

Die Kohlenstoffbilanz des sächsischen Waldes 2002–2012

(Kurzfassung)





Welche Rolle spielen die Wälder im Klimawandel?

Weltweit hat sich die wissenschaftliche Erkenntnis durchgesetzt, dass die vom Menschen verursachte Klimaerwärmung gravierende negative Folgen für die Lebensgrundlagen der Erdbevölkerung haben wird. Als Hauptursache hat die internationale Staatengemeinschaft den Ausstoß und die Anreicherung von Treibhausgasen¹ anerkannt. Das wichtigste Treibhausgas, Kohlendioxid (CO₂), kann von grünen Pflanzen durch Photosynthese als Kohlenstoff in Biomasse gebunden werden².

Nach Schätzungen der FAO (2011) sind weltweit etwa 283 Gigatonnen (Gt)³ Kohlenstoff allein in der lebenden Biomasse der Wälder gespeichert. Zusätzlich sind etwa 38 Gt im Totholz und 317 Gt in den obersten 30 cm des Bodens und in der Humusaufgabe gebunden. In der Summe kann der Kohlenstoffgehalt der globalen Waldökosysteme auf etwa 638 Gt beziffert werden (das entspricht etwa einer Menge von 2.400 Gt CO₂). Im Vergleich dazu werden jährlich etwa 8,3 Gt Kohlenstoff bei der Nutzung fossiler Brennstoffe verbraucht.

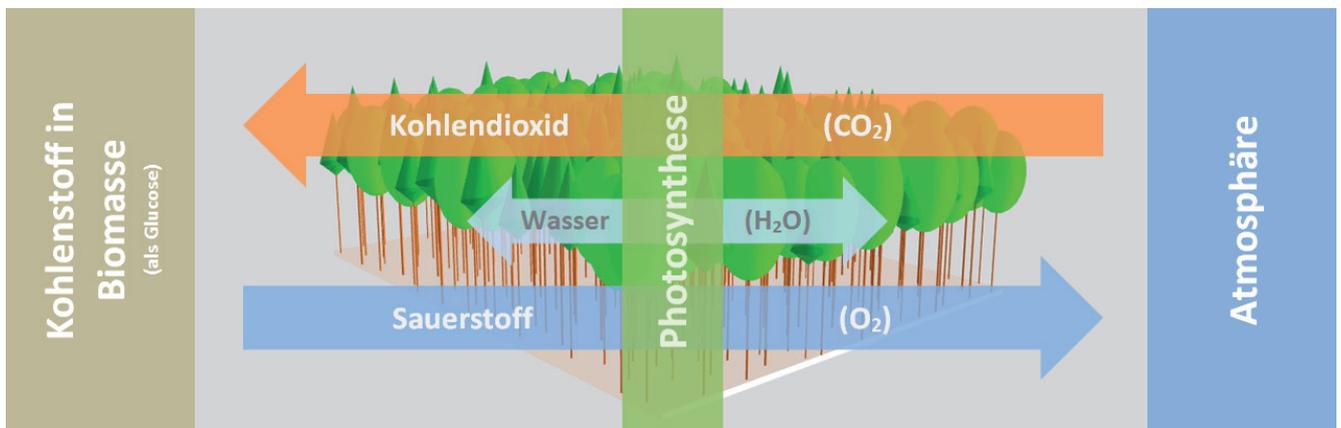


Abbildung 1: Kohlenstoffbindung durch Photosynthese (vereinfacht)

Im Wald, als langfristige und sehr großflächige Landnutzungsform, wird eine besonders große Menge CO₂ zu Kohlenstoff umgewandelt und kann im Holz auch über lange Zeiträume festgelegt werden (vgl. Abbildung 1). Knapp ein Drittel der Landfläche der Erde ist mit Wäldern bedeckt. Sie binden auf gleicher Fläche 20 bis 50 mal mehr Kohlenstoff in ihrer Vegetation als andere Ökosysteme. Damit sind Wälder von enormer Bedeutung für den globalen Kohlenstoffhaushalt.

Dies zeigt das enorme Potenzial des Ökosystems Wald in positiver Hinsicht als Speicher und mögliche Senke für CO₂, aber auch in negativer Hinsicht als potenzielle Quelle von Treibhausgasen durch Raubbau, Kalamitäten (Schadereignisse), Beeinträchtigung der Waldböden oder ausschließlich energetische Nutzung des Holzes.

¹ Anhang A des Kyoto-Protokolls nennt sechs Treibhausgase bzw. Gruppen von Treibhausgasen (CO₂, CH₄, HFCs, PFCs, N₂O, SF₆)

² Diese Produktion organischer Substanz abzüglich des Verlustes durch die Gesamtatmung aller Pflanzenteile wird auch als Nettoprimärproduktion bezeichnet.

³ 1 Gt = 1 Gigatonne = 1 Mrd. t = 1.000.000.000 t

Deutschlandweite Inventuren der Wälder und Waldböden

Für den gesamten deutschen Wald schätzt die **Bundeswaldinventur** (BWI) regelmäßig Holzvorräte und andere Parameter auf Basis einer Stichprobeninventur⁴. Daraus können Kohlenstoffvorräte für lebende Biomasse und Totholz abgeleitet werden. Nach WELLBROCK ET AL. (2014) waren ausgehend von diesen Daten 2012 deutschlandweit 1.169 Millionen Tonnen Kohlenstoff (MtC)⁵ in lebenden Bäumen und im Totholz gespeichert. Das entspricht bei der Waldfläche Deutschlands von 11,4 Millionen Hektar etwa 103 t Kohlenstoff pro Hektar Holzbodenfläche in der ober- und unterirdischen Biomasse. Die **Bodenzustandserhebung** (BZE) im Wald erhebt⁶ den Vorrat an

Kohlenstoff im Boden. Die Auswertung der zweiten Wiederholungsaufnahme (2006–2008) gibt für die Streuauf-lage und den Mineralboden bis 30 cm Bodentiefe einen Vorrat von 822 MtC an. In der Summe sind nach diesen beiden Quellen also etwa 2 Milliarden Tonnen Kohlenstoff (2 GtC) im deutschen Wald gebunden. Auf Basis mehrerer Aufnahmen dieser beiden Inventuren wurden im Rahmen einer Studie die Kohlenstoffvorräte im gesamten sächsi-schen Wald zu den Stichtagen 01.01.2002 und 01.01.2012 geschätzt. Die Aufnahmen der BWI 2 und 3 sowie der Bodenzustandserhebungen BZE 1 und 2 bilden die Da-tengrundlagen.

Die Kohlenstoffspeicher der sächsischen Wälder 2002 und 2012

Die Berechnung der biomassegebundenen Kohlenstoff-vorräte orientiert sich methodisch an Thüringer For-schungen (WIRTH ET AL. 2004, MUND ET AL. 2015). Die Baumbiomasse wurde mithilfe von baumartenspezifi-schen Faktoren (Biomasseexpansionsfaktoren) aus den

Holzvorräten über 7 cm Durchmesser (Derbholz) der BWI hergeleitet. Kleinere Biomassepools wie Bodenvegetation und Baumverjüngung werden, gegliedert nach Wald-bzw. Forstökosystemtypen, mithilfe von flächenbezogenen Faktoren geschätzt (Abbildung 2).

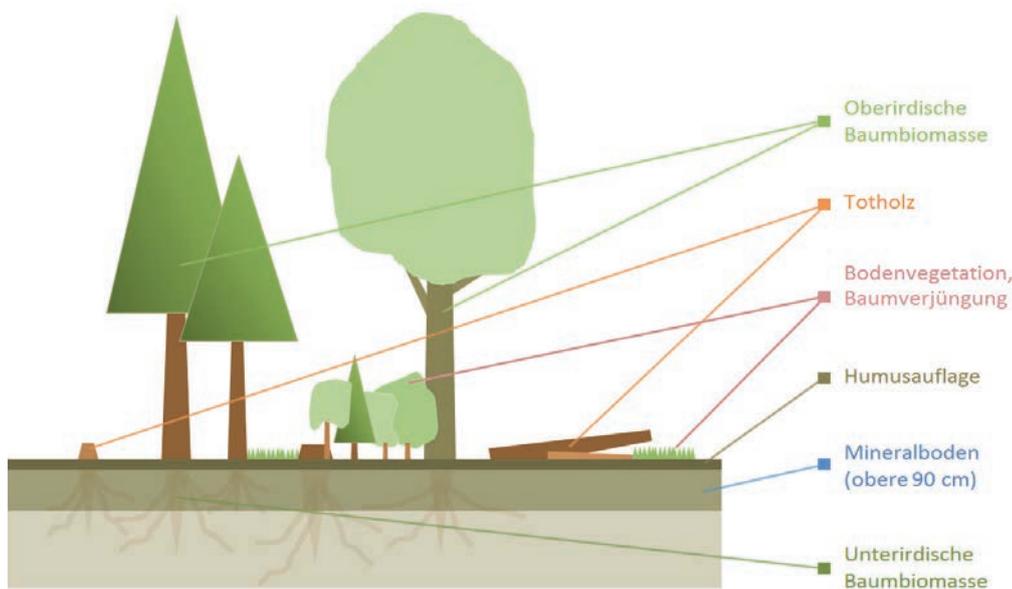


Abbildung 2: Grafische Darstellung der bilanzierten Wald-Kohlenstoffspeicher

⁴ in Sachsen im Raster 2,83 x 2,83 km

⁵ 1 MtC = 1 Megatonne (Mt) Kohlenstoff = 1 Mio. t C = 1.000.000 t C

⁶ in Sachsen im Raster von 4 x 4 km



Die Bundeswaldinventuren erheben oberirdisch das liegende und stehende Totholz sowie Wurzelstöcke innerhalb eines Probekreises mit fünf Metern Radius. Zu jedem erfassten Stück Totholz werden die Baumartengruppe (Nadel-, Laubholz, Eiche) und der Zersetzungsgrad angesprochen. Das Volumen des unterirdischen Totholzes, bestehend aus den Resten von Wurzelstöcken geernteter oder abgestorbener Bäume, wird hier zusätzlich je Flächeneinheit abgeschätzt⁷.

Die Mengen des Bodenkohlenstoffs in den Pools „Humusauflage“ und „Mineralboden bis 90 cm Tiefe“ basieren auf Ergebnissen von Bodenanalysen im Rahmen der BZE. Diese Erhebungen wurden zeitlich auf die Stichjahre der Bundeswaldinventuren interpoliert.

- Mit der angewendeten Methodik wird zum Stichjahr 2002 ein Gesamtvorrat im sächsischen Wald von **104 MtC** geschätzt.
- Etwa **40 MtC** waren **in den lebenden Bäumen gespeichert**, nur **2,4 MtC** in der sonstigen Vegetation.
- Ein Vorrat von **43 MtC** befand sich im **Mineralboden** (bis 90 cm Tiefe), etwa **17 MtC** in der **Humusauflage**.

- Zum Stichjahr 2012 speicherte der sächsische Wald **117 MtC**. Davon waren etwa **37 % oberirdisch** und **63 % unterirdisch** gespeichert.
- In den **lebenden Bäumen** waren zu diesem Zeitpunkt fast **51 MtC** festgelegt. Dies entspricht einer **Zunahme von etwa 25 %** seit 2002.
- Der **Kohlenstoffvorrat im Mineralboden** hat sich **kaum verändert**, in der Humusschicht gab es einen leichten Vorratsaufbau.

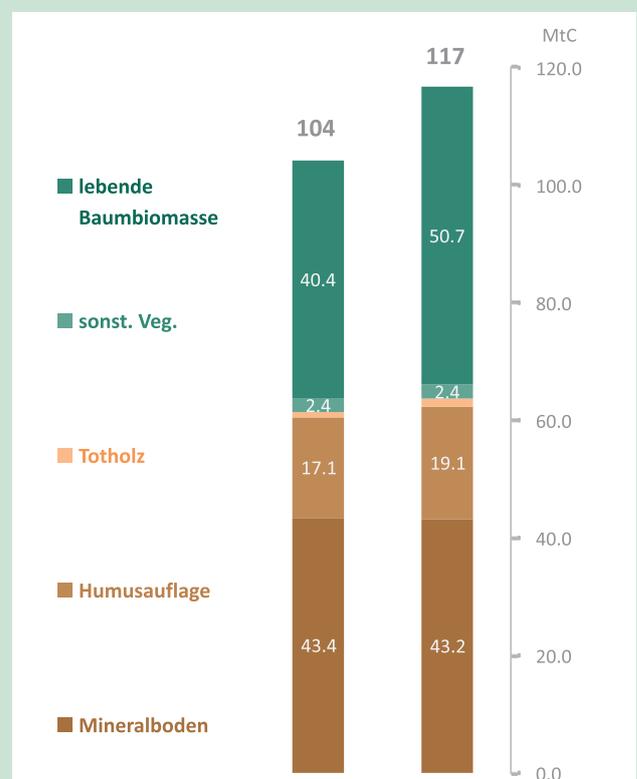


Abbildung 3: Aggregierte Biomassepools 2002 und 2012 im sächsischen Wald

⁷ Schlussfolgernd aus den Ergebnissen der Szenariensimulationen zur mittelfristigen Entwicklung wird auch als Startwert für die Studie ein Verhältnis zwischen ober- und unterirdischem Totholz von 1:2 angenommen.

Veränderung der Kohlenstoffvorräte im sächsischen Wald zwischen 2002 und 2012

Zwischen den Stichjahren wirkte der sächsische Wald als Kohlenstoffsенke. Die Kohlenstoffspeicherung erhöhte sich bis 2012 im Vergleich zu 2002 insgesamt um 12 %. Je Hektar Waldfläche waren im Jahr 2002 über alle Pools etwa 204 Tonnen Kohlenstoff (tC) gespeichert. Bis zum Jahr 2012 erhöhte sich dieser Wert um 11 % auf etwa 225 tC/ha. Maßgeblich dafür war die Zunahme der Kohlenstoffspeicherung in der lebenden Baumbiomasse von 64 auf 79 tC/ha aufgrund der gestiegenen mittleren Holzvorräte je Hektar Wald (Holzbodenfläche).

Der Waldspeicher unterliegt durch Zuwachs und Nutzung, Neubildung und Abbau von Biomasse einer ständigen Dynamik. Natürliche (z. B. Klima, Sturm und Schädlinge) und menschliche (z. B. Holzernte, Waldumbau⁸) Einflussfaktoren verändern Baumartenzusammensetzung sowie Alters- und Raumstrukturen des Waldes. Gleichzeitig finden

Abbau- und Anreicherungsprozesse von Biomasse statt und gehen Kohlenstoffmengen von einem Pool (z. B. Den-dromasse) in einen anderen (z. B. Totholz) über.

Im Zeitraum von 2002 bis 2012 hat vor allem die Kohlenstoffspeicherung in der Baumbiomasse deutlich, um etwa ein Viertel, zugenommen. Die Zunahme des C-Speichers in der Humusauflage ist mit 12 % ebenfalls relativ hoch, absolut gesehen beträgt die Steigerung aber nur 4 MtC und ist damit für die Gesamtbilanz von geringerer Bedeutung. Die anderen Pools verändern sich nur auf niedrigem Niveau. Da die Waldfläche zwischen beiden betrachteten Zeiträumen nur wenig zugenommen hat, ist die Zunahme fast ausschließlich auf die hohen Holz-zuwächse und daraus resultierend höhere Derbholtzvor-räte je Hektar Wald zurückzuführen. Die detaillierten Er-gebnisse zu den einzelnen Kohlenstoffspeichern sind in den folgenden Tabellen zusammengefasst:

Detaillierte Schätzergebnisse der Biomassepools 2002			
Kategorie	MtC	tC/ha	Anteil in %
Baumbiomasse oberirdisch	32,6	63,7	31
Verjüngung oberirdisch	1,2	2,3	1
Bodenvegetation oberirdisch	0,4	0,8	<1
Totholz oberirdisch	0,3	0,6	<1
Gesamt oberirdisch	34,5	67,4	33
Bodenvegetation unterirdisch	0,5	1,0	<1
Verjüngung unterirdisch	0,3	0,6	<1
Baumbiomasse unterirdisch	7,8	15,2	7
Totholz unterirdisch	0,6	1,2	1
Humusauflage	17,1	33,4	16
Mineralboden	43,4	84,8	42
Gesamt unterirdisch	69,7	136,1	67
Gesamt	104,2	203,5	100

Tabelle 1: Bilanzierung der Biomassepools im sächsischen Wald zum Stichjahr 2002

⁸ Waldumbau: Zielgerichtete Veränderung von Baumartenzusammensetzung und Struktur von nicht standortsgerechten, meist einschichtigen Kiefern- und Fichtenreinbeständen hin zu vertikal und horizontal stark strukturierten Wald- und Forstökosystemen durch Einbringung und Förderung von dem Standortsmosaik entsprechenden Zielbaumarten sowie angepasste Durchforstungs- und Erntekonzepte. Hauptziele des Waldumbaus sind die Stabilisierung der Waldbestände und die Sicherung der ökologischen Nachhaltigkeit durch dauerhafte Funktionalität (LAF 1999).

Detaillierte Schätzergebnisse der Biomassepools 2012			
Kategorie	MtC	tC/ha	Anteil in %
Baumbiomasse oberirdisch	40,9	78,6	35
Verjüngung oberirdisch	1,2	2,3	1
Bodenvegetation oberirdisch	0,4	0,8	<1
Totholz oberirdisch	0,5	1,0	<1
Gesamt oberirdisch	43,0	82,7	37
Bodenvegetation unterirdisch	0,5	1,0	<1
Verjüngung unterirdisch	0,3	0,6	<1
Baumbiomasse unterirdisch	9,8	18,8	8
Totholz unterirdisch	0,9	1,7	1
Humusauflage	19,1	36,7	16
Mineralboden	43,2	83,0	37
Gesamt unterirdisch	73,8	141,9	63
Gesamt	116,8	224,5	100

Tabelle 2: Bilanzierung der Biomassepools im sächsischen Wald zum Stichjahr 2012

Holznutzung, Holzprodukte und Substitutionseffekte

Die Bilanzierung macht deutlich, dass der sächsische Wald große Mengen des Haupttreibhausgases Kohlendioxid⁹ als Kohlenstoff in Biomasse speichert. Jahr für Jahr sorgt der Holzzuwachs an den Bäumen für eine kontinuierliche weitere Festlegung von Kohlenstoff in Holz. Damit bietet sich weiteres Klimaschutzpotenzial. Wird dieser Zuwachs zumindest teilweise genutzt, also durch Durchforstung und Ernte Holz entnommen, wird dem Wald Kohlenstoff entzogen. Wird dieser Kohlenstoff nicht verbrannt, also direkt in CO₂ umgewandelt, sondern in Holzprodukten festgelegt, sorgt dies für einen positiven Effekt auf die Kohlenstoffbilanz. Dieser ist umso größer, je langlebiger diese Produkte sind.

Üblicherweise werden Holzprodukte mit kurzer, mittlerer und langer Lebensdauer unterschieden. Als Grundlage für die vorliegende Untersuchung zur Lebensdauer der aus sächsischem Holz entstehenden Produkte wurden die von Sachsenforst vermarkteten Sortimente der Jahre 2011–2015 verwendet. Für den Privatwald liegen insgesamt keine verlässlichen Zahlen vor.

Mithilfe der von PISTORIUS (2007) UND PROFFT ET AL. (2009) veröffentlichten Schlüssel, präzisiert durch Befragungen der Kunden, konnten die Sortimente prozentual auf Produktkategorien verteilt werden. Dabei wurden z. B. Restholzanteile im Rahmen der spanenden Fertigung, die anschließend der thermischen Verwertung zugeführt werden, oder als Brennholz weitervermarktete Sortimentsanteile eingeschätzt.

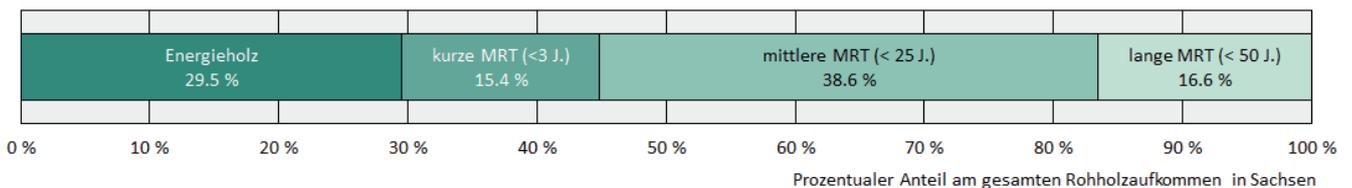


Abbildung 4: Geschätzte mittlere Lebensdauer (t63 %, MRT) von Holzprodukten in Sachsen (Grundlage Sortimentsstruktur Sachsenforst 2011–2015)

⁹ Bei der Photosynthese wird aus 3,67 kg CO₂ 1 kg C aufgebaut, bei der Verbrennung von 1 kg C werden 3,67 kg CO₂ freigesetzt. Die im Jahre 2012 unter- und oberirdisch gespeicherte Menge Kohlenstoff von 116 MtC entspricht einem CO₂-Äquivalent von etwa 430 Mio. Tonnen.

Anhand der Berechnungen kann abgeschätzt werden, dass etwa 30 % des jährlich in Sachsen geernteten Holzes unmittelbar energetisch verwertet (Abbildung 5) werden. Nur etwa 17 % des geschlagenen Holzes werden nach dieser Untersuchung zu Produkten mit langer Lebensdauer verarbeitet.

Neben der regionalen Struktur des Holzmarktes spielen in diesem Kontext die weit verbreiteten Stammschäden¹⁰ eine große Rolle (Beispiel Fichte in Sachsen – Abbildung 5). Sie behindern nicht nur eine höherwertige Vermarktung, sondern führen auch zur Instabilität von Einzelbäumen und Beständen.

Bauwirtschaft konnte für das Stichjahr 2002 ein Gesamtproduktspeicher von etwa 17 MtC geschätzt werden. Um die Kohlenstoffbilanz des Waldes und der Holzprodukte umfassend zu beurteilen, ist es notwendig, neben der direkten Speicherung von Kohlenstoff in verbaumtem und gelagertem Holz auch Austausch- oder Substitutionseffekte einzubeziehen. Dabei kann zwischen materieller und energetischer Substitution unterschieden werden. Materielle Substitution, auch indirekte Substitution genannt, ist die stoffliche Verwendung von Holz anstelle von Materialien und Rohstoffen, die einen höheren Energieaufwand, und damit CO₂-Emissionen, zur Herstellung benötigen (z. B. Aluminium, Kunststoff

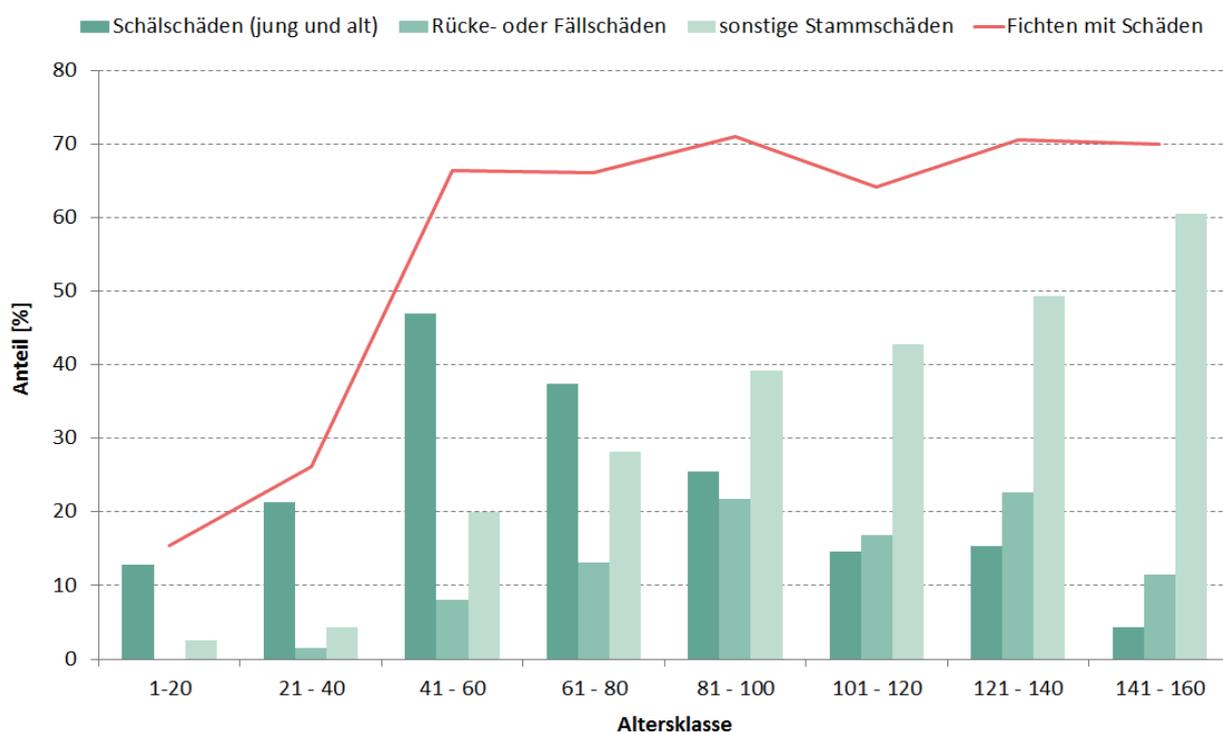


Abbildung 5: Stammschäden an Fichte in Sachsen, Anteile an der Stammzahl [%] je Altersklasse (Mehrfachansprache möglich, BWI 3, Thünen-Institut, https://bwi.info; 82Z1JI_L248of_2012)

Da sich diese Anteile mit zunehmendem Alter akkumulieren, ist jede waldbauliche Maßnahme im gesamten Bestandesleben so durchzuführen und zu planen, dass Rücke- und Fällschäden konsequent vermieden werden. Die waldbaulichen und jagdlichen Maßnahmen zur Vermeidung von Schältschäden müssen auch vor diesem Hintergrund weiter intensiviert werden.

Neben den Kohlenstoffspeichern im Wald und den entstehenden Holzprodukten wurde auch der vorhandene Holzproduktspeicher außerhalb des Waldes quantifiziert. Anhand von Daten zur sächsischen Bevölkerung und zur

oder Beton). Bei der energetischen Substitution wird bei der Verbrennung von Holz direkt ein fossiler Energieträger (Erdöl, Erdgas, Braun-/ Steinkohle) substituiert. Die klimawirksamen Leistungen des sächsischen Waldes setzen sich dementsprechend folgendermaßen zusammen (Abbildung 6).

Diese Leistungen können für den Zeitraum 2002 bis 2012 quantifiziert werden. Der Zuwachs der Kohlenstoffspeicher im Wald betrug von 2002-2012 jährlich 1,26 MtC. Als Nutzungsmenge wird die Holzmenge verwendet, wel-

¹⁰ bis zu 60 % geschädigte Bäume

che die BWI 3 als Ergebnis für den gesamten sächsischen Wald geschätzt hat (etwa 2,3 Mio. m³ Holz pro Jahr). Aus der angenommenen Sortimentsstruktur des in Sachsen geernteten Holzes ergibt sich ein jährlicher

Substitutionseffekt von fast 700.000 Tonnen Kohlenstoff. Die jährliche Klimaschutzleistung (Veränderung der Klimawirkung) des sächsischen Waldes beträgt insgesamt etwa 2,4 MtC.



Abbildung 6: Klimawirksame Leistungen des sächsischen Waldes

Szenarien der mittelfristigen Entwicklung

Wie die Ergebnisse des ersten Teils der Studie zeigen, ist die C-Speicherleistung des Waldes vor allem von der möglichst hohen und dabei stetigen Nettoprimärproduktion der Waldökosysteme sowie der kontinuierlichen Holznutzung und Holzverarbeitung zu verschiedenen Produktkategorien unterschiedlicher Lebensdauer abhängig. Im zweiten Teil der Studie wurden drei mögliche

Szenarien der Waldentwicklung ab 2012 simuliert (Ist-, Ziel- und Kalamitätsszenario) und in Bezug auf die Veränderung der Kohlenstoffpools untersucht. Im besonderen Fokus standen dabei die Wirkungen des Waldumbaus sowie möglicherweise eintretender großflächiger Schadereignisse. Die drei untersuchten Szenarien wurden wie folgt charakterisiert (Tabelle 3):

Szenarien	IST-Szenario	ZIEL-Szenario	Kalamitäts-Szenario (K3)
Beschreibung	Stopp des Waldumbaus, „Status quo“	Ergebnis des fortgesetzten Waldumbaus	hoher Anteil zufälliger Nutzung
	gleichbleibende Baumartenflächen	Abbau von Risikovorräten	drei große Schadereignisse, zusätzliche diffuse Schäden
	kein Baumartenwechsel	teilweiser Baumartenwechsel	Herleitung der Schadmengen über PAS ¹¹
	weiter ansteigende Holzvorräte je Hektar	gleichbleibende Holzvorräte je Hektar	leicht abnehmende Holzvorräte je Hektar
	Berücksichtigung von Abbauprozessen bei der Schätzung des Totholzes und der Holzproduktgruppen je nach Verweildauer		
Eingangsdaten	BW I 3 (2012):		
	Mittelwerte (Filter Sachsen):		
	<ul style="list-style-type: none"> ■ Anbaufläche je Baumartengruppe und Altersklasse (ideeller Reinbestand) ■ Derbhilzvorrat/Hektar je Baumartengruppe und Altersklasse ■ Zuwachsprozent 2002-2012 je Baumartengruppe und Altersklasse ■ Anteil Mortalität und ungenutzte, entnommene Bäume je Baumartengruppe 		

Tabelle 3: Simulierte Szenarien und Ausgangsdaten

¹¹ Prädispositionsabschätzungssystem (PAS, Schopf et al. 2013)

Unter den getroffenen Annahmen entwickelte sich der Pool der Baumbiomasse erwartungsgemäß deutlich differenziert (Abbildung 7). Der Dendromassevorrat bleibt aber bei allen drei Szenarien auf einem hohen Niveau. Die Biomasse-Verluste durch Holzernte oder Schadereignisse werden in diesem Pool im Rahmen der untersuchten Szenarien durch die zuwachsende Holzmasse an den verbliebenen und nachwachsenden Bäumen wirkungsvoll kompensiert.

Im ZIEL-Szenario konnte beispielsweise als Differenz der Schätzung für 2052 und 2012 die zusätzliche Bindung von Kohlenstoff¹² auf etwa 60 MtC bilanziert werden. Dies bedeutet die zusätzliche Bindung und Vermeidung von etwa 213 Mio. t CO₂ bis 2052. Dies entspricht etwa der Menge Kohlendioxid, die in Sachsen innerhalb von fünf Jahren insgesamt emittiert wird.

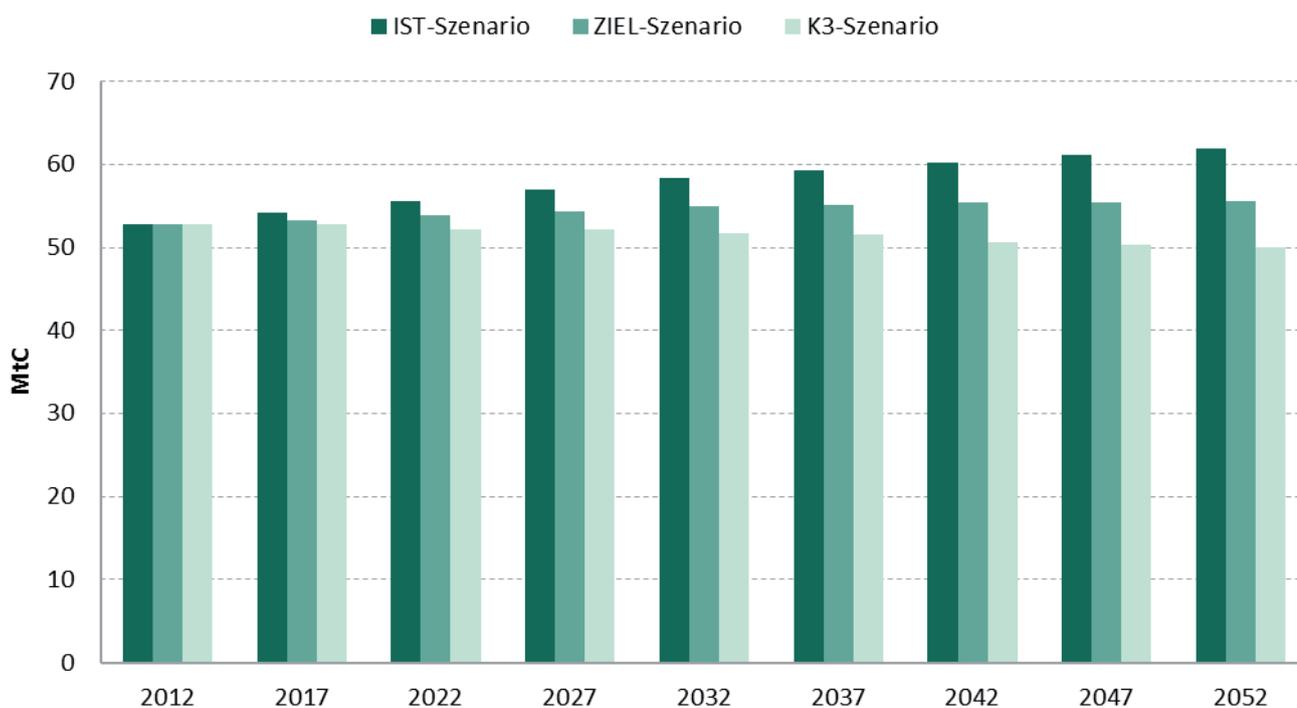


Abbildung 7: Entwicklung des Pools Dendromasse in den drei untersuchten Szenarien

In der Summe aller Pools sind die relativen Unterschiede zwischen den Ergebnissen der drei untersuchten Szenarien geringer, da der Totholzpools anfallende Schadholzmengen, die teilweise im Wald verbleiben, aufnimmt und diese nur relativ langsam abgebaut werden.

In allen drei Szenarien wird im Modell davon ausgegangen, dass das anfallende Derbholz zügig aufgearbeitet und dem (funktionierenden) Holzmarkt und der normalen Holzverarbeitung zugeführt wird. Außerdem ist für die mittelfristige Gesamtrechnung entscheidend, ob auch nach Schadereignissen die ursprüngliche Waldfläche erhalten werden kann und sich auf dieser wieder durchschnittlich vorratsreiche und zuwachskräftige Wälder entwickeln. Dazu sind eine zügige Wiederaufforstung oder die Absicherung von Sukzessions- und Naturverjüngungsprozessen notwendig.

Im Vergleich mit den anderen Szenarien erreicht das ZIEL-Szenario den höchsten Wert der Gesamtspeicherleistung. Durch die relativ hohen Nutzungen bei gleichzeitig ansteigendem Waldspeicher ergibt sich in der Summe der höchste Wert für die Kohlenstoffbindung im Jahr 2052 von etwa 185 MtC oder etwa 375 tC/ha (Abbildung 8).

¹² als Ergebnis von Holzzuwachs, Holznutzung und Substitution

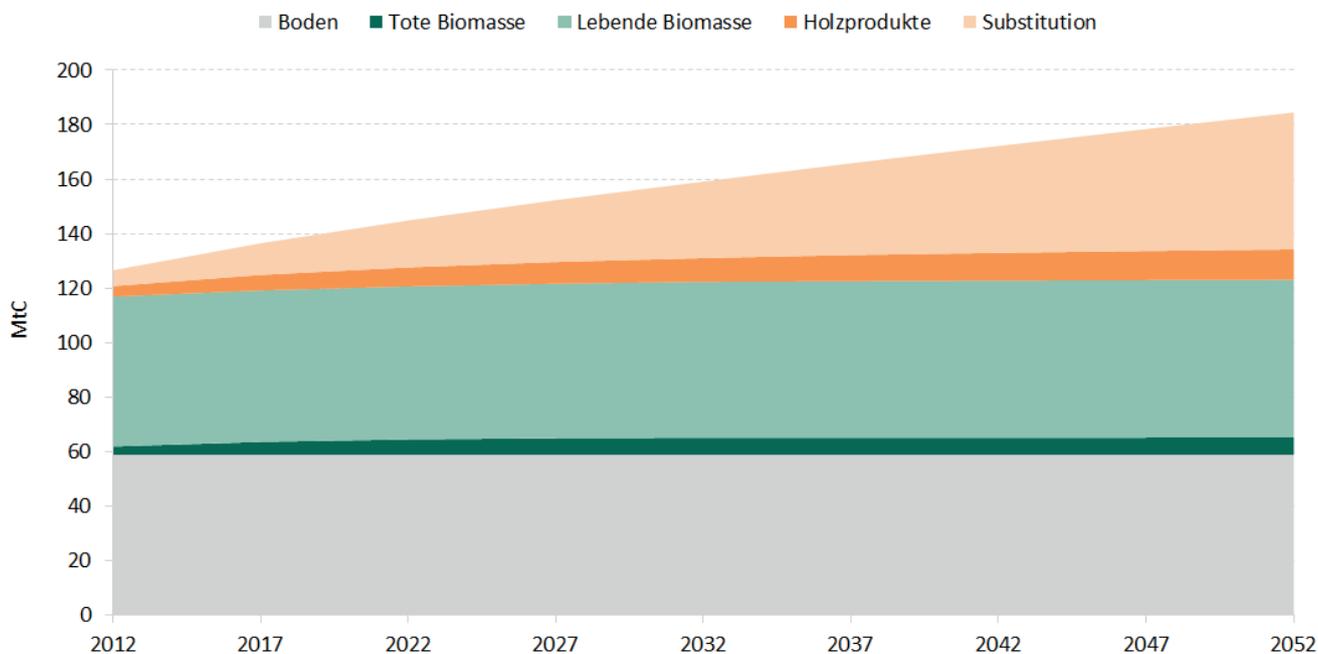


Abbildung 8: Entwicklung von Speicherleistung plus Substitutionseffekt im ZIEL-Szenario

Dies entspricht einem Äquivalent des Haupttreibhausgases CO_2 von fast 680 Mio. Tonnen inklusive der beschriebenen Substitutionseffekte im Jahre 2052. Exklusive der Substitutionseffekte liegt dieser Wert für das ZIEL-Szenario bei etwa 490 Mio. Tonnen CO_2 . Je Hektar Holzbodenfläche kann dieser Kohlendioxidvermeidungseffekt nach 40 Jahren im ZIEL-Szenario auf etwa 1.380 t/ha unter Berücksichtigung der Substitutionseffekte geschätzt werden, ohne diese Effekte auf 1.000 t/ha.

Mittelfristig könnten auch die Waldböden ihre Speicherfähigkeit verändern. Auswertungen der BZE 2 für Bayern lassen starke Abhängigkeiten der Kohlenstoffvorräte in Mineralboden und Humusaufgabe von Temperaturklassen der Standorte erkennen (SCHUBERT 2010).

Dieser generelle Zusammenhang kann auch für Sachsen vermutet werden, wenn auch die Überprägung durch den Einfluss der aufstockenden Baumart groß ist. SCHUBERT (2010) zieht den Schluss, dass ein genereller Temperaturanstieg durch den Klimawandel den im Boden gespeicherten organischen Kohlenstoff grundlegend gefährdet und nimmt an, dass die Vorräte in den humosen Auflagen am stärksten betroffen wären, etwas abgeschwächt die der Oberböden. Dagegen würden die Vorräte in den unteren Bodenhorizonten erst mittel bis langfristig auf diese Veränderungen reagieren. Langfristig besteht also durchaus die Gefahr, dass die Waldböden als großer Speicher zu einer bedeutenden Quelle von Klimagasen werden könnten.

Auswirkungen von Schadereignissen auf die Kohlenstoffspeicher des Waldes

In den letzten Jahrzehnten haben wiederholt große Stürme und Schneebruchereignisse in Deutschland zum Teil erhebliche Einbrüche der Nettoprimärproduktion und der Ökosystemleistungen von Forsten und Kulturwäldern für die Funktionalität der Kulturlandschaft bedingt. Auch Sachsen war in den letzten 30 Jahren davon stark betroffen. Ein Indikator dafür sind die durch Stürme und Schneebruch verursachten Schadholzmengen in Tabelle 4.

Sturmschäden begünstigen zudem Massenvermehrungen von Schadinsekten. Das große Angebot an Brutholz bietet in Verbindung mit trockener und warmer Witterung auch für den gefährlichsten Fichtenschädling in Sachsen, den Großen achtzähligen Fichtenborkenkäfer („Buchdrucker“, *Ips typographus* L.), ideale Entwicklungsvoraussetzungen.

Ereignis	Kategorie	Zeitpunkt	Region	Schadholzmenge (m ³)
Orkane VIVIAN, WIEBKE	Sturm	Februar/März 1990	Vogtland	500.000
versch. Stürme	Sturm	Winter 1992/1993	Sachsen	81.000
versch. Stürme, Schnee	Sturm/Schnee	Winter 1997/1998	Erzgebirge, Nordwestsachsen	104.000
Orkantief JEANETT	Sturm	27./28.10.2002	Sachsen	155.000
Gewitterfront GERRITT	Sturm	29.07.2005	Vogtland, Westerbirge	235.000
versch. Stürme	Sturm	Winter 2005/2006	Westerbgebirge	272.000
Orkane KYRILL, LANCELOT	Sturm	18./19.1.2007	Sachsen	1.830.000
„Pfungst“-Tornado	Sturm	24.05.2010	Nord-, Mittelsachsen	134.000
Eis/Schnee	Eis/Schnee	27./28.10.2012	Ostgebirge	270.000
Orkantief NIKLAS	Sturm	30.03./01.04.2015	Sachsen	90.000
Orkantief ECKARD	Sturm	30.12.2015	Ostgebirge, Hohwald	90.000
Sturmtief XAVIER	Sturm	05.10.2017	Nordsachsen	45.000
Sturmtief HERWART	Sturm	29.10.2017	Erzgebirge	640.000
Orkantief FRIEDERIKE	Sturm	18.01.2018	Nord-, Mittelsachsen	1.700.000
Sturmtief FABIENNE	Sturm	23.09.2018	Erzgebirge	100.000
Eis/Schnee	Eis/Schnee	Januar 2019	Erzgebirge	244.000
Stürme BENNET, DRAGI, EBERHARD	Sturm	4.-10.03.2019	Mittelsachsen, Ostgebirge	580.000

Tabelle 4: Große witterungsbedingte Schadereignisse in Sachsen 1990–2019 (Kategorien Sturmwurf/-bruch, Schnee/Eis), Auswahl, Schadholzmengen teilweise Schätzwerte (Sachsenforst, Forstschutzmeldewesen)

Selbst wenn für die Jahre 2017–2019 bisher sehr große Sturmschäden in Sachsen registriert werden mussten, ist ein Trend zur Zunahme von starken Stürmen in Europa noch nicht zweifelsfrei belegt, da die Datenlage zum Schadausmaß schwierig und die Zeitreihen zur Strömungsbeobachtung noch kurz sind (ALBRECHT ET AL. 2008). Regionale Untersuchungen konnten aber bereits eine Zunahme von Schadereignissen im Wald aufzeigen (HANEWINKEL 2008). Die prinzipielle Zunahme von Extremereignissen der Witterung wird aber auch in Sachsen erwartet (SMUL 2005).

Im Jahr 2018 kamen starke Winterstürme und eine anschließende extreme, langanhaltende Trockenheit in Sachsen zusammen und sorgten dafür, dass sich drei komplette Generationen von *Ips typographus* und deren Geschwisterbruten entwickeln konnten. 2019 mussten bis März wieder mehr als 820.000 m³ Schadholz aus Sturm- und Schneebruchereignissen registriert werden. Und wieder folgte eine, den Borkenkäfer begünstigende trockenwarme Witterung in der Vegetationszeit. In der Folge konnte sich die Massenvermehrung fortsetzen. Insgesamt summieren sich die Schadholzmengen aufgrund

biotischer und abiotischer Schadfaktoren seit Herbst 2017 in Sachsen auf etwa 5,2 Mio. m³. Dies entspricht mehr als dem Doppelten des normalen jährlichen Holz-

einschlages im gesamten sächsischen Wald von etwa 2,3 Mio. m³ (SMUL 2019).

Simulation: In einem **Kalamitäts-Szenario** konnte die Entwicklung der Pools beim Eintreten von drei großen Kalamitäten in 40 Jahren verdeutlicht werden. Betroffen sind die beiden Hauptbaumarten Fichte und Kiefer. Der simulierte Schadholzanfall von 11,6 Mio. m³ reduziert den stehenden Holzvorrat deutlich. Die simulierten drei Kalamitäten in den Jahren 2022, 2032 und 2042 verursachen flächig etwa 6,8 Mio. m³ Schadholz. Die diffusen Schäden (d. h. flächig verteilt an einzelnen Bäumen und Baumgruppen) summieren sich zusätzlich auf etwa 4,8 Mio. m³ (Abbildung 9, oben).

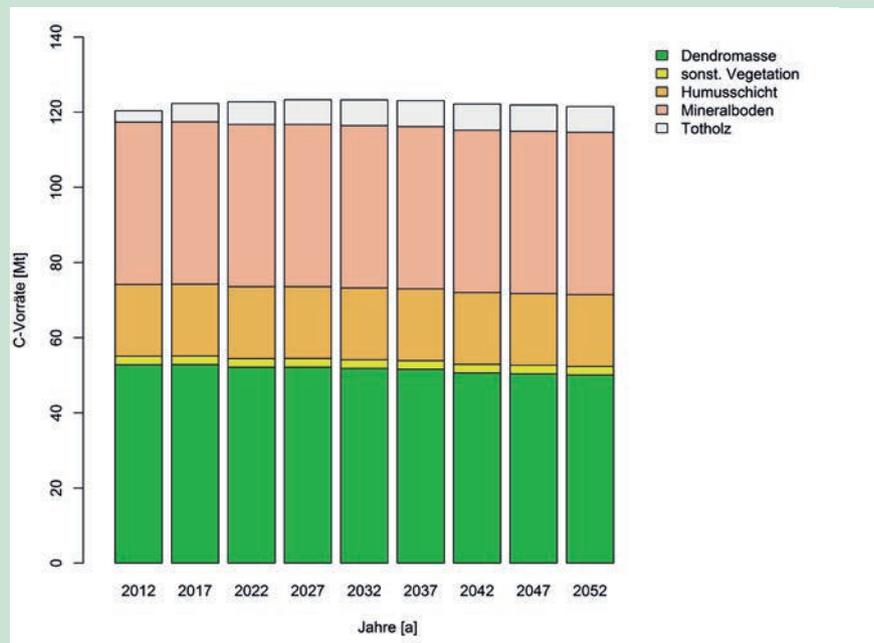
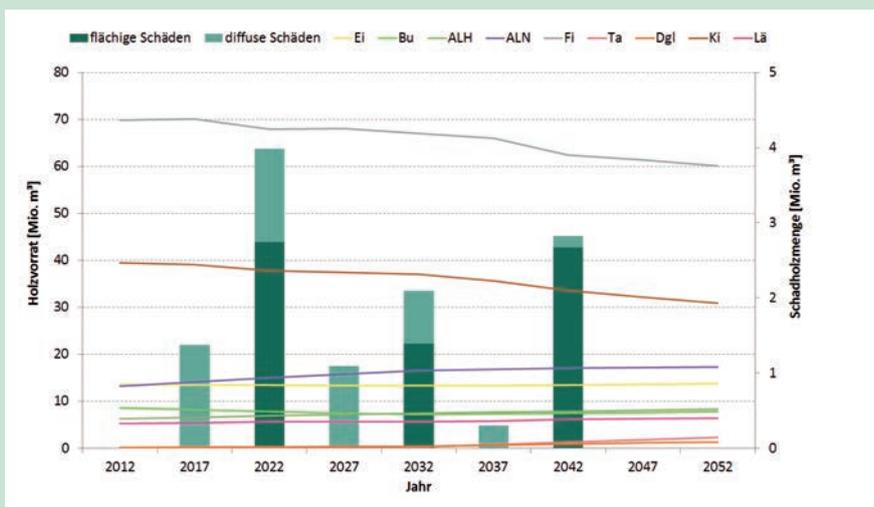


Abbildung 9: Kalamitäts-Szenario 2012-2052: Holzvorräte je Baumartengruppe und Schadholzmenge (oben) und Summe der Speicherpools (unten)

Der Holzvorrat wird dadurch insgesamt um 5 % reduziert, innerhalb der Baumartengruppe Kiefer ist sogar eine Reduktion um 22 % festzustellen. Die Fichte zeigt parallel zum Flächenverlust, dank hoher Hektarvorräte und Zuwächse, nur einen Rückgang im Holzvorrat um 14 %. Das Szenario verzeichnet einen Abfall der Gesamtvorräte, jedoch bleibt die Reduktion, trotz der wiederholten Kalamitäten und der simulierten Abnahme des Hektarvorrates durch diffuse Schadanfälle moderat und liegt innerhalb des Simulationszeitraumes bei etwa 10 %.

In der Summe aller Waldspeicher wird auch im Kalamitäts-Szenario das Niveau der Kohlenstoffspeicherung gehalten (Abbildung 9, unten). Während die Dendromasse durch die Schadereignisse leicht abnimmt, nimmt der Totholzpool durch die Zufuhr von Wurzeln und Nichtderbholz von ausscheidenden Bäumen zu. Die häufige und intensive Anreicherung durch flächigen und diffusen Schadholzanfall führt trotz Abbauvorgängen zu einer Zunahme der Kohlenstoffspeicherung.

Gefährden derartige Kalamitäten den Kohlenstoffspeicher Wald?

- Die z. T. sehr vorratsreichen und zuwachsstarken Fichten- und Kiefern-Forste haben in Bezug auf die Gesamtkohlenstoffspeicherung (innerhalb der simulierten Szenarien) gegenwärtig noch das Potenzial, auch hohe Schadholzmengen mittelfristig zu puffern. Maßgeblich hierfür ist der hohe Flächenanteil an mittelalten Beständen aus Nachkriegsaufforstungen. Allerdings nimmt in den nächsten Jahrzehnten deren Anfälligkeit gegenüber biotischen und abiotischen Schadfaktoren erheblich zu. Dieser Entwicklung muss durch den Waldumbau – geeignete Durchforstungs- und Verjüngungskonzepte – vorgebeugt werden.
- Im Fall von kleinflächigen Störungen, aber auch bei großflächigen Kalamitäten kann davon ausgegangen werden, dass in Sachsen durch Naturverjüngung, Sukzession und künstliche Verjüngungsmaßnahmen die Akkumulation von Biomasse relativ schnell wieder einsetzt und es spätestens mit der Entstehung von geschlossenen Jungwaldstrukturen („Dickungen“) zu keiner weiteren CO₂-Freisetzung mehr kommt. Hierfür ist im Mittel über alle Standortbedingungen und Baumartenzusammensetzungen in der Verjüngung von etwa 10 Jahren auszugehen.
- Allerdings wird nach großflächigen Kalamitäten der Möglichkeitsraum für einen Waldumbau, der auf die dynamischen, standörtlich determinierten Zielzustände gerichtet ist, deutlich verändert. Die gewünschte Entwicklung verlangsamt sich. Auf dem überwiegenden Teil der Kalamitätsflächen in den Berglagen würden sich wieder die Fichte oder Pionierwaldstadien durchsetzen. Die Etablierung einer standortgerechten Baumartenzusammensetzung würde um Jahrzehnte verzögert einsetzen.
- Eine schnellere Freisetzung des Bodenkohlenstoffs durch Aktivierung der Destruenten¹³ kann den Kohlenstoffspeicher Wald reduzieren (BELLAMY ET AL. 2005, SCHINDLBACHER U. KITZLER 2015). Das Potenzial dieser Reduktion ist noch nicht ausreichend belegt, auch vom Wasserangebot abhängig und stark differenziert (JONES ET AL. 2005, DAVIDSON U. JANSSENS 2006, PRIETZEL U. CHRISTOPHEL 2013).
- Der Holzmarkt ist für große Mengen Schadholz nur begrenzt aufnahmefähig bzw. aufnahmebereit. Neben den ökonomischen Verlusten durch einen Preisverfall



kommt es dazu, dass große Mengen Holz in Produkte mit kürzerer Verweildauer fließen bzw. energetisch genutzt werden. Die Klimaschutzwirkung des Systems Wald aber auch des Produktspeichers und potenzielle Substitutionseffekte werden also deutlich reduziert.

- Das geringe Widerstandspotenzial von Fichten- und Kiefernforsten gegenüber großflächig destruktiv wirkenden abiotischen und biotischen Schadfaktoren und ein überwiegend geringes Potenzial zur strukturellen Erneuerung bedingen eine hohe Eintrittswahrscheinlichkeit von Einbrüchen in der Ökosystemdynamik. Diese ist mit temporären Einbrüchen der Senkenleistung des Waldspeichers gleichzusetzen.

¹³ durch ansteigende Bodenatmung bei Freilegung oder Temperaturerhöhung

- In den Urwaldresten Europas sind derartige Einbrüche bisher kaum zu beobachten (PRUŠA 1985, KORPEL 1995, SMEJKAL, BINDIU, VISOIUSMEKAL 1995, VRŠKA ET AL. 2002). Deren Senkenleistung oszilliert in einem relativ geringen Rahmen um ein mittleres Niveau der ökosystemtypischen Nettoprimärproduktion. Das bedeutet aber auch, dass diese nicht beliebig gesteigert

werden kann. Betrachtet man diese Urwaldreste als Referenz und gewisse Orientierung für standortgerechte Kulturwälder, wird damit die Bedeutung der Holznutzung für die Bindung von Kohlenstoff in Holzprodukten mit langer Nutzungsdauer und potenzielle Substitutionseffekte hervorgehoben.

Schlussfolgerungen

Für eine Waldbehandlung mit dem Ziel einer möglichst großen und nachhaltigen Klimaschutzwirkung können anhand der Entwicklung der Kohlenstoffvorräte von 2002 bis 2012 und der Simulationsrechnungen folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

1. Die Kohlenstoffvorräte im sächsischen Wald befinden sich bereits auf einem hohen Niveau. Die **langfristige Sicherung dieser Kohlenstoffvorräte** in den verschiedenen Biomassepools auf diesem Level erfordert eine Risikoprävention gegenüber großflächigen Einbrüchen in der Produktionsdynamik von Fichten- und Kiefernforsten. Dieser dient der früh einsetzende, systematische und planmäßige Umbau zu standortgerechten Kulturwäldern.
2. Die **Freisetzung von organisch gebundenem Kohlenstoff** im Boden (Humus) ist weitgehend zu vermeiden. Darum sind Maßnahmen des Bodenschutzes, wie die Vermeidung von Kahlhieben und von Bodenerosion in Hanglagen konsequent umzusetzen. Der Waldumbau muss relativ früh, mit einem zeitlichen Vorsprung von Jahrzehnten im Verhältnis zur Phase einer hohen bis sehr hohen Anfälligkeit gegenüber destruktiv wirkenden abiotischen und biotischen Schadfaktoren, begonnen werden. Ein solches Vorgehen ist zwingend an die Voraussetzung gebunden, auf einen Zaunschutz der Waldverjüngung weitgehend verzichten zu können, der wegen zu hoher Rot- und Rehwildbestände immer noch notwendig ist. Auch mit Bezug zur Stetigkeit von Wald als Kohlenstoffsenke ist die Jagd zu einer Umweltleistung zu entwickeln.
3. **Moorböden** speichern regional große Mengen organisch gebundenen Kohlenstoffs und sind auch aus diesem Grund konsequent zu schützen.
4. Eine **stetige Holznutzung aus regionalen Ressourcen**, die den Nachhaltigkeitskriterien und einer hohen Wertschöpfung in Holzprodukten mit langer Nutzungsdauer entspricht, ist die beste Möglichkeit,

der Atmosphäre langfristig Kohlendioxid zu entziehen (u. a. WALZ ET AL. 2010). Diese ist eine der wenigen gut steuerbaren und erprobten Möglichkeiten zur wirksamen Sequestrierung von bereits emittiertem CO₂.

5. Die Struktur der Holzproduktion, Holznutzung und Holzverwendung sollte planmäßig zugunsten **von hochwertigen Holzprodukten** mit möglichst langanhaltender Nutzung verbessert werden (Abbildung 10, Vergleich mit Totholz). Die Entwicklung derartiger Produkte ist daher weiter zu fördern (z. B. Holzbau). Die Ursachen von Stammschäden, die die Holzqualität beeinträchtigen und eine bessere Sortierung und Vermarktung verhindern, sind konsequent zu minimieren. Das gilt für das Schälen der Baumrinde durch Rotwild genauso wie für Rindenschäden durch mangelnde Qualität bei der Baumfällung und dem Holztransport bis an die Abfuhrwege.

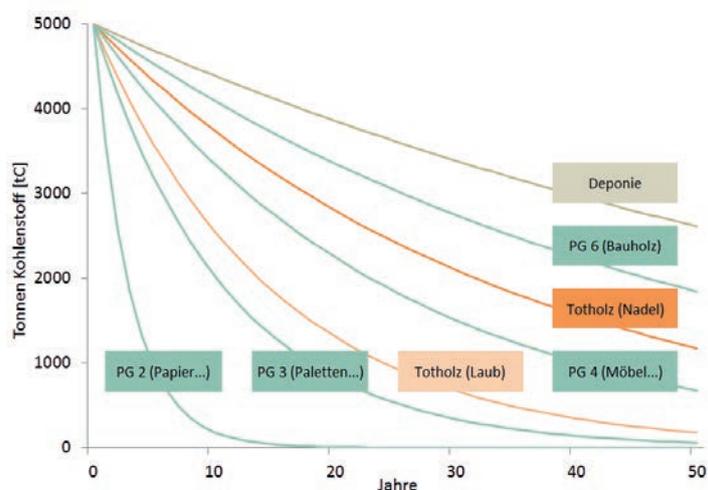


Abbildung 10: Vergleich der Abbauraten von Totholz und versch. Produktgruppen (=PG, fiktiver Startwert: 5000 tC), in Anlehnung an WIRTH ET AL. (2004)

In beiden Fällen treten in den offengelegten Holzkörper Holz zersetzende Pilze ein, die Fäule verursachen. Danach sind diese Stammabschnitte nur noch für Produkte mit kurzer Nutzungsdauer oder für die energetische Nutzung verwertbar.

6. **Nutzungseinschränkungen und Flächenstilllegungen** über das bisherige Maß hinaus sind nicht die geeigneten Mittel, um dem Klimawandel durch CO₂-Bindung entgegenzuwirken. Das Klimaschutzpotenzial des Waldes wird auf diese Weise nur eingeschränkt genutzt. Im Fall von Fichten- und Kiefernforsten würde der in Folge eines Bewirtschaftungsverzichts zu erwartende Einbruch der Nettoprimärproduktion den C-Speicher über einen längeren Zeitraum reduzieren und den Wald zu einer Quelle von Treibhausgas werden lassen. Ein wertvoller Naturrohstoff würde in großen Mengen zu Totholz und der kontinuierlichen, wenn auch langsamen Zersetzung – der Kohlenstofffreisetzung – überlassen, anstatt weiter als Kohlenstoffspeicher zu wirken. Darüber hinaus bleiben Potenziale für die Substitution von fossilen Rohstoffen ungenutzt.
7. Die **hohen Holzvorräte in älteren einschichtigen Nadelholzbeständen** mit einer hohen Anfälligkeit gegenüber den Einwirkungen von abiotischen und biotischen Schadfaktoren sind auch für die Kontinuität der C-Speicher ein hohes Risiko. Eine deutlich früher einsetzende Annäherung der Holznutzung an den laufenden Zuwachs zugunsten eines fließenden Aufbaus von Strukturvielfalt ist für die Risikoprävention essenziell. In diesem Zusammenhang ist die konsequente **Weiterführung des Waldumbauprogramms** unabdingbar.
8. Das **Potenzial für eine höhere Akkumulation von Holzvorrat** setzt eine standortgerechte Baumartenzusammensetzung und die ausgeprägte Stetigkeit von Kulturwäldern mit einer dynamischen inneren Alters- und Raumstruktur voraus. Wiederum ist der Waldumbau der Weg zu einem solchen dynamischen Zielzustand. Für eine Holzverwendung in Holzprodukten mit langer Nutzungsdauer ist die **Sicherung** eines standortgerechten **Nadelbaumanteils** anzustreben. Im Mittelgebirge kommt hierbei neben der Fichte vor allem der Weißtanne und der Europäischen Lärche zunehmend eine Schlüsselfunktion zu.
9. Die **Entwicklung von strukturierten Fichten-Kulturwäldern** mit einem ökologisch noch hinreichenden Anteil von standortgerechten Mischbaumarten entspricht dem hohen Aufkommen von Fichten-Naturverjüngung. Außerhalb der Hoch- und Kammlagen der sächsischen Mittelgebirge, wo die Dominanz der Fichte, wenn auch nicht im gleichaltrigen Reinbestand, zumindest in der folgenden Waldgene-



ration als standortgerecht angesehen werden kann, bewirkt dieses Waldentwicklungsziel auch in den mittleren Berglagen ein Mindestmaß an Risikoprävention. Es ist prinzipiell überall dort ohne weitere Verzögerungen zu initiieren, wo der intensivere Aufbau einer standortgerechten Baumartenzusammensetzung gegenwärtig ausgeschlossen ist. Die Ursache dafür ist überwiegend das inakzeptabel hohe Risiko von Verbiss- und Schälsschäden, gefolgt von der eingeschränkten Verfügbarkeit von geeignetem forstlichem Vermehrungsgut und oft limitierten forstbetrieblichen Arbeitskapazitäten.

10. Im **Tiefland** kommt der **Kiefer** auf speichertrockenen bis speicherdürren Sandböden auch in Zukunft eine entscheidende Bedeutung zu. Die Mischungsanteile von Laubbaumarten sind von großer waldökologischer Bedeutung und vorrangig aus Naturverjüngung zu entwickeln. **Anteile von Douglasie** sollten das Nadelholzangebot auf mindestens mäßig speicherfrischen Sandböden ergänzen.
11. Die Struktur der Waldökosysteme ist für die Menge an Biomasse auf der Fläche entscheidend. Die Erzeugung einer größeren strukturellen Vielfalt erfordert insgesamt einen temporären und moderaten Vorratsabbau. Mit der Entwicklung von strukturreichen Mischwäldern erfolgt eine Konsolidierung der Vorratshöhe, die entscheidend von den dann herrschenden Standortverhältnissen, der Baumartenzusammensetzung und den forstwirtschaftlichen Produktionszielen bestimmt werden wird.

Ländervergleich

Der Pool „Lebende Baumbiomasse“ soll anhand der in Tabelle 4 zusammengefassten Ergebnisse verschiedener Studien einem Ländervergleich unterzogen werden, um die Ergebnisse der vorliegenden Studie einzuordnen. Die Spreitung der Angaben zur C-Speicherung je Hektar in der lebenden Baumbiomasse (ober- und unterirdisch) ist

beträchtlich. Die aktuellen Ergebnisse bewegen sich zwischen 55 (Sachsen-Anhalt, 2007) und 138 (Baden-Württemberg, 2002) Tonnen Kohlenstoff je Hektar. Die Werte für den sächsischen Wald liegen mit 79 tC/ha (2002) und 97 tC/ha (2012) etwa in der Mitte der verglichenen Länderstudien, etwa im Bereich der Thüringer Ergebnisse.

Land	Bezug	Pool	Quelle
	Jahr	Lebende Baumbiomasse je ha	
Sachsen	2002	79	vorliegende Studie
	2012	97	
Thüringen	1993	82	Wirth et al. (2004)
	2012	115	Wenzel et al.(2015)
Niedersachsen	1987	47	Wördehoff et al. (2011)
	2002	66	
	2006	70	
Schleswig-Holstein	1987	59	Wördehoff et al. (2012a)
	2002	74	
	2007	71	
Sachsen-Anhalt	2007	55	Wördehoff et al. 2012b
Bayern	1971	97 ¹⁴	Böswald et al. 1996
	1987	111 ¹⁴	
	2002	134	Klein und Schulz (2012)
Baden-Württemberg	2002	138	Pistorius et al. 2007
Schweiz	2000	125	Taverna et al 2007
Deutschland	2002	111 ¹⁵	Oemichen et al. (2011)
	2008	114	
	2012	118 ¹⁵	UBA 2014
Europa (ohne Russland)	2010	64	FAO 2010
Welt	2010	72	FAO 2010

Tabelle 5: Ländervergleich des Pools Baumbiomasse

¹⁴ korrigiert von Klein und Schulz (2012)

¹⁵ abgeleitet aus Veränderungswerten

Quellen

1. **Albrecht, A. (2009):** Sturmschadensanalysen langfristiger waldwachstumskundlicher Versuchsdaten in Baden-Württemberg. – Dissertation Universität Freiburg.
2. **Albrecht, A.; Schindler, D.; Grebhan, K.; Kohnle, U.; Mayer, H. (2008):** Klimawandel und Stürme über Europa – eine Literaturübersicht FVA einblick+ 01/08: 20–23. https://www.waldwissen.net/wald/klima/wandel_co2/fva_sturm/index_DE
3. **Becher, R.; Schulz, C. (2007):** Holz, ein Schlüssel zur Problemlösung. LWF aktuell 60, S. 16–17. https://www.waldwissen.net/wald/klima/lwf_holz_klimaschutz/index_DE
4. **Bellamy, P. H.; Loveland, P. J.; Bradley R. I.; Lark, R. M.; Kirk, G. J. D. (2005):** Carbon losses from all soils across England and Wales 1978–2003. *Nature* 437, 245–248. <https://www.nature.com/articles/nature04038>
5. **Davidson, E. A.; Janssens, I. A. (2006):** Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature* 440, 165. <https://www.nature.com/articles/nature04514>
6. **FAO (2010):** Global Forest Resources Assessment 2010, Main report, FAO Forestry paper 163, 340 S.
7. **Hanewinkel, M. (2008):** Risiko und Klimawandel. FVA einblick+ 01/08: 16–19.
8. **Hartebrodt, C. (2008):** Die Rolle des Waldes im CO₂-Haushalt des Landes Baden-Württemberg. FVA einblick+ 01/08: 54–57. https://www.waldwissen.net/wald/klima/wandel_co2/fva_co2_wald/index_DE
9. **Jones, C.; McConnell, C.; Coleman, K.; Cox, P.; Falloon, P.; Jenkinson, D.; Powlson, D. (2005):** Global climate change and soil carbon stocks; predictions from two contrasting models for the turnover of organic carbon in soil. *Global Change Biology* 11(1), 154–166.
10. **Korpe, Š. (1995):** Die Urwälder der Westkarpaten. Stuttgart Jena New York. 310 S.
11. **Klein, D. und Schulz, C. (2012):** Die Kohlenstoffbilanz der Bayerischen Forst- und Holzwirtschaft. Freising.
12. **LAF (1999):** Waldumbau auf Tieflands- und Mittelgebirgsstandorten in Sachsen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten, Band 19. Graupa: 67 S.
13. **Mund, M.; Frischbier, N.; Profft, I.; Raacke, J.; Richter, F. und Ammer, C. (2015):** Klimaschutzwirkung des Wald- und Holzsektors: Schutz- und Nutzungsszenarien für drei Modellregionen in Thüringen, BfN-Skripten 396, Bonn-B. Godesberg, 168 S.
14. **Oehmichen, K.; Demant, B.; Dunger, K.; Grüneberg, E.; Hennig, P.; Kroiher, F.; Neubauer, M.; Polley, H.; Riedel, T.; Rock, J.; Schwitzgebel, F.; Stümer, W.; Wellbrock, N.; Ziche, D. und Bolte, A. (2011):** Inventurstudie 2008 und Treibhausgasinventar Wald. Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI). Landbauforschung. Sonderheft 343.
15. **Pistorius, T.; Zell, J. und Hartebrodt, C. (2007):** Untersuchungen zur Rolle des Waldes und der Forstwirtschaft im Kohlenstoffhaushalt des Landes Baden-Württemberg. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Institut für Forstökonomie.
16. **Prietz, J. und Christophel, D. (2013):** Humusschwund in Waldböden der Alpen. LWF Aktuell 97, 44–47.
17. **Pruša, E. (1985):** Die böhmischen und mährischen Urwälder. Praha. 578 S.
18. **Schadauer, K. (2012):** Hilft die Holznutzung dem Klima? BFW-Praxisinformation 28, 3 – 4 https://www.waldwissen.net/wald/klima/wandel_co2/bfw_hilft_holznutzung/index_DE
19. **Schindlbacher, A. und Kitzler, B. (2015):** Bodenerwärmung – Klimamanipulationsversuch Achenkirch. BFW-Praxisinformation 39: 33 – 35 https://www.waldwissen.net/wald/klima/wandel_co2/bfw_achenkirch/index_DE
20. **Smejkal, G. M., Bindiu, C., Visoiu-Smejkal, D. (1995):** Banater Urwälder. Temeswar. 198 S.
21. **Schopf, A.; Baier, P. und Pennerstorfer, J. (2013):** Modellbasierte Abschätzung der Prädisposition fichtenreicher Waldbestände gegen biotische Kalamitäten insbesondere durch rindenbrütende Borkenkäfer. Projektendbericht BOKU Wien.
22. **Schubert, A. (2010):** Organisch gebundener Kohlenstoff im Waldboden. LWF aktuell 78, S. 11 – 14.
23. **Schulz, C.; Kölling, C. (2007):** Anpassung und Milderung. LWF aktuell 60, S. 18–20.
24. **SMUL – Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (2005):** Klimawandel in Sachsen, Sachstand und Ausblick. 103 S.
25. **SMUL – Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (2019):** Weitere Erleichterungen für Forst- und Holzwirtschaft, Pressemitteilung des SMUL vom 30.08.2019. <https://medienservice.sachsen.de/medien/news/227989>
26. **Thünen-Institut, Dritte Bundeswaldinventur – Ergebnisdatenbank, <https://bwi.info>, Aufruf am: 20.03.2019, Auftragskürzel: 82Z1JL_L248of_2012, Archivierungsdatum: 2014-7-4 16:58:45.227, Überschrift: Anteil an der Stammzahl [%] nach Stammschaden und Baumaltersklasse, Filter: Baumartengruppe=Fichte; Land=Sachsen; Jahr=2012 ;**
27. **Vrška, T. et al. (2002):** Developmental Dynamics of virgin forest reserves in the Czech Republic. I/II. Praha, 213 S. / 214 S.
28. **Walz, A.; Taverna, R.; Stöckli, V. (2010):** Holz nutzen ist wirksamer als Vorräte anhäufen. Effektiver Klimaschutz durch den Wald. *Wald Holz* 91, 4: 37–40. https://www.waldwissen.net/wald/klima/wandel_co2/wsl_effektiver_klimaschutz/index_DE
29. **Wellbrock, N.; Grüneberg, E.; Stümer, W.; Rüter, S.; Ziche, D.; Dunger K. und Bolte. A. (2014):** Wälder in Deutschland speichern Kohlenstoff. *AFZ-Der Wald*, 18/2014.
30. **Wirth, C.; Schulze, E.-D.; Schwalbe, G.; Tomczyk, S.; Weber, G. und Weller, E. (2004):** Dynamik der Kohlenstoffvorräte in den Wäldern Thüringens. *Mitteilungen der Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei*, Band 23/2004. Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei, Gotha.
31. **Wördehoff, R.; Spellmann, H.; Evers, J. und Nagel, J. (2011):** Kohlenstoffstudie Forst und Holz Niedersachsen. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.). Göttingen. 92 S.

**Herausgeber:**

Staatsbetrieb Sachsenforst
Bonnewitzer Straße 34
01796 Pirna/OT Graupa
Telefon: +49 3501 542-0
Telefax: +49 3501 542-213
E-Mail: poststelle.sbs@smul.sachsen.de
Internet: www.sachsenforst.de

Der Staatsbetrieb Sachsenforst ist eine nachgeordnete Behörde des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft.

Redaktion:

Staatsbetrieb Sachsenforst, Kompetenzzentrum für Wald und Forstwirtschaft
Referat Waldentwicklung, Waldschutz

Gestaltung und Satz:

Initial Werbung Et Verlag

Fotos:

Titelbild - Archiv Sachsenforst (li.), René Klages (Mi.), catkin von pixabay.com.jpg (re.);
Thomas Rother (S. 1), Archiv Sachsenforst (S. 3), Thilo Schindler (S. 12 u. 14)

Druck:

addprint AG

Redaktionsschluss:

4. September 2019

Auflage:

500 Exemplare (1. Auflage)

Bezug:

www.publikationen.sachsen.de

Diese Veröffentlichung wird finanziert aus Steuermitteln auf der Grundlage des von den Abgeordneten des Sächsischen Landtags beschlossenen Haushalts.

Verteilerhinweis:

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von politischen Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.