus Demonstration Project BIOSOIL 2004-2005, 51 S.
- Bibelriether, H. (1962): Wurzeluntersuchungen an Tannen und Eichen in Mittelschwaben. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 230-248
- Bibelriether, H. (1963): Zur Frage der Wurzelentwicklung von Kiefern auf Sand und Pseudogley. Forstwissenschaftliches Centralblatt 82 (5-6), 139-146
- BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) (2011): Aufnahmeanweisung für die dritte Bundeswaldinventur (2011-2012), 2. geänderte Auflage, Mai 2011
- BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) (2020): Aufnahmeanweisung für die vierte Bundeswaldinventur (BWI 2022) (2021-2022). 1. Auflage, März 2020
- Bolte, A., Hertel, D., Ammer, C., Schmid, I., Nörr, R., Kuhr, M., Redde, N. (2003): Freilandmethoden zur Untersuchung von Baumwurzeln. Forstarchiv 74 (2003), 240-262
- Buse, J., Ranius, T., Assmann, T. (2008): An endangered longhorn beetle associated with old oaks and its possible role as an ecosystem engineer. Conserv. Biol. 22, 329–337
- Chambers, J.Q., Schimel, J.P., Nobre, A.D. (2001): Respiration from coarse wood litter in central Amazon forests. Biogeochemistry 52: 115-131
- Danish Centre for Environment and Energy (2019): Denmark's National Inventory Report 2019. Emission Inventories 1990-2017. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Scientific Report from DCE Danish Centre for Environment and Energy. No 318. 891 p.
- Department for Business, Energy & Industrial Strategy (2019): UK Greenhouse Gas Inventory, 1990-2017. Annual Report for Submission under the Framework Convention on Climate Change. 556 p.
- Department of Environment Cyprus (2019): National Greenhouse Gas Inventory 2019 submission under the United Nations Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. 337 p.
- Di Cosmo, L., Gasparini, P., Paletto, A., Nocetti, M. (2013): Deadwood basic density values for national-level carbon stock estimates in Italy. Forest Ecology and Management 295: 51-58.
- Environment Agency (2019): Luxembourg's National Inventory Report 1990-2017. Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol. 751 p.

- Environment Agency Austria (2019): Austria's National Inventory Report. Submission under the United Nations Framwork Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol. 805 p.
- Environmental Protection Ageny (2019): Irland's National Inventory Report. Greenhouse Gas Emissions 1990-2017. 594 p.
- Executive Environment Agency at the Ministry of Environment and Water (2019): National Inventory Report 2019. Greenhouse Gas Emissions in Bulgaria 1988-2017. 487 p.
- Federal Environment Agency (2019): Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol 2019. National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990-2017. 945 p.
- Flemish Environment Agency (2019): Belgium's greenhouse gas inventory (1990-2017). National Inventory Report. Submitted under the United Framework Convention on Climate Change. 397 p.
- Fraver, S., Wagner, R.G., Day, M. (2002): Dynamics of coarse woody debris following gap harvesting in the Acadian forest of central Maine, U.S.A. Can. J. For. Res. 32:2094–2105
- Gschwantner, T., Lanz, A., Vidal, C., Bosela, M., Di Cosmo, L., Fridman, J., Gasparini, P., Kuliešis, A., Tomter, S., Schadauer, K. (2016): Comparison of methods used in European National Forest Inventories fort he estimation of volume increment: towards harmonisation. Annals of Forest Science 73: 807-821
- Gulder, H.-J. (2017): Das Wurzelwerk der Fichte. LWF Wissen 80, 125-130
- Hagemann, U., Moroni, M., Makeschin, F. (2009): Deadwood abundance in Labrador high-boreal black spruce forests. Can J For Res 39(1): 131–142, doi:10.1139/X08-166
- Harmon, M.E., Franklin, J.F., Swanson, F.J., Sollins, P., Gregory, V., Lattin, J.D., Anderson, N.H., Cline, S.P., Aumen, N.G., Lienkaemper, G.W., Cromack, K.J., Cummins, K.W. (1986): Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. Adv. Ecol. Res. 15:133–302
- Harmon, M.E., Chen, H. (1991): Coarse Woody Debris Dynamics in Two Old-Growth Ecosystems.

 Bioscience 41: 604-609
- Herrmann, S., Kahl, T., Bauhus, J. (2015): Decomposition dynamics of coarse woody debris of three important central European tree species. Forest Ecosystems 2:27
- Herrmann, S. (2017): Decomposition dynamics and carbon sequestration of downed coarse woody debris of Fagus sylvatica, Picea abies and Pinus sylvestris. Dissertation Universität Freiburg, 2017. https://freidok.uni-freiburg.de/data/12925. Accessed 18 Feb 2020
- Herrmann, S., Röhling, S., Oehmichen, K. (2018): Assessment of dead roots biomass in German forests.

 In: North American Forest Soils Conference International Symposium on Forest Soils 2018: soils-

- forests interactions in changing environments; June 10-16, 2018, Quebec City, Quebec, Canada. pp 1-2¹
- Herrmann, S., Röhling, S., Oehmichen, K. (in prep.a): Harmonization and variation of deadwood density and carbon concentration in different stages of decay of the most important Central European tree species.²
- Herrmann, S., Röhling, S., Oehmichen, K. (in prep.b): Wood density and carbon concentration of decomposing stumps and coarse roots in a case study in North-eastern Germany.²
- Hungarian Meteorological Services (2019): Hungary. National Inventory Report for 1985-2017. 517 p.
- Huston, M.A., Marland, G. (2003): Carbon management and biodiversity. J. Environ. Ma. 67(1):77-86
- Institute of Environmental Protection and Research (2019): Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2017. National Inventory Report 2019. 587 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2000): Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, IPCC Secretariat, 16th Session, Montreal, 1-8 May 2000.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2006): IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Reference Manual, Volume 4, 2006
- Keller, M. (Red.) (2013): Schweizerisches Landesforstinventar. Feldaufnahme-Anleitung 2013, Birmensdorf. Eidg. Forschungsanstalt WSL, 214 S.
- Kleinn, C. (2007): Lecture Notes for the Teaching Module Forest Inventory. Department of Forest Inventory and Remote Sensing. Faculty of Forest Science and Forest Ecology, Georg-August-Universität Göttingen. 164 S.
- Köster K., Metslaid M., Engelhart J., Köster E. (2015): Dead wood basic density, and the concentration of carbon and nitrogen for main tree species in managed hemiboreal forests. Forest Ecology and Management 354: 35-42
- Köstler, J.N., Brüchner, E., Bibelriether, H. (1968): Die Wurzeln der Waldbäume. Verlag Paul Parey. Berlin und Hamburg. 284 S.
- Kreuzer, K. (1961): Wurzelbildung junger Waldbäume auf Pseudogleyböden. Forstwissenschaftliches Centralblatt 80, 356-392
- Krüger, I. (2013): Potential of above- and below-ground coarse woody debris as a carbon sink in managed and unmanaged forests. Dissertation. Universität Bayreuth. 141 S.
- Kuhr, M. (1999): Grobwurzelarchitektur in Abhängigkeit von Baumart, Alter, Standort und sozialer Stellung. Dissertation. Georg-August Universität zu Göttingen. 180 S.

¹ Im Projekt erfolgte Veröffentlichung

² Publikation in Vorbereitung

- Kutschera, L., Lichtenegger, E. (2013): Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher. Leopold Stocker Verlag, Graz-Stuttgart, 2. Auflage, 604 S.
- Lambert, R.L., Lang, G.E., Reiners, W.A. (1980): Loss of Mass and Chemical Change in Decaying Boles of a Subalpine Balsam Fir Forest. Ecology, 61(6): 1460-1473
- Landesbetrieb Forst Brandenburg (2013): Legende zur Forstlichen Standortskarte des Betriebsteils 06 Wünsdorf. Forststruktur von 2004 2010. 21 S.
- Mackensen, J., Bauhus, J., Webber, E. (2003): Decomposition rates of coarse woody debris A review with particular emphasis on Australian tree species. Australian Journal of Botany 51, 27-37
- MacMillan, P.C. (1988): Decomposition of coarse woody debris in an old-growth Indiana forest. Can. J. For. Res., 18: 1353-1362
- Malta Ressources Authority (2019): Malta's National Inventory of Greenhouse Gas Emissions and Removals, 2019. Annual Report For Submission Under The United Nation Framework Convention On Climate Change And The European Union Monitoring Mechanism. 388 p.
- Mäkinen H., Hynynen J., Siitonen J., Sievänen R. (2006): Predicting the decomposition of Scots pine, Norway spruce, and Birch stems in Finland. Ecological Applications 16(5): 1865-1879
- Mauer, O., Houškova, K., Mikita, T. (2017): The root system of pendunculate oak (Quercus robur L.) at the margins of regenerated stands. J. For. Sci. 63 (1), 22-33
- Meyer, P., Ackermann, J., Balcar, P., Boddenberg, J., Detsch, R., Förster, B., Fuchs, H., Hoffmann, B., Keitel, W., Kölbel, M., Köthke, C., Koss, H., Unkrig, W., Weber, J., Willig, J. (2001): Untersuchung der Waldstruktur und ihrer Dynamik in Naturwaldreservaten, IHW Verlag, Elching
- Ministry of Environment (2019): Lithuania's National Inventory Report 2019. Greenhouse Gas Emissons 1990-2017. 565 p.
- Ministry of Environment (2019): Romania's Greenhouse Gas Inventory 1989-2017. National Inventory Report. 847 p.
- Ministry of Environment of the Slovak Republic (2019): National Inventory Report 2019. Submission under the UNFCCC and under the Kyoto Protocol. 450 p.
- Ministry of Environment and Energy (2019): Croatian greenhouse gas inventory for the period 1990-2017. (National Inventory Report 2019). 473 p.
- Ministry of Environment and Energy (2019): Climate Change Emissions Inventory. Annual Inventory Submission of Greece under the Convention Kyoto Protocol for greenhouse and other gases for the years 1990-2017. 563 p.
- Ministry of Environmental Protection and Regional Development of the Republic of Latvia (2019): Latvias National Inventory Report. Submission under UNFCCC and the Kyoto Protocol. Common Reporting Formats (CRF). 1990-2017. 511 p.

- Ministry of the Environment (2019): Greenhouse Gas Emissions in Estonia 1990-2017. National Inventory Report. Submission to the UNFCCC Secretariat. Common Reporting Format (CRF) 1990-2017. 508 p.
- Ministry of the Environment of the Czech Republic (2019): National Greenhouse Gas Inventory Report of the Czech Republic. Submission under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. Reported Inventories 1990-2017. 506 p.
- Ministry of the Environment and Spatial Planning (2019): Slovenia's National Inventory Report 2019.

 GHG emissions inventories 1986-2017. Submitted under the United Nations Framework

 Convention on Climate Change. 387 p.
- Müller-Using, S., Bartsch, N. (2003): Totholzdynamik eines Buchenbestandes (Fagus sylvatica L.) im Solling. Nachlieferung, Ursache und Zersetzung von Totholz, Allg. Forst- u. J.-Ztg. 174 (7), 122 130
- Müller-Using, S., Bartsch, N. (2004): Dynamics of Woody debris in a Beech (Fagus sylvatica L.) Forest in central Germany. Proceedings of 7th International Beech Symposium Teheran May 10-20 2004
- Müller-Using, S.I., Bartsch, N. (2009): Decay dynamic of coarse and fine woody debris of a beech (Fagus sylvatica L.) forest in Central Germany. Eur J Forest Res. 2009;128(3):287–296
- National Centre for Emission Management (2019): Poland's National Inventory Report 2019. Greenhouse Gas Inventory for 1988-2017. 425 p.
- National Institute of Public Health and the Environment (2019): Greenhouse Gas Emissions in the Netherlands 1990-2016. National Inventory Report 2019. 420 p.
- Neubauer, M., Demant, B., Bolte, A. (2015): Einzelbaumbezogene Schätzfunktionen zur unterirdischen Biomasse der Wald-Kiefer (Pinus sylvestris L.). Forstarchiv 86(2):42-47
- Niemz P, Sonderegger W.U. (2017): Holzphysik: Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. Hanser Fachbuch Verlag 2017; 580 S.
- Oehmichen, K. (2007): Erfassung der Totholzmasse Zusammenstellung von Verfahrensansätzen und Bewertung Ihrer Eignung für massenstatistische Erhebungen. Arbeitsbericht. Institut für Waldökologie und Waldinventuren. Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft und Fachhochschule Eberswalde, 2007/1, 52 S.
- Oehmichen, K., Herrmann, S., Röhling, S. (2018): Totholz-Kohlenstoffvorräte im Wald besser erfassen.
 In: Ammer, C., Bredemeier, M., Arnim, G. von (eds.) FowiTa: Forstwissenschaftliche Tagung 2018
 Göttingen; Programm und Abstracts; 24. bis 26. September 2018. Göttingen: Univ. Göttingen,
 Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, 5 p.³

_

³ Im Projekt erfolgte Veröffentlichung

- Oehmichen, K., Herrmann, S., Röhling, S., Stümer, W. (2020): Totholz-Kohlenstoffvorräte im Wald besser erfassen. AFZ-DerWald 10, 10-12⁴
- Polomski, J., Kuhn, N. (1998): Wurzelsysteme. Birmesdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Bern, Stuttgart, Wien, Haupt. 290 S.
- Polomski, J., Kuhn, N. (2001): Wurzelhabitus und Standfestigkeit der Waldbäume. Forstwissenschaftliches Centralblatt 120, 303-317
- Portuguese Environmental Agency (2019): Portuguese National Inventory Report on Greenhouse Gases, 1990-2017. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. 751 p.
- Riedel, T., Hennig, P., Kroiher, F., Polley, H., Schmitz, F., Schwitzgebel, F. (2017): Die dritte Bundeswaldinventur (BWI 2012). Inventur- und Auswertemethoden, 124 S.
- Ringvall, A.; Stahl, G.; Teichmann, V.; Gove, J.H. & Ducey, M.J. (2001): Two-phase approaches to point and transect relascope sampling of downed logs, Can. J. For. Res. 31 (6), 971 977
- Röhling, S., Demant, B., Dunger, K., Neubauer, M., Oehmichen, K., Riedel, T., Stümer, W. (2019): Equations for estimating belowground biomass of Silver Birch, Oak and Scots Pine in Germany. iForest 12(2), 166-172.
- Russell, M.B., Fraver, S., Aakala, T., Gove, J.H., Woodall, C.W., D'Amato, A.W., Ducey, M.J. (2015):

 Quantifying carbon stores and decomposition in dead wood: a review. For. Ecol. Manag. 2015;350:107-128
- Sandström F., Petersson H., Kruys N., Stahl G. (2007): Biomass conversion factors (density and carbon concentration) by decay classes for dead wood in Pinus sylvestris, Picea abies and Betula spp. in boreal forests of Sweden. Forest Ecology and Management 243: 19-27
- Statistics Finland (2019): Greenhouse Gas Emissions in Finland 1990 to 2017. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. 555 p.
- Swedish Environmental Protection Agency (2019): National Inventory Report Sweden 2018.

 Greenhouse Gas Emissions Inventories 1990-2016. Submitted under the United Nations

 Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. 528 p.
- Swift, M.J., Heal, O.W., Anderson, J.M. (1979): Decomposition in terrestrial ecosystems. University of California Press, Berkeley. 372 p.
- Thorn, S., Seibold, S., Vogel, S. (2018): Bausteine für ein Waldnaturschutzkonzept mit Schwerpunkt auf Totholz und Habitatbäume. Bericht zum BBV-Projekt "Wertvoller Wald", 29 S. https://wertvollerwald.nabu-saar.de

_

⁴ Im Projekt erfolgte Veröffentlichung

- UBA (Umweltbundesamt) (2020): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2020. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 2018. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Juli 2020. 1004 S.
- UNFCCC (1998): Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change,
 United Nations 1998
- UNFCCC (2005): Decision 19/CMP.1; Guidelines for national systems under Article 5, paragraph 1, of the Kyoto Protocol, FCCC/KP/CMP/2005/8/Add.3
- US Forest Service (2011): Field Methods for Forest Health (Phase 3) Measurements Phase 3 Field Guide

 Down Woody Materials, Version 5.1, 34 p.
- Vonderach, C. (2021): Predicting dbh by diameter at cutting height (stump diameter). Analyse zum Biomasseprojekt der FVA Baden-Württemberg, Freiburg i.Br.
- Weedon, J.T., Cornwell, W.K., Cornelissen, J.H.C., Zanne, A.E., Wirth, C., Coomes, D.A. (2009): Global meta-analysis of wood decomposition rates: a role for trait variation among tree species? Ecol. Lett. 12:45–56
- Wellbrock, N., Grüneberg, E., Stümer, W., Rüter, S., Ziche, D., Dunger, K., Bolte, A. (2014): Wälder in Deutschland speichern Kohlenstoff. AFZ Wald 69(18):38-39
- Yatskov, M. (2001): A chronosequence of wood decomposition in the boreal forests of Russia. Master of Science Thesis, Oregon State University. 125 S.
- Yatskov, M., Harmon, M.E., Krankina, O.N. (2003): A chronosequence of wood decomposition in the boreal forests of Russia. Can. J. For. Res. 33:1211–1226
- Yin, X. (1999): The decay of forest woody debris: numerical modeling and implications based on some 300 data cases from North America. Oecologia 121(1):81–98

Anhang

Abbildung A-49: Repräsentative Totholzobjekte (Wurzelstöcke und liegendes Totholz) in Abhängigkeit vom Zersetzungsgrad

Wurzelstöcke



Buche ZG1 bis 4 (von links oben nach rechts unten)



Eiche ZG1 bis 4 (von links oben nach rechts unten)



Kiefer ZG1 bis 4 (von links oben nach rechts unten)

Liegendes Totholz



Buche ZG1 bis 4 (von links oben nach rechts unten)



Eiche ZG1 bis 4 (von links oben nach rechts unten)



Tabelle A-11: Berichterstattung Totholz in den Nationalen Inventarberichten der europäischen Union (KA = Keine Angaben) (Stand: 05.06.2019)

Land		olz berichtet hode)?	Welches Totholz wird im Rahmen der Totholzaufnahmen erfasst und berichtet?	Wie wird Totholz aufgenommen?	Quelle
	Verbleibende Waldfläche	Neuwaldfläche			
Belgien	X (Tier 1)	X* (Tier 1)	The definition of deadwood applied in the inventory's methodology is all standing dead trees and fallen logs and branches. A dead tree is considered as fallen when it tilts at a vertical angle equal or superior to 45°. Veteran trees are taken into account in the living trees section.	National Forest Inventory	Belgium's greenhouse gas inventory (1990-2017). National Inventory Report. Submitted under the United Framework Convention on Climate Change.
Bulgarien	X (Tier 1)	X*	KA	National Forest Inventory, Forest Management Plans, Forestry Fund Reports	National Inventory Report 2019. Greenhouse Gas Emissions in Bulgaria 1988-2017
Dänemark	х	(X)	KA	National Forest Census, National Forest Inventory	Denmark's National Inventory Report 2019. Emission Inventories 1990-2017. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol
Deutschland	X (Tier 2)	Х	The terrestrial survey used for the BWI 2002 included only fallen dead wood with a thicker-end diameter of at least 20 cm, standing dead wood with a diameter of at least 20 cm at breast height (DBH), and trunks with either a height of at least 50 cm or a cut-surface diameter of at least 60 cm (Polley, 2001). In keeping with require-ments for climate reporting, in the 2008 Inventory Study and the BWI 2012 the survey threshold for dead-wood objects was reduced to a diameter of at least 10 cm at the thicker end (BMELF, 2010). In all three forest inventories, trees were sub-divided into three main tree-species groups: conifers, deciduous trees (except for oaks) and oaks. The degree of decom-position of dead wood was divided into four classes (BMELF, 2010) (Polley, 2001).	National Forest Inventory, Inven-tory Study 2008, Datenspeicher Waldfonds	Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol 2019. National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990-2017
Estland	X (Tier 2)	X (Tier 2)	КА	National Forest Inventory	Greenhouse Gas Emissions in Estonia 1990-2017. National Inventory Report. Submission to the UNFCCC Secretariat. Common Reporting Format (CRF) 1990-2017
Finnland	XX (Tier 3)	XX (Tier 3)	This carbon pool includes tree stems that are left in the forest to decay. This pool originates from the natural mortality of the trees and from waste wood from logging. The minimum diameter is 10 cm.	National Forest Inventory	Greenhouse Gas Emissions in Finland 1990 to 2017. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol.
Griechenland	X (Tier 1)	X (Tier 1)	КА	National Forest Inventory	Climate Change Emissions Inventory. Annual Inventory Submission of Greece under the Convention Kyoto Protocol for greenhouse and other gases for the years 1990-2017
Ireland	XX (Tier 3)	XX (Tier 3)	KA	Forest Information parcel data, Harvest statistics, National Forest Inventory	Irland's National Inventory Report. Greenhouse Gas Emissions 1990-2017
Italien	XX	Х	The definition of the deadwood pool, coherent with the definition adopted by the NFI, is related to "All nonliving woody biomass not contained in the litter, either standing, lying on the ground, or in the	National Forest Inventory	Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2017. National Inventory Report 2019

			soil. Dead wood includes wood lying on the surface, stumps larger than or equal to 10 cm in diameter and standing trees with DBH > 4,5 cm".		
Kroatien	X* (Tier 1)	-	KA	Forest Management Plans, Surveys from the Croatian Forest Ltd.	Croatian greenhouse gas inventory for the period 1990- 2017. (National Inventory Report 2019)
Lettland	Х	X	Dead wood consists of all non-living woody biomass not contained in the litter, either standing, lying on the ground, or in the soil. Dead wood includes wood lying on the surface, dead roots down to a diameter of 2 mm, and stumps.	National Forest Inventory, Level I forest monitoring data	Latvias National Inventory Report. Submission under UNFCCC and the Kyoto Protocol. Common Reporting Formats (CRF). 1990-2017
Litauen	X	X (Tier 1)	KA	National Forest Inventory	Lithuania's National Inventory Report 2019. Green-house Gas Emissons 1990-2017
Luxemburg	X (Tier 2)	X (Tier 1)	Data was collected on dead wood with a diameter greater than 7 cm and older than 3 years (unlikely to be harvested).	National Forest Inventory	Luxembourg's National Inventory Report 1990-2017. Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol
Malta	-	-	KA	KA	Malta's National Inventory of Greenhouse Gas Emissions and Removals, 2019. Annual Report For Submission Under The United Nation Framework Convention On Climate Change And The European Union Monitoring Mechanism
Niederlande	Х	(XX)	lying and standing dead wood	National Forest Inventory	Greenhouse Gas Emissions in the Netherlands 1990-2016. National Inven-tory Report 2019
Österreich	X (Tier 3)	Х	All non-living woody biomass not contai-ned in the litter or soil, standing on the ground, without roots, as they are already considered as part of the litter or soil.	National Forest Inventory	Austria's National Inventory Report. Submission under the United Nations Framwork Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol
Polen	Х*	X*	The DOM wood carbon pool includes all non-living woody biomass and includes standing and fallen trees, roots and stumps with diameter over 7 cm (over-bark).	Statistical data	Poland's National Inventory Report 2019. Greenhouse Gas Inventory for 1988-2017
Portugal	Х	х	The two main sources for dead wood are harvesting residues (included and re-ported as losses in living biomass, that include the emission of the whole tree) and dead trees from fire (included and reported as indirect emissions from fire, that include the emission of the whole tree). Other dead wood sources are con-sidered negligible compared to these two sources or included in harvesting and are not reported separately.	National Forest Inventory	Portuguese National Inventory Report on Greenhouse Gases, 1990-2017. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol
Rumänien	X* (Tier 1)	X*	KA	National Forest Inventory	Romania's Greenhouse Gas Inventory 1989-2017. National Inventory Report
Schweden	X (Tier 3)	X (Tier 3)	Dead wood is defined as fallen dead wood, snags or stumps including coarse and smaller roots down to a minimum "root diameter" of 2 mm. Dead wood of fallen dead wood or snags should have a minimum "stem diameter" of 100 mm (at the smaller end) and a length of at least 1.3 m. Dead wood of stumps with cor-responding roots are reported under Forest land remaining Forest land (and Forest management under the Kyoto Protocol), while fallen dead wood and snags are reported for all relevant land-use categories.	National Forest Inventory	National Inventory Report Sweden 2018. Greenhouse Gas Emissions Inventories 1990-2016. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol

Slowakei	X* (Tier 1)	X* (Tier 1)	The dead wood carbon pool contains dead trees from standing, stumps, coarse lying dead wood and small-sized lying dead wood not included in litter or soil carbon pools.	National Forest Inventory, Forest Management Plans	Slovak Republic. National Inventory Report 2019. Submission under the UNFCCC and under the Kyoto Protocol
Slowenien	X (Tier 2)	X* (Tier 1)	Dead wood content is all non-living woody biomass not contained in the litter, either standing, lying on the ground. According to definition from FECS 2007, dead wood in Slovenia includes: dead trees (DBH >10 cm); stumps (D >10 cm and H >20 cm); snags (D >10 cm and H >50 cm); coarse woody debris (D >10 cm and L >50 cm).	National Forest Inventories	Slovenia's National Inventory Report 2019. GHG emissions inventories 1986-2017. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change
Tschechien	X (Tier 2)	X (Tier 1)	Specifically for deadwood, data combined carbon stock in standing as well as lying dead trees. The source data are mean standing deadwood biomass and volume of lying deadwood classified in four categories according to degree of decomposition. These categories are de-fined as follows: i) basically solid wood; ii) peripheral layers soft, central hard; iii) peripheral layers hard, central soft; iv) totally rotten wood.	Forest Management Plans, National Forest Inventory, Landscape Inventory	National Greenhouse Gas Inventory Report of the Czech Republic. Submission under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. Reported Inventories 1990-2017
Ungarn	(XXX)	(XXXX)	All dead plant mass, above-ground and below-ground, that is not litter (i.e., above the 1 cm threshold for standing and lying dead trees, including stumps, and 2 cm for dead roots).	National Forest Inventory	Hungary. National Inventory Report for 1985-2017
Vereinigtes Königreich	XX (Tier 3)	XX (Tier 3)	KA	National Forest Inventory	UK Greenhouse Gas Inventory, 1990-2017. Annual Report for Submission under the Framework Convention on Climate Change
Zypern	(XXXXX)	(XXXXX)	KA	National Data	Cyprus. National Greenhouse Gas Inventory 2019. 2019 submission under the United Nations Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol

- Keine Berichterstattung.
- X Wird berichtet.
- XX Wird berichtet (Werte werden mit Modellen berechnet).
- X* No was reported, because (1) there is no dead wood and there is no change in this carbon stock or (2) it is assumed that the carbon stocks in deadwood is stable.
- (X) The amount of carbon in biomass in forests established after 1990 has been increasing rapidly during the time of NFI measurements. The very low estimates of forest carbon at the beginning of the NFI measurements may in part be due to a large number of plots not measured in the field as a result of start-up problems.
- (XX) The accumulation of dead wood and litter in newly established forest plots is not known, though it is definitely a carbon sink. This sink is not reported, in order to be conservative.
- (XXX) For dead organic matter (DOM) for FL-FL, consistent with Tier 1 assumptions, we currently don't report data but demonstrate that DOM pools are not a source. Beginning 2018, we started to use a new dataset on deadwood. It is now measured in the National Forest Inventory.
- For deadwood, data that was available before 2018 was not enough to develop estimates from emissions/removals on a statistical basis. Therefore, the default 2006 IPCC GL assumption was applied, i.e., that the stock change is zero.

 Beginning 2018, we report estimated carbon stock changes in the deadwood pool the following way: ΔCDW = Σ Ai, j * Δvi, j * (1+R) * D * CF where Ai, j = area of species group i (i = 1 ... 7) in age class j (j = 1 ... 20), ha; Δvi, j = annual volume stock increase of species group i in age class j, tC * ha-1 * yr-1, R = root-to-shoot ratio (see above); D = wood density as for woody biomass (see above) and CF = carbon fraction as for woody biomass.
- (XXXXX) Following the Tier 1 approach it is assumed that dead organic matter pool is zero in all non-forest landuse categories. For Forest Land land-use category, the default values of 28.2 t C/ha and 20.3 t C/ha for broadleaved and coniferous forest types, respectively, are used.

Tabelle A-12: Übersicht Beprobung oberirdisches Totholz Höhenstufe Flach- und Hügelland (TH = Totholz)

	5144			Tot	tholzi	typ/Ze	rsetzu	ngsg	rad		Durch	messer W	/urzelstoc	k [cm]	Stockhöhe	Durchr	messer	Lär	nge	
BWI-	Ecke	Baumart	'	Wurz	elsto	ck	Lie	egend	les T	Н	Schnit	tfläche	Erdobe	erfläche	Wurzelstock	liegen	des TH	liegen	des TH	
Punkt	LCKE	Daumait												1	[cm]	[CI	m]		[m]	
			1	2	3	4	1	2	3	4	Min	Max	Min	Max		Min	Max	Min	Max	
37288	3	Eiche	-	1	1	1	2	2	2	1	22,5	65,0	28,0	70,0	10,0 – 25,0	11,2	57,5	2,4	>5,0	
37200		Kiefer	-	-	-	3	-	-	-	-	42,0	63,0	46,0	66,5	15,0 – 20,0	-	-	-	-	
37450	3	Kiefer	-	1	1	-	-	5	-	1	24,6	25,7	26,4	27,2	7,5 – 10,0	18,0	28,0		,0	
37646	1	Kiefer	-	-	-	2	1	1	-	2	15,5	20,3	16,0	22,8	12,0 – 15,0	15,3	28,7	4,3	>5,0	
37648	2	Kiefer	4	2	-	1	-	2	-	-	28,8	40,0	29,7	42,0	8,0 – 20,0	26,0	28,0	>5	,0	
37650	4	Eiche	ı	1	-	-	-	-	2	-	61,1	69,2	74,8	77,2	20,0 – 25,0	38	3,0	5,	,0	
37030	4	Kiefer	ı	1	1	1	2	1	1	-	19,2	34,1	24,0	37,2	7,0 – 50,0	14,0	19,1	1,0	3,4	
		Buche	ı	-	1	1	2	1	1	1	37,0	72,0	56,0	94,7	30,0 – 40,0	24,8	47,0	1,0	5,0	
37824	1	Eiche	ı	-	-	-	-	1	1	1	-	-	-	-	-	13,0	31,9	1,4	2,5	
	Kiefe	Kiefer	ı	1	1	1	-	1	1	1	34,5	45,7	41,4	52,8	15,0 – 20,0	16,2	19,1	1,2	4,2	
37825	2	Kiefer	1	1	1	1	1	1	2	1	28,6	46,3	31,1	54,4	5,0 – 32,0	10,5	45,0	0,5	5,0	
38003	4	Roteich	-	-	3	3	1	2	-	2	25,0	68,0	34,0	82,1	13,0 – 42,0	23,7	60,0	0,5	4,3	
		е																		
38005	4	Kiefer	5	1	1	-	-	1	-	-	36,9	47,5	37,2	51,3	15,0 – 20,0	22,0		5,0		
38014	3	Eiche	-	-	4	1	2	1	2	1	34,6	45,9	44,0	59,5	15,0 – 30,0	18,0	52,2	4,8	>5,0	
38014	4	Buche	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	40),0	4,	,7	
30014	4	Eiche	-	-	1	-	-	1	4	2	49	9,5	67	7,2	35,0	30,0	40,0	3,6	>5,0	
		Buche	1	-	-	-	-	-	-	-	17	7,2	18	3,6	10,0	-	-	-	-	
38216	3	Eiche	1	-	-	-	-	-	-	-	17	7,8	20	0,0	15,0	-	-	-	-	
		Kiefer	1	1	1	2	-	-	-	-	28,0	38,5	34,0	41,3	10,0 – 24,0	-	-	-	-	
20220	2	Buche	1	1	1	1	-	-	-	-	39,5	60,0	51,5	90,0	25,0 – 35,0	-	-	-	-	
38220	3	Eiche	1	1	1	1	-	-	-	-	47,0	57,0	39,0	66,5	16,0 – 36,0	-	-	-	-	
38427	2	Kiefer	-	2	1	2	-	1	1	2	30,0	38,4	34,7	48,0	15,0 – 70,0	15,4	37,0	3,4	>5,0	
20425	_	Buche	1	1	-	1	-	1	-	1	37,0	60,0	49,9	80,0	25,0 – 45,0	36,7	42,0	0,5	1,1	
38435	2	Kiefer	-	1	1	1	-	1	1	1	34,0	70,0	40,0	81,0	18,0 – 24,0	24,0	42,0	1,9	4,5	
38640	4	Kiefer	-	3	2	-	-	3	-	1	29,9	36,0	32,1	39,0	15,0 – 25,0	24,0	40,0	>5	,0	

38646	2	Kiefer	-	-	1	1	-	2	1	1	19,5	31,1	20,9	40,0	35,0 – 40,0	15,3	24,0	>5	5,0
		Buche	-	-	-	1	2	1	1	2	64	1,9	83	3,0	25,0	26,0	64,0	4,2	>5,0
38648	4	Eiche	-	-	4	1	1	1	-	-	35,6	86,2	44,4	96,5	20,0 – 55,0	29,1	60,0	>5	5,0
		Kiefer	-	-	-	4	-	1	-	2	23,8	51,0	28,7	61,5	25,0 – 35,0	16,8	44,0	1,6	>5,0
39123	1	Buche	-	-	3	2	1	1	2	2	77,4	102,0	105,9	164,0	15,0 – 40,0	30,0	64,0	1,9	>5,0
39123	_	Kiefer	-	-	-	2	-	-	-	-	53,6	65,2	68,2	53,6	30,0	-	-	-	-
39361	1	Kiefer	-	-	-	2	-	-	-	1	19,1	31,1	20,8	34,1	15,0 – 25,0	16	5,0	1	,6

Tabelle A-13: Übersicht Beprobung oberirdisches Totholz Höhenstufe Mittelgebirge (TH = Totholz)

DVA/I			То	tho	Izty	p/Ze	rse	tzun	gsgra	ıd	Durchm	nesser W	/urzelstoc	k [cm]	Stockhöhe	Durchme	esser	Länge liegendes	
Punkt	BWI- Bunkt Ecke Baumart		Wurzelstock			L	Liegendes TH			Schnitt	Schnittfläche		rfläche	Wurzelstock	liegendes TH [cm]		TH [m]		
Fullkt			1	2	3	4	1	2	3	4	Min	Max	Min	Max	[cm]	Min	Max	Min	Max
53568	1	Buche	-	-	-	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	23,8	54,0	2,0	>5,0
53584	1	Buche	-	-	-	-	-	1	-	-	-			-	18,6		>5,0		
55584		Eiche	-	1	1	-	1	-	1	-	34,1	42,6	38,2	45,4	20,0	20,0	21,4	3,0	>5,0
53584	4	Eiche	-	-	1	ı	1	-	1	-	35,	,9	40	,8	25,0	17,5	20,0	1,3	>5,0
53610	1	Kiefer	-	-	-	ı	-	-	2	-	-	-	-	-	-	18,0	19,6	1,5	3,0
53610	3	Kiefer	-	-	1	ı	-	-	-	-	43,	,7	46	,5	25,0	-	-	-	-
54857	2	Kiefer	-	1	-	1	1	1	-	-	41,6	48,6	54,3	44,7	30,0 – 40,0	13,3	26,8	4,4	>5,0
55001	1	Kiefer	-	-	1	3	-	-	-	-	19,7	38,6	19,7	44,4	15,0 – 30,0	-	-	-	-
55413	2	Kiefer	-	-	1	1	-	1	-	-	51,4	54,0	58,8	66,4	45,0 – 55,0	22,0		>!	5,0
55413	3	Kiefer	-	2	-	-	-	1	-	-	42,3	48,6	44,5	53,5	25,0 – 30,0	22,0		1	.,7

Tabelle A-14: Standortinformation Probeflächen oberirdische Totholzbeprobung Höhenstufe Flach- und Hügelland (Wuchsgebiete: 1 = Nordostbrandenburger Jungmoränenland, 2 = Ostmecklenburg-Nordbrandenburger Jungmoränenland; Wuchsbezirke: 1 = Schwedter Terrasse, 2 = Oranienburger Talsand, 3 = Kienschorfheide, 4 = Angermünde-Strasburger Grund-(Wellen-)moräne, 5 = Eichhorster Platte, 6 = Eberswalder Talabschnitt, 7 = Wandlitzer Platte, 8 = Basdorfer Sand-Hochfläche; Standortformengruppe aufgeteilt in Feuchtestufen: T2 = mäßig frisch, grundwasserfrei, T2g = schwach grundfrisch, T1 = frisch und Nährkraftstufen: R = reich, K = kräftig, M = mittel, Z = ziemlich arm, A = arm; Quelle: LKZ Forst Eberswalde)

						Mittlere	Gesamt-		
BWI-		Landes-		Wuchs-	Wuchs-	Jahres-	jahres-	Bestockungs-	Standorts-
Punkt	Ecke	wald-ober-	Revier	gebiet	bezirk	temperatur	niederschlag	typ	formen-
		försterei				[C°]	[mm]		gruppe#
37288	3	Groß	Wildbahn	1	1	8,6	520	Eichen-Misch-	(T)R2g-
		Schöne-						bestockung mit	(T)K2g
		beck						Laubbäumen	
37450	3	Reiersdorf	Vogel-sang	2	2	8,7	555	Kiefern-Misch-	(T)M2
								bestockung mit	
								Laubbäumen	
37646	1	Groß	Köllnsee	2	3	8,5	583	Kiefern-	(T)Z2
		Schöne-						Reinbestockung	
		beck							(=)==
37648	2	Groß	Pehlen-	2	4	8,2	555	Kiefern-Misch-	(T)Z2g-
		Schöne-	bruch					bestockung mit	(T)Z1
27650	4	beck	Class basis	_		0.2		Laubbäumen	(T)72
37650	4	Groß	Glam-beck	2	4	8,2	555	Kiefern-	(T)Z2
		Schöne- beck						Reinbestockung	
37824	1	Reiersdorf	Trämmerse	2	3	8,5	583	Kiefern-Misch-	(T)K2
37024	1	Releisdoil	e			8,5	363	bestockung mit	(1)12
								Laubbäumen	
37825	2	Reiersdorf	Rehluch	2	3	8,5	583	Kiefern-	(T)M2
	_			_				Reinbestockung	(1,711.
38003	4	Reiersdorf	Prötze	2	5	8,6	590	Eichen-	(T)M2
						,		Reinbestockung	, ,
38005	4	Reiersdorf	Prötze	2	5	8,6	590	Kiefern-	(T)A2
								Reinbestockung	
38014	3	Groß	Voigts-	2	5	8,6	590	Eichen-Misch-	(T)M2
		Schöne-	wiese					bestockung mit	
		beck						Laub- und	
								Nadelbäumen	
38014	4	Groß	Voigts-	2	5	8,6	590	Kiefern-Misch-	(T)M2
		Schöne-	wiese					bestockung mit	
		beck						Laubbäumen	
38216	3	Chorin	Chorin	2	6	8,8	562	Kiefern-Misch-	(T)Z2
								bestockung mit	
								Laubbäumen	
38220	3	Chorin	Maien-	2	4	8,2	555	Buchen-Misch-	(T)R2-(T)K2
			pfuhl					bestockung mit	
		- 0						Laubbäumen	(=)==
38427	2	Groß	Über-heide	2	6	8,8	562	Kiefern-	(T)Z2g
		Schöne-						Reinbestockung	
38435	2	beck Chorin	Kahlen-	2	6	8,8	562	Buchen-Misch-	(T)M2-
30433		CHOIM	berg	2	0	0,8	302	bestockung mit	(T)K2
			beig					Nadelbäumen	(1)K2
38640	4	Borgsdorf	Neu-	2	2	8,7	555	Kiefern-Misch-	(T)Z2
33040	7	20.630011	holland	-	-	0,,		bestockung mit	(1)22
								Laubbäumen	
38646	2	Borgsdorf	Lottsche	2	2	8,7	555	Kiefern-Misch-	(T)Z2g
	_			_	-			bestockung mit	(, , 8
								Laubbäumen	
38648	4	Borgsdorf	Lottsche	2	2	8,7	555	Buchen-Misch-	(T)Z1
						·		bestockung mit	. ′
								Laubäumen und	
								Nadelbäumen	
39123	1	Borgsdorf	Zühlsdorf	2	7	8,8	557	Buchen-	(T)M2
								Reinbestockung	
39361	1	Borgsdorf	Briese	2	8	8,8	573	Kiefern-	(T)Z2
		İ		1	I			Reinbestockung	

Tabelle A-15: Standortinformation Probeflächen oberirdische Totholzbeprobung Höhenstufe Mittelgebirge (Wuchsgebiete: 1 = Thüringer Becken, 2 = Ostthüringisches Trias-Hügelland; Wuchsbezirke: 1 = Westlicher Beckenrand, 2 = Ilm-Saale-Platten, 3 = Ostthüringischer Bundstandstein), Quelle: BWI 2012

BWI- Punkt	Ecke	Forstamt	Revier	Wuchsgebiet	Wuchsbezirk	Höhe [m ü. NN]	Bestockungstyp
53568	1	Erfurt- Willrode	Egstedt	1	1	314-316	Buchen-Mischbestockung mit Laubbäumen
53584	1,4	Erfurt- Willrode	Egstedt	2	2	375-397	Eichen-Mischbestockung mit Laubbäumen
53610	3	Jena- Holzland	Bad Klosterlausnitz	2	3	309-319	Kiefern-Mischbestockung mit Laubbäumen
54857	2	Jena- Holzland	Leuchtenburg	2	3	345-352	Kiefern-Mischbestockung mit Laubbäumen
55001	1	Jena- Holzland	Wolfersdorf	2	3	350-360	Kiefern-Mischbestockung mit Laubbäumen und Nadelbäumen
55413	2,3	Neustadt	Weißbach	2	3	407-423	Kiefern-Mischbestockung mit Laubbäumen und Nadelbäumen