

Waldzustand in Deutschland – Ergebnisse der nationalen Walderhebungen

Andreas Bolte

Zusammenfassung

Mit den nationalen Walderhebungen Bundeswaldinventur (BWI), Bodenzustandserhebung (BZE), Waldzustandserhebungen (WZE) und Intensives Forstliches Umweltmonitoring (Level II) lassen sich der Waldzustand und seine Entwicklung flächenrepräsentativ beurteilen. Die Waldschäden insbesondere in Fichtenbeständen verminderten zwischen 2017 und 2022 die Bestandes- und Kohlenstoffvorräte. Damit wurden der Wald und die nachgelagerte Holznutzung nach internationalen Berechnungsregeln der Klimaberichterstattung zeitweise eine Nettoquelle für Kohlendioxid. Projektionen zur weiteren Emissionsentwicklung im Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) lassen Zweifel aufkommen, dass die Klimaschutzziele 2030, 2040 und 2045 erreicht werden. Die Schäden der letzten Jahre haben in der Waldstruktur und -entwicklung (2012 bis 2022) deutliche Spuren hinterlassen. Die Kiefer hat die Fichte als häufigste Baumart abgelöst, Buche und Eiche haben Anteile gewonnen. Die Fläche und das Alter der Wälder haben zugenommen, allerdings auch der Anteil der Jungbestandsflächen. Lösungen zur Anpassung der Wälder bietet die Umgestaltung risikoreicher Wälder. Eine deutliche Steigerung beim Umbau gefährdeter Bestände mit Fichte, aber gebietsweise auch Buche, ist erforderlich (Ziel: 100 000 ha jährlich). Eine Entwicklung und Erprobung alternativer Managementverfahren in Waldreallaboren bieten Optionen, Wälder in enger Zusammenarbeit von Wissenschaft, Praxis und Gesellschaft zukünftig zu entwickeln.

Summary

Forest condition in Germany – Results of the national forest surveys

The national forest surveys – the National Forest Inventory (BWI), the Forest Soil Inventory (BZE), the Crown Condition Surveys (WZE), and Intensive Forest Monitoring (Level II) – allow a representative assessment of forest condition and its development. Between 2017 and 2022, forest damage, particularly in Norway spruce stands, reduced growing stock and its carbon stocks. As a result, forests and harvested wood products temporarily became a net source of carbon dioxide, according to international greenhouse gas reporting standards. Projections for future emissions in the land use, land-use change, and forest sector (LULUCF) raise doubts about the possibility of achieving the climate targets for 2030, 2040, and 2045. The forest damage of recent years left a clear imprint on forest structure and development between 2012 and 2022: Scots pine has replaced Norway spruce as the most abundant tree species, while European beech and oak species have increased their share of forest area. The area and age of forests have increased, as has the proportion of young stands. The transformation of high-risk forest stands offers an adaptation solution. However, a significant increase in the transformation of vulnerable stands with Norway spruce, and in some areas also with beech, is needed (target: 100,000 hectares annually). Developing and testing alternative management methods in forest living labs offers options for developing forests in the future through close collaboration between research, forest management practice, and society.

Der Beitrag basiert auf einem von dem Autor überarbeiteten Transkript seines Vortrags vom 24. März 2026 in der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

✉ Prof. Dr. Andreas Bolte, Thünen-Institut für Waldökosysteme, Alfred-Möller-Straße 1, Haus 41/42, 16225 Eberswalde; andreas.bolte@thuenen.de

Einführung

Der Zustand und die Entwicklung der Wälder in Deutschland lassen sich anhand der nationalen Walderhebungen nach Bundeswaldgesetz § 41 a repräsentativ beurteilen. Zu den gesetzlich begründeten Walderhebungen gehören die bundesweiten Stichprobeninventuren Bundeswaldinventur (BWI), Kohlenstoffinventur (CI), Waldzustandserhebung (WZE), Bodenzustandserhebung (BZE) sowie das Intensive Forstliche Umweltmonitoring (ForUm, Level II) mit seiner waldökosystemaren Beobachtung in repräsentativ ausgewählten Wäldern Deutschlands (Tab. 1).

Bundes- und Ländereinrichtungen arbeiten bei den Walderhebungen eng zusammen. Forstliche Ressortforschungseinrichtungen der Länder erheben in der Regel die Daten und das Thünen-Institut für Waldökosysteme wertet diese im Auftrag des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat (BMLEH) aus, stellt die

bundesweiten Daten zentral bereit und berichtet im nationalen und internationalen Rahmen. Auf Basis dieser Daten wird der Waldzustand im Folgenden aus drei Blickwinkeln beleuchtet, (1) aus der Sicht auf die aktuellen Waldschäden und deren Wirkung auf die Klimaschutzfunktion des Waldes, (2) aus der Sicht auf die Waldstruktur und Walddynamik im laufenden Klimawandel und (3) mit dem Blick auf mögliche Lösungen zur Verbesserung des Zustandes und der Entwicklung der Wälder in Deutschland.

Waldschäden und Klimaschutzfunktion der Wälder Deutschlands

Nach der öffentlich geführten Diskussion über großflächige Waldschäden (»Waldsterben«) und ihre Ursachen wie Säureeinträge, Eutrophierung, Ozonwirkung und Witterungseinflüsse in den 1980er Jahren (z. B. Schütt 1984, Bucher 1984, Ulrich 1986) bestimmen spätestens seit den extrem

Tab. 1. Gesetzlich verankerte Walderhebungen laut Bundeswaldgesetz (BWaldG § 41 a) und deren Gliederung in nationale Waldinventuren und das forstliche Umweltmonitoring; C-Inventur (CI): Kohlenstoffinventur in der Mitte der Zehnjahresperiode zwischen den BWI-Erhebungen; HBI: Harmonisierte Bestandesinventur mit festen Probekreisen (konform zur BWI).

	Waldinventuren		Forstliches Umweltmonitoring	
	Bundeswald-/ C-Inventur (BWI/CI)	Bodenzustands- erhebung (BZE)	Waldzustands- erhebung (WZE)	Int. Forstliches Umweltmonitoring (Level II)
Abdeckung	Deutschlandweit (4×, 1987, 2002, 2012, 2022; CI-Un- terst.: 2007, 2017)	Deutschlandweit (2×, 1992, 2006, neu ab 2024)	Deutschland- weit (jährlich seit 1984/1990)	Deutschlandweit (seit 1995)
Raster (km)	2 × 2 bis 4 × 4	8 × 8	16 × 16	Repräsentative Fallstudien
Netz	Eigenes Netz außer BY, BB (dort zusam- men mit BZE)	Kombiniert mit WZE	Kombiniert mit BZE	Kein Netz
Punkteanzahl	> 80 000	ca. 1800	410	68
Hauptsächliche Zielaussage	Waldverhältnisse, Produktionsmöglich- keiten,Treibhausgas- berichterstattung	Boden- und Ernährungszustand, Treibhausgasbericht- erstattung	Kronenzustand (Bestandesvitalität), Absterberaten und deren Gründe	Prozesse des Energie-, Stoff-, Wasserhaushalts (Luftverunreinigun- gen, Klimawandel)
Wesentliche Instrumente	Umfassende Feld- aufnahmen (inkl. Verjüngung, Totholz, Waldlebensraum- typen)	Umfassende Boden- inventur, Nadel-/ Blattanalysen, Vege- tationsaufnahmen, HBI: BWI-konforme Bestandesinventur	Visuelle Kronen- ansprache	Kontinuierliche bzw. zeitlich hochaufge- löste Messung von Flüssen (Waldöko- system-Beobach- tung)

heißen und trockenen Jahren 2018 bis 2020 wieder vorwiegend absterbende Fichtenbestände in Mittelgebirgen Zentral- und Westdeutschlands das Bild von Wäldern in der Öffentlichkeit. Nach der Veröffentlichung der Ergebnisse der vierten Bundeswaldinventur (BWI 2022) im Oktober 2024 (BMEL 2024) stieß der Befund, dass die Wälder, Waldböden und der Holzproduktebereich in Deutschland seit dem Jahr 2017 mehr Kohlendioxid (CO₂) abgegeben als eingebunden haben, auf intensive Reaktionen der öffentlichen Medien. Eine prägende Schlagzeile im SPIEGEL hierzu war »Dein Feind, der Baum. Warum der deutsche Wald jetzt zur CO₂-Schleuder wird«¹. In den letzten beiden Jahren hat die Diskussion um die abnehmende Klimaschutzleistung der Wälder auch andere Länder Europas erfasst und bezieht sich mittlerweile auf die ganze nördliche Hemisphäre.² Daher lohnt ein genauerer Blick auf die Treibhausgasbilanz der Wälder und der nachgelagerten Holznutzung in Deutschland.

In der (inter)nationalen Treibhausgas-Berichterstattung (Klimarahmenkonvention, Pariser Klimaabkommen / Post-Kyoto, EU-Klimaschutzverordnungen, Bundesklimaschutzgesetz) gehören Wälder, ihre Bewirtschaftung sowie der Holzprodukte-Pool zum LULUCF-Sektor (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft, engl. Land Use, Land-Use Change and Forestry). Die Bilanz der Netto-Treibhausgasemissionen seit 1990 (Abb. 1) zeigt, dass auf der Quellenseite die Hauptemission von CO₂ aus der (i. d. R. landwirtschaftlichen) Nutzung organischer Böden auf (ehemaligen) Moorstandorten stammt, während die Biomasse der Wälder als wichtigste Senke für CO₂ über viele Jahrzehnte die Treibhausgasbilanz mehr oder weniger ausgeglichen hat. Nach den Regularien des IPCC, unter denen die Bilanzen (weltweit) erstellt werden (IPCC 2006), sind Substitutionseffekte einer Waldnutzung nicht separat

ausgewiesen. Wird das geerntete Holz als Ersatz fossiler Brennstoffe verbrannt oder dazu verwendet, in der Herstellung energieintensive Materialien zu ersetzen, kann dies die Emission z. B. im Sektor Energie senken. Diese Emissionsminderung wird dann aber nicht im LULUCF-Sektor berücksichtigt, um Doppelanrechnungen zu vermeiden. Dies ist bei den dargestellten Zahlen und den darauf basierenden Aussagen zu beachten.

Nach der gemäß dieser Methodik erstellten Bilanzierung kam es 2017 zu einer Umkehr und der Wald ist von einer Nettosenke zu einer Nettoquelle von CO₂ geworden (inkl. umgerechneter CO₂-Äquivalente anderer Treibhausgase wie z. B. Methan und Lachgas). Zwischen 2017 und 2022 wurden laut den Ergebnissen der vierten Bundeswaldinventur in Deutschland durch Dürre, Stürme und Schädlingsbefall auf ca. 2 Millionen Hektar Wälder geschädigt, was etwa 19 % der Waldfläche entspricht (BMEL 2024, Bolte et al. 2025). Besonders ab 2018 führten drei trockene Jahre zu massiven Schäden, vor allem in Fichtenbeständen. Zwischen den Jahren 2018 und 2025 sind auf rund 712 000 Hektar Wälder flächendeckend abgestorben und müssen wiederbewaldet werden (FNEWs³, Thünen-Institut 2026a). Durch sinkende Absterberaten hat die Quellenfunktion des Waldes für CO₂ jedoch in den letzten beiden Jahren deutlich abgenommen, und man geht davon aus, dass die Wälder 2025 wieder zu einer CO₂-Senke geworden sind (UBA 2026).

Waldböden hatten in den Zeiten verstärkter Waldschäden eine besondere Bedeutung als temporärer Zwischenspeicher für organischen Kohlenstoff und damit als Netto-CO₂-Senke. Zumindest in den ersten Schadjahren 2018 bis 2022 hat der Boden mit seinen Komponenten Mineralboden, Auflagehumus und Streu als Kohlenstoffpuffer gewirkt und die Kohlenstoffverluste der Baumbiomasse (Netto-CO₂-Quelle) teilweise ausgeglichen. Bei den vielfach abgestorbenen Fichten (»Dürrständen«) sind nicht nur die Rinde, sondern auch das Feinreisig und sämtliche Nadeln abgefallen, sodass die Waldböden allein mit der vier- bis fünffachen Menge an Nadelstreu gegenüber intakten Fichtenbeständen versorgt

1 SPIEGEL Wissenschaft, Beitrag von Julia Koch, 10.10.2024; <https://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/deutscher-wald-kann-seine-funktion-als-klimaretter-nicht-mehr-erfuellen-dein-feind-der-baum-a-c624d22a-8691-4863-8297-9a0c6a9057f1> [abgerufen 31.03.2026].

2 Northern hemisphere forests have shifted from carbon sinks to carbon emitters. ESA Climate Office, 02.06.2025; <https://climate.esa.int/en/news-events/Forests-turn-from-carbon-sinks-to-emitters/> [abgerufen 31.03.2026].

3 Fernerkundungsbasiertes Nationales Erfassungssystem Waldschäden 2.0 (FNEWs 2.0), Geoportal zu Waldschäden, Thünen-Institut 2026a; <https://www.fnews-wald.de/> [abgerufen 13.06.2026].

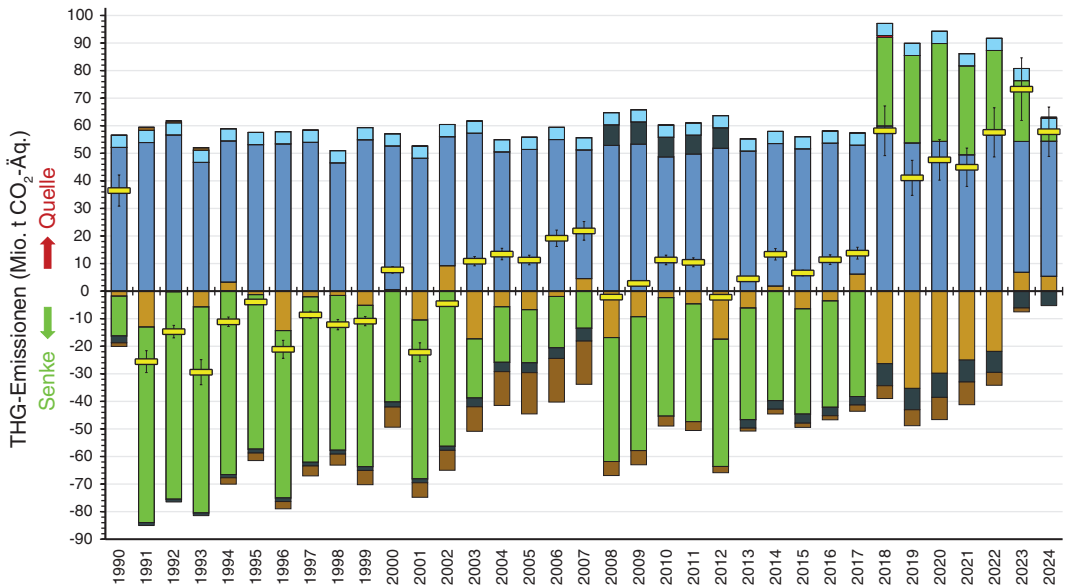


Abb. 1. Netto-Treibhausgasemissionen (in Millionen Tonnen CO₂-Äq.) aus dem deutschen LULUCF-Sektor 1990–2024; ■ Holzprodukte; ■ tote organische Substanz; ■ Biomasse; ■ mineralische Böden; ■ organische Böden; ■ Stillgewässer; ■ Moorfeuer; ■ Waldbrände; ■ Summe LULUCF. – Eigene Darstellung auf Basis von Daten aus dem Nationalen Inventarbericht (NID) 2026 (UBA 2026).

worden sind. Dieser enorme Schub hat sich im Boden angesammelt und ist dort verarbeitet worden. In Teilen ist er dabei nach der mikrobiellen Umsetzung, insbesondere durch die Erwärmung, in Form von CO₂ wieder in die Atmosphäre gelangt. Neben der vorübergehenden Senkenfunktion des Waldbodens ist auch bei Totholz und den Holzprodukten durch Vorratsaufbau in den Jahren 2018–2022 eine verstärkte CO₂-Senke zu erkennen (Abb. 1).

Die Projektion der Treibhausgasemissionen bis 2050 zeigt einen Fächer von Szenarien, je nach Einschätzung der Häufigkeit und Schärfe von Extremereignissen wie Hitze, Trockenheit, Stürme und begleitender Schaderregerbefall (Abb. 2, Wehnmann et al. 2026), die die bestimmenden Einflüsse in der Zukunft sein werden. Neben der Frage, wie häufig und stark Extremereignisse in der Zukunft sein werden, ist daher auch die Frage entscheidend, wie gut wir unsere Wälder zukünftig an Extremereignisse anpassen können. Eine zumindest klimapolitisch schlechte Botschaft ist, dass die Klimaschutzziele im LULUCF-Sektor 2030, 2040 und 2045 zumindest nach dieser Projektion selbst ohne verschärfte Extremereignisse nicht zu erreichen sein werden.

Bisher getroffene Maßnahmen z. B. im Rahmen des Aktionsprogramms Natürlicher Klimaschutz der Bundesregierung sind danach nicht ausreichend. Daher hat die Bundesregierung im Frühjahr 2026 ein neues Klimaschutzprogramm vorgestellt (BMUKN 2026), das im Bereich LULUCF Schwerpunkte im Bereich Wald/Holz (z. B. Waldumbau, Ausweitung der Waldfläche, Förderung stofflicher Holzverwendung) und Moore (Wiedervernässung) setzt und dabei wesentliche Vorschläge des Wissenschaftlichen Beirats für Natürlichen Klimaschutz aus einem umfassenden Gutachten zu natürlichem Klimaschutz aufnimmt (Herold et al. 2025).

Die Waldschäden seit 2018 haben insbesondere die Fichte getroffen. Von 1990 bis 2018 lag ihre jährliche Absterberate unter einem Prozent, ab 2019 ist sie sprunghaft gestiegen (Abb. 3). Die Extremwerte von 4,2 bzw. 4,4 % erscheinen zunächst nicht als besonders hoch, aber 4 % Absterberate kontinuierlich über 25 Jahre würde bedeuten, dass der Fichtenbestand auf den Erhebungspunkten der Waldzustandserhebung verschwinden würde und wegen der Flächenrepräsentanz der WZE-Punkte annähernd auch in ganz Deutschland. Auch bei den anderen

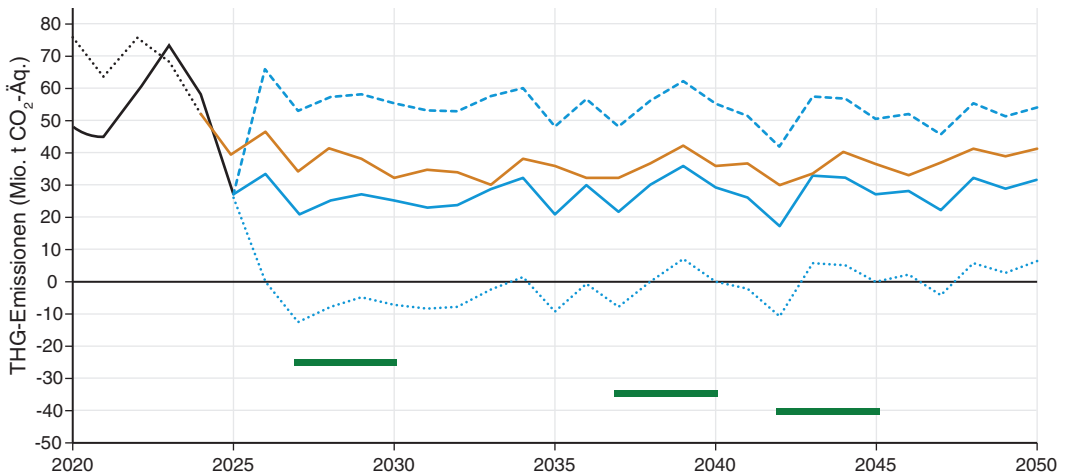


Abb. 2. Projektionen der Treibhausgasemissionen (in Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten) aus dem deutschen LULUCF-Sektor bis 2050. — MMS; - - - MMS (häufige Extremwetterereignisse); MMS (keine Extremwetterereignisse); — MMS 2025; — historisch inkl. Emissionsdaten 2025; historisch; ■ Ziele (Klimaschutzgesetz); MMS: »mit Maßnahmen-Szenario« des Projektionsberichts 2026. – Wehmann et al. (2026), Projektionen Thünen-Institut, 2026.

Baumarten wie Eiche, Kiefer und Buche haben die Absterberaten seit 2019 zum Teil erheblich zugenommen.

Nach der Bundeswaldinventur 2022 und dem fernerkundungsbasierten Erfassungssystem der nationalen Waldschäden (FNEWs, seit

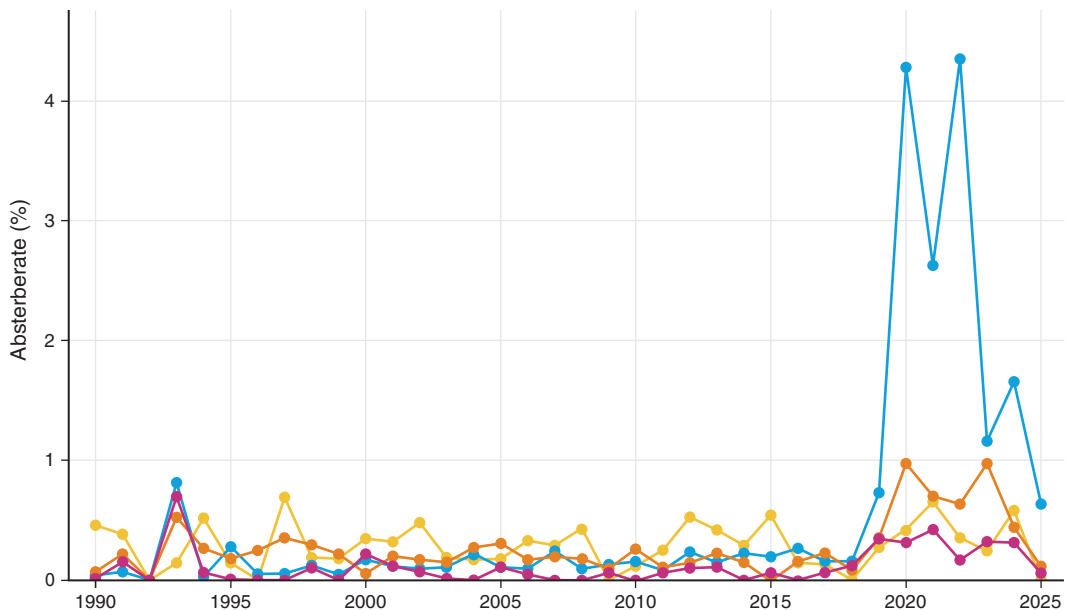


Abb. 3. Absterberaten (in Prozent) für Fichte (●, *Picea abies*), Eiche (●, *Quercus petraea*, *Qu. robur*), Kiefer (●, *Pinus sylvestris*) und Buche (●, *Fagus sylvatica*) in Wäldern Deutschlands 1990–2025, nach Daten aus den Waldzustandserhebungen. – Thünen-Institut (2026b).

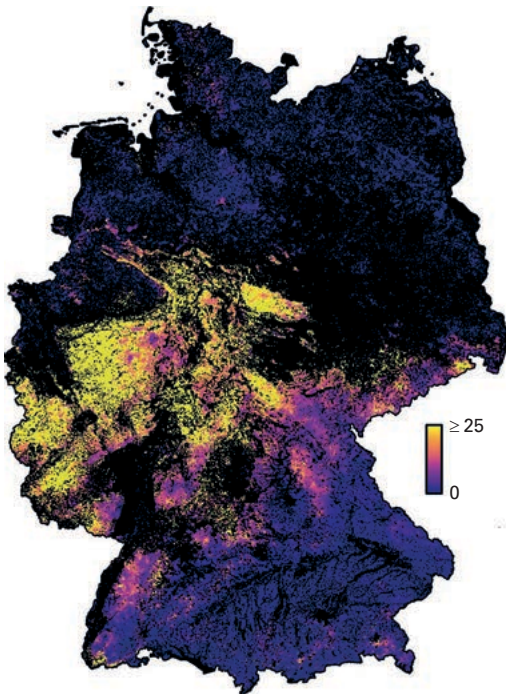


Abb. 4. Absterberate von Fichte (*Picea abies*) in Deutschland 2022 (■ fichtenfreie Flächen). – © Knapp et al. (2024).

2018), das Verluste der Kronenschirmfläche von $> 0,1$ Hektar erfasst, ergeben sich von 2012 bis 2022 Schäden von ca. 2 Millionen Hektar, davon sind rund 712 000 Hektar wiederzubewalden. Der Fichtenvorrat nahm 2012 bis 2022 um 18,2 % (197 Mio. m^3) ab. 2018 bis 2022 lagen die regionalen Schwerpunkte der Absterberaten im Harz und im Sauerland (Abb. 4, Knapp et al. 2024), seit 2022 haben sie sich nach Süden Richtung Hunsrück und Thüringer Wald erweitert (FNEWs, <https://wo-apps.thuenen.de/fnewsvis/showmap>). Dass Süddeutschland bisher so gut wie nicht betroffen war, liegt vor allem daran, dass es dort auch in den Dürrejahre mehr Niederschläge als in den anderen Bereichen gab. In Bayern und Baden-Württemberg stehen 65 % der aktuellen Fichtenvorräte (641 Mio. m^3 Vorrat). In diesen Regionen muss der Waldschutz verstärkt werden, in einer Risikoanalyse müssen die gefährdeten Regionen erkannt werden und die Wälder müssen zügig in Mischwälder umgebaut werden. Dort, wo Wälder bereits abgestorben sind, müssen sie flächig wiederbewaldet werden. Die Anpassung dieser

Fichtenwälder ist entscheidend für die Frage, ob Wälder auch künftig eine Kohlenstoffsenke sein werden.

Waldstruktur und Walddynamik

Der Aufbau und die Entwicklung der Wälder in Deutschland lässt sich anhand der Ergebnisse der Bundeswaldinventur (BWI 2012 / 2022) und der Kohlenstoffinventur (CI 2017) als Zwischeninventur auf einer Unterstichprobe der BWI beschreiben. Wichtige Kernergebnisse sind, dass trotz der Waldschäden die Waldfläche in Deutschland seit 2012 leicht zugenommen hat, die Wälder älter geworden sind, die Holzvorräte (lebender Bestand) seit 2017 abgenommen haben und der Totholzvorrat im Jahr 2022 ein Rekordniveau erreicht hat (Näheres s. Info-Kasten).

Weitere ausgewählte Daten zum Holzzuwachs und der Entwicklung der Jungbestockung zeigen schlaglichtartig wichtige Aspekte der Walddynamik der letzten Jahre. So ist der Derbholzzuwachs von 2012 bis 2022 im Vergleich zur vorherigen Periode (2002–2012) um 16 % gesunken, im Vergleich zur Zwischenerhebung 2012–2017 sogar um 30 % (BMEL 2024). Nadelbaumarten sind nach wie vor am zuwachsstärksten, wobei Fichte, Douglasie und Lärche diejenigen Arten waren, die die höchsten Zuwachsverluste hatten, während der Zuwachs z.B. von Buche und Eiche deutlich geringer abgenommen hat (Abb. 5).

Für die Wälder der Zukunft ist die Jungbestandsfläche (< 4 m Baumhöhe) eine wichtige Kenngröße. Sie ist auf 3,1 Millionen Hektar gewachsen (28 % Waldflächenanteil); seit 2012 sind 360 000 Hektar Jungbestandsfläche dazugekommen mit allen Baumarten außer Esche und Birke (Abb. 6, Bolte et al. 2025). Auch die Fichte hat sich auf vielen Schadflächen wieder verjüngt, auch wenn dies in den Schadregionen möglicherweise nicht unbedingt erwünscht ist. Der durchschnittliche Anstieg der Jungbestandsfläche zwischen 2012 und 2022 lag bei 36 000 Hektar pro Jahr (Bolte et al. 2025).

Mögliche Lösungen für die Zukunft – Waldumbau und Waldreallabore

Aus den Daten der Bundeswaldinventur (BWI) lassen sich durch die Verknüpfung mit vorliegenden Standortdaten die Lage und Verteilung von

Info-Kasten: Eckdaten der vierten Bundeswaldinventur (BWI 2022, BMEL 2024):

- Die Waldfläche in Deutschland ist zwischen 2012 und 2022 leicht gestiegen, auf insgesamt 11,5 Millionen Hektar.
- Viele Schadflächen wurden natürlich oder durch menschlichen Einfluss durch Saat oder Pflanzung wiederbewaldet.
- Der Privatwald dominiert weiterhin (48 % Flächenanteil), gefolgt vom Landeswald (29 %), Körperschaftswald (20 %) und Bundeswald (3 %).
- Durch die Schäden in Fichtenwäldern ist 2022 die Kiefer mit 22 % Anteil die häufigste Baumart geworden, gefolgt von Fichte (21 %), Buche (17 %) und Eiche (12 %).
- Die Holzvorräte (3,67 Mio. m³, 335 m³/ha) sind gegenüber der Bundeswaldinventur

2012 leicht angestiegen, gegenüber der dazwischenliegenden Kohlenstoffinventur 2017 jedoch niedriger geworden, was letztlich zu der Umkehrung der Rolle der Wälder von einer Kohlenstoffsenke zu einer Kohlenstoffquelle geführt hat (vgl. Abb. 1).

- Die Wälder sind älter geworden. Ihre Altersstruktur hat sich in zwei Schwerpunkte aufgeteilt, von der Mitte in den älteren Bereich (82 Jahre) sowie in einen Bereich, der wiederbewaldet wurde (5 Jahre seit 2012). Sie sind struktureicher (mehr Schichten) und gemischer (mehr Baumarten) geworden und der Totholzvorrat hat aufgrund der Waldschäden, die 2022 noch in den Wäldern zu sehen waren, ein Rekordniveau erreicht (29,4 m³/ha).

Risikobeständen abschätzen (Bolte et al. 2021). Für Bestände mit Fichte als führende Baumart zeigt die Abb. 7a als Risikobestände in Rot alle BWI-Punkte (Trakte), die unter 600 m liegen. Hier gehen viele Praktiker nach den Erfahrungen der letzten Trockenjahre davon aus, dass sich diese Bestände bei Extremereignissen wie Hitze und Trockenheit nicht effizient gegen existenzbedrohenden Borkenkäferbefall halten lassen. Für Flächen mit führender Buche (Abb. 7b) ließen

sich auf trockenen und sehr trockenen Standorten in den Extremjahren z.T. starke Laubverluste und Kronenschäden erkennen. Daher wurden Buchenstandorte mit einer nutzbaren Wasserspeicherkapazität von weniger als 90 mm auf 1 m Bodentiefe ebenfalls als Risikostandorte klassifiziert (in Rot). Tabelle 2 zeigt den Umfang der Risikoflächen und ihren Vorrat in ganz Deutschland (Bolte et al. 2021). Aus den Zahlen ergab sich zum Zeitpunkt der Publikation eine notwendige

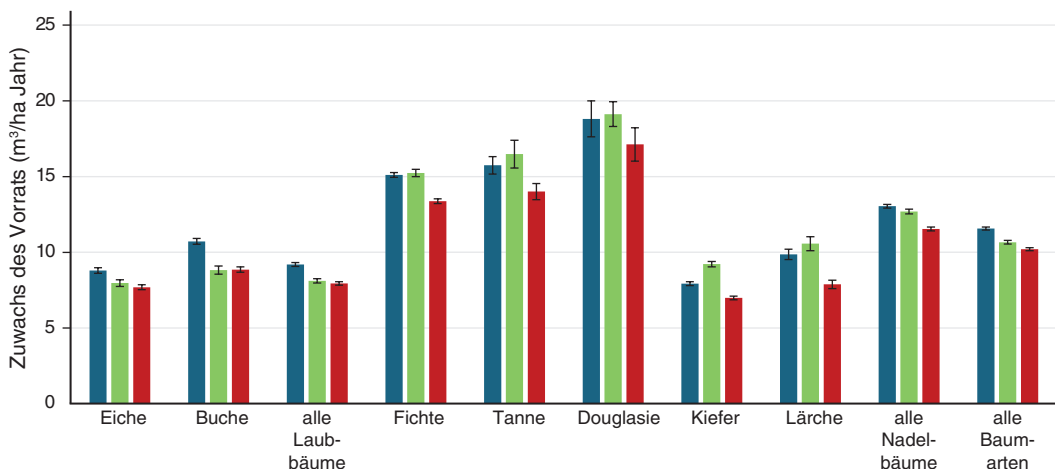


Abb. 5. Zuwachs des Holzvorrats (in m³ pro Hektar und Jahr) für verschiedene Baumarten und Baumarten-gruppen (Laub-/Nadelbäume) in den Zeiträumen 2002–2012 (■), 2012–2017 (■) und 2012–2022 (■). – Eigene Darstellung nach <https://bwi.info>.

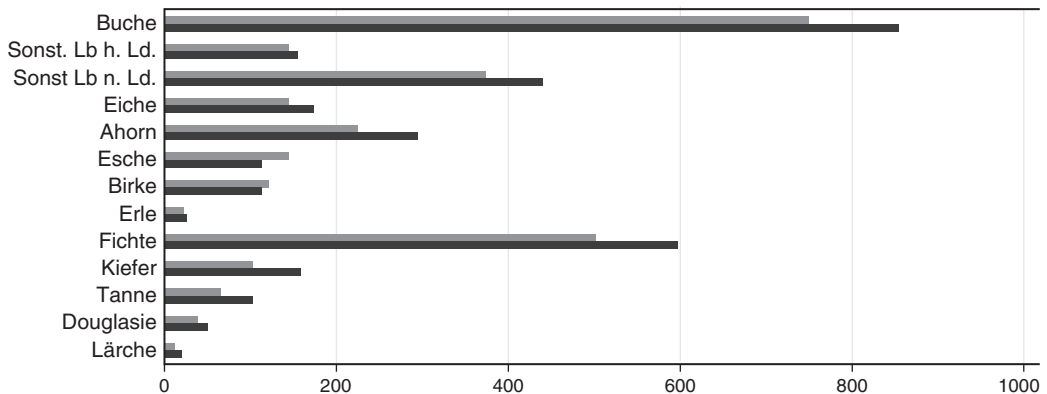


Abb. 6. Flächen der Jungbestockung (in 1000 Hektar) auf den jeweiligen BWI-Zustandsnetzen 2012 (■) und 2022 (▨). Sonst. Lb h. Ld.: sonstige Laubbäume mit hoher Lebensdauer (z.B. Linde, Ulme, Edelkastanie), Sonst. Lb n. Ld.: sonstige Laubbäume mit niedriger Lebensdauer (z.B. Pappeln, Weiden, Kirsche, Eberesche). – Bolte et al. (2025).

Umbaufläche bis 2050 von 95 000 ha/Jahr, heute sind es etwa 100 000 ha/Jahr. Auch wenn sich die jährliche Umbaufläche von 22 000 Hektar im Jahr 2021 auf derzeit 25 000 bis 30 000 Hektar (Zunahme Jungbestandsfläche inkl. Verjüngung ohne Baumartenwechsel: 36 000 Hektar, Bolte et al. 2025) erhöht hat, genügt dies bei weitem nicht, um die Risikobestände bis 2050 umzugestalten. Nach Berechnungen des Thünen-Instituts für Waldwirtschaft in Hamburg (in Bolte et al. 2021 enthalten) ergaben sich 2021 für den Waldumbau auf 2,85 Mio. Hektar Waldfläche Vollkosten von 14 bis 43 Mrd. Euro, variierend unter anderem je nachdem, ob ein Schutz vor Wild nötig wird.

Ein Umbau der Wälder wird zunächst zu Lasten des Kohlenstoffspeichers gehen, aber er bietet die Chance, die Wälder stärker für die Zukunft anzupassen.

Neben den Optionen des technischen Waldumbaus ergibt sich die Frage, wie Forschung, Praxis und Gesellschaft zusammen an akzeptablen und umsetzbaren Lösungen zum Waldmanagement der Zukunft arbeiten können. Einen Ansatz hierzu liefern Reallabore (»Living Labs«), die Forschung, Praxis und weitere gesellschaftliche Akteure mit Waldinteressen miteinander verbinden. In sogenannten »Ko-Prozessen« (Ko-Design/Kreation, Ko-Produktion, Ko-Evaluation) arbeiten Forschende mit Akteuren aus der Praxis und Gesellschaft sowohl in der Anlage als auch in der Durchführung von Versuchen und in der Bewertung der Ergebnisse zusammen (z.B. Wanner

et al. 2018). Im neu gestarteten Projekt SURVEY⁴ werden in einem BMFTR-Kooperationsprojekt unter Koordination des Thünen-Instituts und des Umweltforschungszentrums drei Waldreallabore als langfristige Forschungs-Infrastrukturen im Harz und in Niederbayern etabliert, die Flächenbetreuung vor Ort übernehmen die Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, das Thüringer Forstliche Forschungskompetenzzentrum und die Ludwig-Maximilians-Universität München (Universitätswald). Weitere Partner sind das Julius-Kühn-Institut, die TU Dresden sowie die TU München. Ziel ist es, in geschädigten fichtendominierten Beständen der Mittelgebirgszone optimierte und gesellschaftlich akzeptierte Waldmanagementkonzepte für die Waldentwicklung im Klimawandel zu entwickeln und zu testen.

Das Flächendesign (Ko-Design) vergleicht auf den drei Kernflächen folgende Managementvarianten:

- Waldentwicklung ohne Management (»Nullfläche«), auf der wir die natürliche Waldentwicklung (Weichlaubholz, Fichte) untersuchen,

4 SURVEY. Waldreallabore – Experimente, Synthese und Governance zur Optimierung des natürlichen Klimaschutzes in Waldökosystemen. 06/2025–05/2028, gefördert vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR), Projektträger: ptj Projektträger Jülich; <https://www.survey-waldreallabore.de/> [abgerufen 01.04.2026].

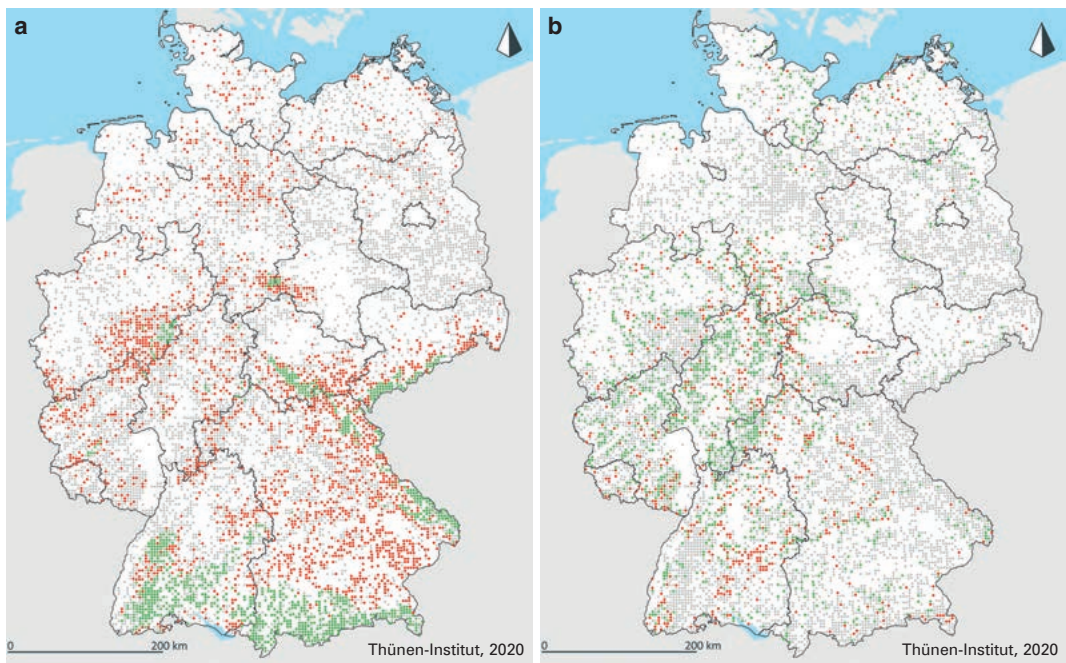


Abb. 7. Risikostandorte mit führender Baumart Fichte (a) bzw. Buche (b) (BWI-Trakte, 4 km × 4 km); Risiko Fichte: Geländehöhe unter 600 m ü. NN (●); Risiko Buche: nWSK (nutzbare Bodenwasserspeicherkapazität) < 90 mm/m Bodentiefe (●); ● begehbarer, bestockter Holzboden mit Fichte/Buche; ● begehbarer, bestockter Holzboden – Bolte et al. (2021).

- Flächen mit extensivem Management, d. h. Bestandesbegründung mit heimischen Baumarten (Fichtennaturverjüngung und Buchen gepflanzt) und Totholzmanagement, Belassen und Integration ggf. vorhandener Naturverjüngung, sowie
 - Flächen mit intensivem Management, d. h. Bestandesbegründung auch mit nicht-heimischen Baumarten (Douglasie, Küstentanne gepflanzt) und (Teil-)Räumung der Flächen von Schad- und Totholz, ggf. (Teil-)Entfernung von Naturverjüngung.
- Über ein Satellitenflächenschema sollen zusätzliche Flächen aus dem Privat- und Kommunalwald einbezogen werden (Ko-Produktion), die Auswertung soll gemeinsam mit den Stakeholdern stattfinden (Ko-Evaluation). Mit Hilfe digitaler

Tab. 2. Flächen und Derbholzvorräte (Stand 2012) auf Risikostandorten mit führender Baumart Fichte (Fichten-Typ) unter 600 m (ü. NN) und führender Baumart Buche (Buchen-Typ) mit einer maximal nutzbaren Bodenwasserspeicherkapazität (nWSK) von < 90 mm/m in Deutschland. Die Prozentangaben beziehen sich auf die Anteile an den Gesamtwaldflächen mit Fichten-Typ bzw. mit Buchen-Typ. – Bolte et al. (2021).

	Fichten-Typ (führende Baumart Fichte unter 600 m ü. NN)	Buchen-Typ (führende Baumart Buche mit nWSK < 90 mm m ⁻¹)
Fläche (ha)	2 228 038 69,9 %	622 526 34,4 %
Vorrat (Tsd. m ³)	884 218 68,3 %	220 286 33,6 %

Abbilder der Bestände (»digitale Zwillinge«) und Modellierung soll über die Projektlaufzeit hinaus die zukünftige Entwicklung der Walddynamik auf den unterschiedlichen Managementvarianten dargestellt werden.

Im Laufe des Projektes werden zusätzliche Akteure umfassend eingebunden (Ko-Design/ Kreation, Ko-Produktion, Ko-Evaluation). Dazu gehören Praxis-Akteure wie Privatwald- und Kommunalwald-Besitzende, aber auch Verbände aus dem Tourismus, Naturschutz und sonstige gesellschaftliche Gruppen mit Waldinteressen. Auf den Flächen sollen Experimente unter Realbedingungen erfolgen und es soll eine partizipative Entwicklung der alternativen Managementverfahren stattfinden, um die Ergebnisse bestmöglich in die Praxis zu bringen und gesellschaftliche Akzeptanz zu erzeugen.

Fazit

Zusammenfassend kann folgendes Fazit zu den drei betrachteten Perspektiven Waldschäden, Waldentwicklung und Lösungen für die Zukunft gezogen werden:

Perspektive Waldschäden: Im Zeitraum 2018–2024 gab es 0,6 (flächige) bis 2 Millionen Hektar Waldschäden. Die Wälder und nachgelagerte Holznutzung haben dadurch zwischen 2017 und 2022 Kohlenstoffvorräte in der Biomasse abgebaut und sind nach den internationalen Berechnungsregeln des IPCC zu einer zeitweiligen Nettoquelle für CO₂ geworden (ohne Berücksichtigung von Substitutionseffekten der Holznutzung). Die Klimaschutzziele im LULUCF-Sektor 2030, 2040 und 2045 sind dadurch mit den heute zur Verfügung stehenden Maßnahmen schwer zu erreichen. Die Stabilisierung und Anpassung der Wälder ist von größter Bedeutung, um langfristige Wälder als erhebliche CO₂-Senke zu entwickeln, auch auf Kosten kurzfristiger Einbußen der CO₂-Einbindung in der Anpassungsphase.

Perspektive Waldstruktur/Walddynamik: Die Waldfläche in Deutschland ist leicht angestiegen (11,5 Mio. ha), die Kiefer ist jetzt die häufigste Baumart (22 %), die Wälder sind älter (82 Jahre) und gleichzeitig gibt es mehr Verjüngungsfläche. Dadurch stehen mehr Optionen zur Umgestaltung und Anpassung der Wälder zur Verfügung, die für eine zukunftsgerichtete Anpassung der Wälder genutzt werden sollten.

Lösungen für die Zukunft: Der Waldumbau sollte deutlich verstärkt werden durch mehr Kapazitäten und eine ausreichende Finanzierung. Reallaboransätze bieten eine gute Möglichkeit, Wissenschaft, Praxis und Gesellschaft zusammenzubringen, und sollten daher weiterentwickelt und konsequent genutzt werden. Letztlich ist ein adaptives Waldmanagement des dauerhaften Lernens und Nachsteuerns gefragt, um die Wälder fit für die Zukunft zu machen.

Danksagung

Die Ausarbeitung des Vortrags erfolgte mit Unterstützung von Dr. Nicole Wellbrock, Dr. Nikolai Knapp, Sascha Adam, Dr. Wolfgang Stümer, Dr. Thomas Riedel, Karsten Dunger, Susann Bender, Franz Kroiher und Dr. Tanja Sanders. Alle genannten Personen arbeiteten zum Zeitpunkt des Vortrags im Thünen-Institut für Waldökosysteme in Eberswalde. Die Walderhebungen (BWaldG § 41 a) werden in enger Zusammenarbeit zwischen dem Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat (BMLEH) und den zuständigen Ministerien und forstlichen Forschungseinrichtungen der Bundesländer durchgeführt und finanziert. Das Verbundprojekt »SURVEY - Waldreallabore - Experimente, Synthese und Governance zur Optimierung des natürlichen Klimaschutzes in Waldökosystemen« wird vom Bundesministerium für Forschung, Technik und Raumfahrt (BMFTR) über den Projektträger PTJ finanziert. Danke an alle beteiligten Institutionen, Verantwortliche und Beitragende für die Förderung und Unterstützung.

Literatur

- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (Hrsg.). 2024. Der Wald in Deutschland. Ausgewählte Ergebnisse der vierten Bundeswaldinventur. – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Bonn, 59 S.; <https://www.bmleh.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/vierte-bundeswaldinventur.html> [abgerufen 31.03.2026]
- BMUKN [Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit] (Hrsg.). 2026. Klimaschutzprogramm 2026. Kabinettsbeschluss vom 25. März 2026, Berlin, 258 S. https://www.bundesumweltministerium.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzprogramm_2026_bf.pdf [abgerufen 13.06.2026]
- Bolte, A., M. Höhl, P. Hennig, T. Schad, F. Kroiher, B. Seintsch, H. Englert & L. Rosenkranz. 2021. Zukunftsaufgabe Waldanpassung. – AFZ Der Wald, 76(4): 12-16. https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn063364.pdf [abgerufen 31.03.2026]
- Bolte, A., F. Kroiher, S. Bender & J. Rock. 2025. Überblick Waldverjüngung: Ergebnisse der BWI

2022. – Bund Deutscher Forstleute, Berlin. BDF Aktuell, 66(3): 4-5; <https://www.bdf-online.de/service/bdf-aktuell/2025/> [abgerufen 31.03.2026]
- Bucher, J. B. 1984. Bemerkungen zum Waldsterben und Umweltschutz in der Schweiz. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 103: 16–27. DOI: [10.1007/BF02744212](https://doi.org/10.1007/BF02744212)
- Herold, A., M. Drösler, A. Boetius, A. Bolte, M. Evers, A. Gättinger, G. Grethe, R. Hansen, P. L. Ibisch, W. Köck, J. Pongratz, K. Rehdanz, J. Settele, F. Tanneberger, V. M. Temperton & M. Zschiesche. 2025. Optionen zur Weiterentwicklung des Aktionsprogramms Natürlicher Klimaschutz. – Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats für Natürlichen Klimaschutz für das Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit, 258 S. https://www.wissenschaftlicher-beirat-fuer-natuerlichen-klimaschutz.de/wp-content/uploads/WBNK_Stellungnahme_Weiterentwicklung_ANK.pdf [abgerufen 13.06.2026]
- IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change]. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. – Prepared by the IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleston, H. S., L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara & K. Tanabe (eds). Published: IGES, Japan; <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html> [abgerufen 13.06.2026]
- Knapp, N., N. Wellbrock, J. Bielefeldt, P. Dühnelt, R. Hentschel & A. Bolte. 2024. From single trees to country-wide maps: Modeling mortality rates in Germany based on the Crown Condition Survey. – Forest Ecology and Management, 568: 122081. DOI: [10.1016/j.foreco.2024.122081](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122081)
- Schütt, P. 1984. Der Wald stirbt an Stress. – Bertelsmann, München, 264 S.
- Thünen-Institut. 2026a. Fernerkundungsbasiertes Nationales Erfassungssystem Waldschäden 2.0 (FNEWs 2.0), Geoportal zu Waldschäden. <https://www.fnews-wald.de/> [abgerufen 13.06.2026]
- Thünen-Institut. 2026b. Aktuelle Ergebnisse der Waldzustandserhebung. <https://blumwald.thuenen.de/wze/aktuelle-ergebnisse> [abgerufen 13.06.2026]
- UBA [Umweltbundesamt] (Hrsg.). 2026. Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Übereinkommen von Paris 2016. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990–2024. – Climate Change, 30/2026, 1058 S. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/berichterstattung-unter-der-klimarahmenkonvention-15> [abgerufen 13.06.2026]
- Ulrich, B. 1986. Die Rolle der Bodenversauerung beim Waldsterben: Langfristige Konsequenzen und forstliche Möglichkeiten. – Forstwissenschaftliches Centralblatt, 105: 421–435. DOI: [10.1007/BF02741750](https://doi.org/10.1007/BF02741750)
- Wanner, M., A. Hilger, J. Westerkowski, M. Rose, F. Stelzer & N. Schäpke. 2018. Towards a cyclical concept of real-world laboratories: a transdisciplinary research practice for sustainability transitions. – disP - The Planning Review, 54(2): 94–114. DOI: [10.1080/02513625.2018.1487651](https://doi.org/10.1080/02513625.2018.1487651)
- Wehnemann, K., M. Koßmann, K. Purr, M. Pagel & J. Steinbrenner. 2026. Treibhausgas-Projektionen 2026 – Ergebnisse kompakt. – Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 41 S. DOI: [10.60810/openumwelt-8361](https://doi.org/10.60810/openumwelt-8361)

Diskussion

H. Sedlmeier: Der Wald ist ein riesiger CO₂-Speicher und ein lebendes System. Deswegen gehe ich davon aus, dass ein Urwald weder Kohlenstoffsенke noch -quelle darstellt, sondern dass dies um einen Mittelwert oszilliert. Gibt es Anhaltspunkte, dass dieser Mittelwert bei einem kompletten Umbau des Waldes niedriger oder höher liegen wird, als dies in den letzten Jahrzehnten der Fall war?

A. Bolte: Hier ist eine spannende Frage, was der Waldboden macht. Ich denke, das ist ein komplett unterschätzter Speicher für Kohlenstoff. Bei den Auswertungen zur zweiten Bo-

denzustandserhebung haben wir im Thünen-Institut festgestellt, dass wir dort ebenfalls hohe Kohlenstoffsequestrierungsraten von ca. 0,4 t pro Hektar und Jahr⁵ haben. Daher gehen wir davon aus, dass wir bei vielen unserer heutigen Wälder noch weit von Gleichgewichtszuständen in der Kohlenstoff- bzw. CO₂-Bilanz entfernt sind. Die spannende Frage ist, wann die Böden ihre

5 Grüneberg, E., D. Ziche & N. Wellbrock. 2014. Organic carbon stocks and sequestration rates of forest soils in Germany. – Global Change Biology, 20: 2644–2662. DOI: [10.1111/gcb.12558](https://doi.org/10.1111/gcb.12558).

Kohlenstoffsättigung erreichen, insbesondere bei einem geänderten Störungsregime. Aber wir haben letztlich keine Chance. Wenn wir in Zukunft stabile Wälder haben wollen, müssen wir sie anpassen, auch wenn dies ggf. bedeutet, dass wir unter den standörtlichen Bedingungen nicht mehr dieselben Vorräte und damit Kohlenstoffspeicherungen der Biomasse erreichen werden. Aber umso mehr ist dann spannend, was im Boden passiert und ob und in welchem Maße die Waldböden die Kohlenstoffverluste der Biomasse nach Störungen ausgleichen können.

I. Kögel-Knabner: Sind die Vorgänge in den Böden in den Projektionen enthalten, die zu der Prognose der Treibhausgasemissionen geführt haben? Und ist darin berücksichtigt, dass die Temperaturen steigen werden? Wald und Boden gehören ja zu einem größeren System. Bei den landwirtschaftlichen Böden geben lange Messreihen erste Hinweise darauf, dass ein Kohlenstoffverlust auftritt, der allein auf erhöhte Temperaturen zurückzuführen ist. Im Wald erwärmt sich der Boden genauso, als erstes natürlich die Auflage mit Streu, die nach Ihren Aussagen einen relevanten Speicher darstellt. Dagegen lässt sich wenig machen, außer vielleicht Waldbaumaßnahmen, die auch die Durchwurzelung bis in die Tiefe fördern. Schon allein, weil die Temperaturen auch in Zukunft steigen werden, sind wir von einem Gleichgewicht sehr weit entfernt.

A. Bolte: Das ist zum Teil in den Modellierungen enthalten. Die Modellierungen sind keine statischen Betrachtungen aus der Bodenzustandserhebung, sondern enthalten tatsächlich Parameteränderungen. Bei der Frage nach Konservierung oder Freisetzung von Bodenkohlenstoff ist es tatsächlich wichtig, das bodennahe Klima möglichst kühl zu halten. Das heißt: vegetationslose Böden vermeiden, möglichst schnelle Wiederbewaldung und mit einem großen Anteil von Pionierbaumarten einen Vorwald schaffen. Diese Arten erreichen relativ schnell eine Beschattung des Waldbodens und bringen über Wurzeln und Streu relativ viel Kohlenstoff in den Boden. Ab einer gewissen Zeit kann man dann überlegen, wie man wirtschaftlich interessante Baumarten unter einen derartigen Schirm bringen kann. Das meinte ich auch mit dem am Ende des Vortrags erwähnten adaptiven Waldmanagement. Wir müssen noch viel mehr darüber nachdenken,

was wir machen können, und mit noch mehr Baumarten und noch mehr waldbaulichen Systemen arbeiten, um wirklich adaptiv die Bodenverhältnisse günstig zu beeinflussen.

B. Breitsameter: Ich glaube, wir müssen den Realitäten noch viel mehr ins Auge sehen. In Bayern bzw. in ganz Süddeutschland werden wir die überhöhten Nadelholzbestände abbauen müssen. Entweder das geschieht »per Design« oder es kommt »per Desaster«, aber diese Nadelholzvorräte werden uns vor die Füße fallen. Wer jetzt aktiv, das heißt über die Nachhaltigkeit hinaus, Nadelholz nutzt, der ist schon nachhaltig. Denn wenn es so kommt wie in Nordbayern oder in Thüringen, haben wir ein echtes Desaster. Wir müssen den Wald umbauen. Der Wald in Bayern wird in Zukunft laubholzreicher und struktureicher sein, er wird zuwachsschwächer sein und er wird kohlenstoffärmer sein. Dem müssen wir entgegenblicken und damit auch argumentieren. Ich finde es schrecklich, dass der bayerische Kleinprivatwald Weltmeister in Bezug auf die Holzvorräte ist. Das werden wir abbauen müssen. 70 Prozent von dem, was wir im Wald ernten, wird thermisch verwertet, nur 30 Prozent können wir stofflich speichern. Egal, ob das Holz im Wald liegen bleibt oder es im Sägewerk oder zu einem Holzprodukt verarbeitet wird, zu 70 Prozent wird am Ende alles thermisch verwertet und substituiert fossilen Brennstoff. Deswegen ist es schlimm, wenn die EU weiterhin mit Carbon farming arbeitet, dass wir in der Land- und Forstwirtschaft Kohlenstoff über die Fotosynthese binden und dass wir ihn irgendwie unter die Erde oder womöglich sogar unter das Meer bringen, und gleichzeitig holen wir tagtäglich große Schiffe mit Kohle von Australien nach Europa, um Kohlekraftwerke zu betreiben. Auch da müssen wir umdenken und zuerst den kompletten grünen Kohlenstoff nutzen, bevor wir weiterhin den schwarzen von unten nach oben holen.

A. Bolte: Dem kann ich weitestgehend zustimmen. Ein Punkt, der uns gerade auch mit den Kolleginnen und Kollegen in der Holzforschung umtreibt, ist die Frage nach der Abnehmerstruktur: Wo sind die stofflichen Verwertungsmöglichkeiten? Ich bin absoluter Anhänger der Kaskadennutzung, das heißt, alles erst einmal stofflich zu verwerten und es erst ganz am Ende zu verbrennen.