Treibhausgas-Berichterstattung und Bedeutung für den Klimaschutz

Wald und Holzprodukte galten lange als verlässliche CO_2-Speicher – doch die Bilanz kippt. Seit 2018 emittiert der Wald mehr als er bindet. Warum das so ist, wie Emissionen überhaupt erfasst werden und welche Rolle internationale Berichtspflichten spielen, zeigt der Blick in das Klimainventar.

TEXT: WOLFGANG STÜMER, JOACHIM ROCK, SASCHA ADAM

Foto: Thünen-Institut

Abb. 1: Datenerfassung im Wald: Jährlich erstellt das Thünen-Institut für Waldökosysteme die Treibhausgaszahlen und -berichte für den Wald.

Für Deutschland werden für nationale und internationale Verpflichtungen jährlich Treibhausgasinventare für alle vom Menschen verursachten Emissionen erstellt und berichtet. Diese Inventare sind nach Sektoren gegliedert (die nicht zwingend mit Wirtschaftssektoren übereinstimmen). Für den Wald erfolgt die Erfassung und Verbuchung der Netto-Emissionen im Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF, „Land Use, Land-Use Change, and Forestry"). Verantwortlich für die Berechnung der Zahlen und die Erstellung der Berichte im LULUCF-Sektor ist das Thünen-Institut. Das Thünen-Institut für Waldökosysteme erfüllt diese Aufgabe für den Wald in Zusammenarbeit mit den Thünen-Instituten für Agrarklimaschutz, zuständig für die Flächen außerhalb des Waldes, und Holzforschung, die für die Holzprodukte verantwortlich sind.

Die Berichtspflichten und die Anforderungen daran sind in den letzten Jahren stetig gestiegen. Auf internationaler Ebene müssen jährliche Inventarberichte für die Klimarahmenkonvention und das Abkommen von Paris erstellt werden. Diese Berichte decken den Zeitraum bis zu dem vorvorigen Jahr zum Berichtsjahr ab, der aktuelle Bericht [5] reicht z.B. bis inklusive 2023. Hinzu kommen auf Anforderung der Europäischen Union (EU) Projektions- und Fortschrittsberichte und Erweiterungen im Rahmen der LULUCF-Verordnung. Auf nationaler Ebene werden im Rahmen des Bundesklimaschutzgesetzes (KSG) jährlich eine Vorjahresschätzung (aktuell: für 2024) und Projektionen zukünftig erwarteter Nettoemissionen für den Expertenrat für Klimafragen erstellt. Diese Projektionen dienen zur Einschätzung der Erreichung der Ziele des KSG und der Bewertung der getroffenen Klimaschutzmaßnahmen.

Die Erstellung der Inventare erfolgt nach internationalen Regelwerken, die vom IPCC (Intergouvernemental Panel on Climate Change) bereitgestellt werden [1-3]. Diese verlangen ein permanentes Streben nach besseren Methoden und genaueren Daten. In regelmäßigen Reviews im Auftrag des UN-Klimasekretariats und der EU-Kommission wird überprüft, ob die bei der Inventarerstellung verwendeten Me-

Schneller ÜBERBLICK

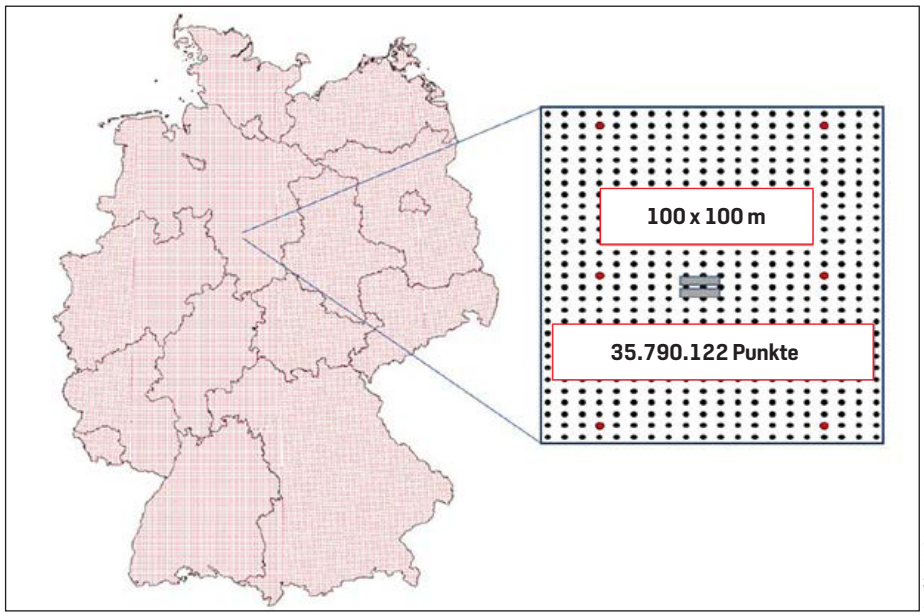
- **Wald wird zur Quelle.** Seit 2018 verliert der deutsche Wald netto Kohlenstoff – vor allem durch Dürre und Kalamitäten.
- **Inventar basiert auf Stichproben und Modellen.** Flächen und Kohlenstoffveränderungen werden mithilfe von Stichprobendaten, Bundeswaldinventur und Modellierungen erfasst.
- **Holzprodukte speichern nur zeitweise.** Holzprodukte tragen zur CO_2-Bindung bei, geben den Kohlenstoff aber nach definierter Verweildauer wieder frei.
- **Klimaziele schwer erreichbar.** Die aktuellen Emissionen des LULUCF-Sektors liegen deutlich über dem Zielpfad des Bundesklimaschutzgesetzes.

thoden den Regelwerken entsprechen. Durch diese ständige methodische Weiterentwicklung, die Behebung von Datenlücken und eventueller Fehler, die Berücksichtigung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse und neuer Daten ändern sich auch die berichteten Werte für zurückliegende Jahre, denn bei solchen Änderungen ist immer die gesamte Zeitreihe rückwirkend bis 1990 neu zu berechnen.

Was muss im LULUCF-Sektor berichtet werden?

Es müssen die Treibhausgase Kohlenstoffdioxid (CO2), Lachgas (N2O) und Methan (CH4) infolge von Landnutzung, Landnutzungsänderung und Fortwirtschaft sowie CO2-Emissionen „aus Holzprodukten" berichtet werden. Dies erfolgt für die Landnutzungskategorien Wald, Ackerland, Grünland, Feuchtgebiete, Siedlungen und sonstiges Land unterschieden nach sogenannten Pools: ober- und unterirdische lebende Biomasse, das Totholz, die Streuauflage und der mineralische und organische Boden sowie Emissionen aus künstlichen Gewässern. Dazu kommen Emissionen aus Waldbrand, der Torfproduktion, Fischteichen und Holzprodukten. Die Holzprodukte haben keinen Flächenbezug und werden separat betrachtet.

Wird in einer Zeiteinheit mehr Kohlenstoff in einem Speicher neu gebunden als aus diesem freigesetzt, ist dieser für diese Zeiteinheit eine „Senke". Wird mehr emittiert als eingebunden, wirkt der Speicher als „Quelle". Eine weitere



Grafik: W. Stümer

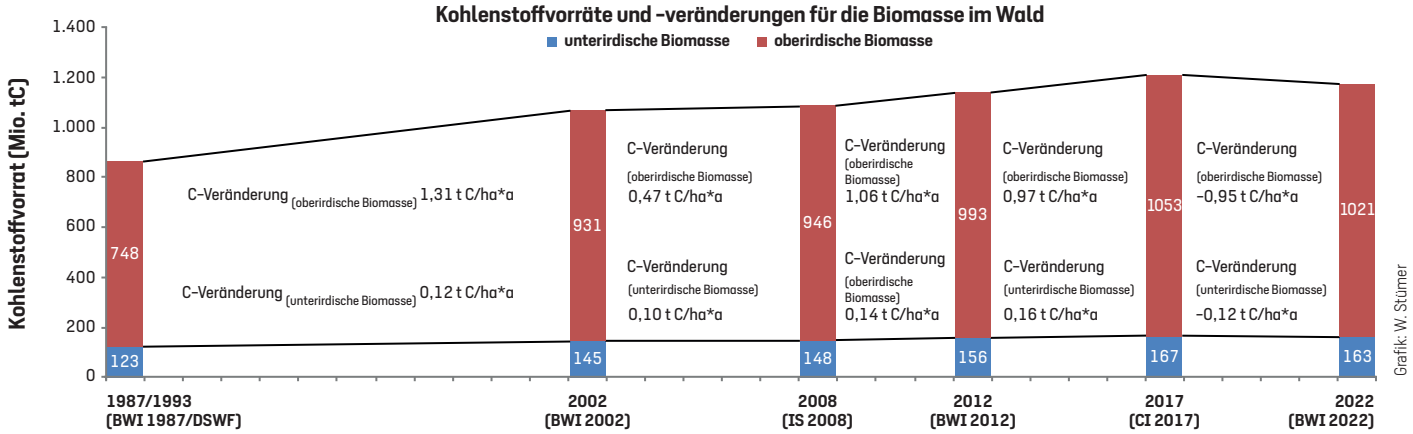
Abb. 2: Stichprobenraster für die Erstellung der Landnutzungsmatrix.

Konvention betrifft die Einheiten: Kohlenstoff in Speichern wird als [tC] („Tonne Kohlenstoff") berichtet, Änderungen mit positivem Vorzeichen bedeuten dann einen Netto-Zuwachs und eine Entlastung der Atmosphäre („Senke"). Angaben von [tCO2] („Tonne Kohlenstoffdioxid") sind immer aus dem Blickwinkel der Atmosphäre, d.h. hier sind positive Vorzeichen eine Zunahme von Treibhausgas in der Atmosphäre („Quelle").

Methodische Grundlagen der Inventarerstellung

Das besondere im LULUCF-Sektor und insbesondere im Wald ist die Tatsache, dass es sowohl zu einer Freisetzung wie zu einer Einbindung von Treibhausgasen kommen kann. Beides wird im Folgenden als Emission bezeichnet, es ist also immer das Vorzeichen zu beachten. Des Weiteren ist zu beachten, dass keine Vorräte an z.B. Kohlenstoff in einem Pool berichtet werden, sondern nur die Veränderung der Vorräte für jedes Jahr ab 1990 bis in die Gegenwart und für die Projektionen auch in die Zukunft.

Die Berechnung der Emissionen setzt sich aus zwei Komponenten zusammen: den Aktivitätsdaten (AD) und den Emissionsfaktoren (EF). Die AD beschreiben die Emissionsquelle quantitativ. Im LULUCF-Sektor sind das meist die Landflächen, beispielsweise die Waldfläche unterteilt in verbleibende Waldfläche, Aufforstungs- und Entwaldungsfläche. Die repräsentative Erfassung und Quantifizierung der



Grafik: W. Stümer

Abb. 3: Kohlenstoffvorräte und Kohlenstoffvorratsveränderungen für die unterirdische und oberirdische Biomasse im Wald für die Jahre 1987/1993, 2002, 2008, 2012, 2017 und 2022.

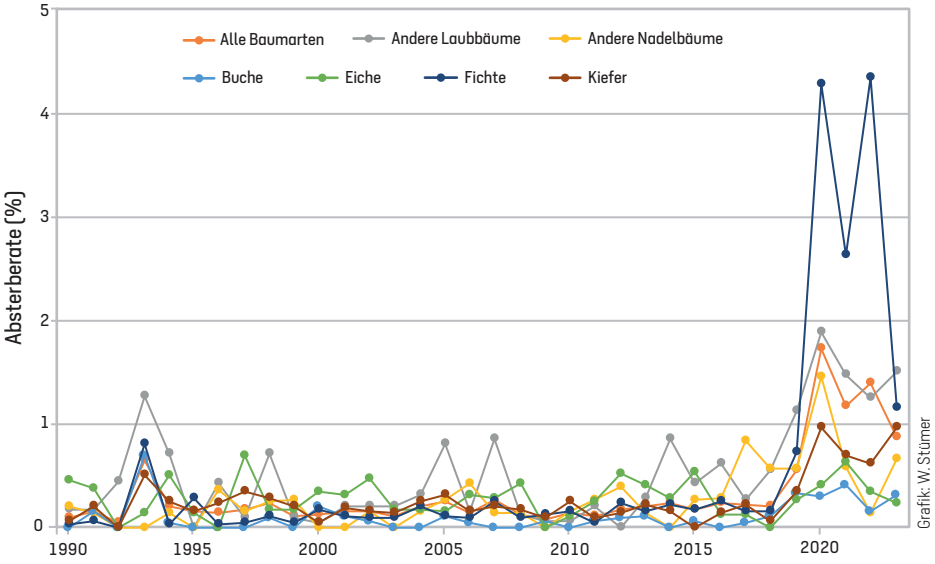


Abb. 4: Entwicklung der Absterberaten nach Baumarten seit 1990 (Waldzustandsbericht 2024).

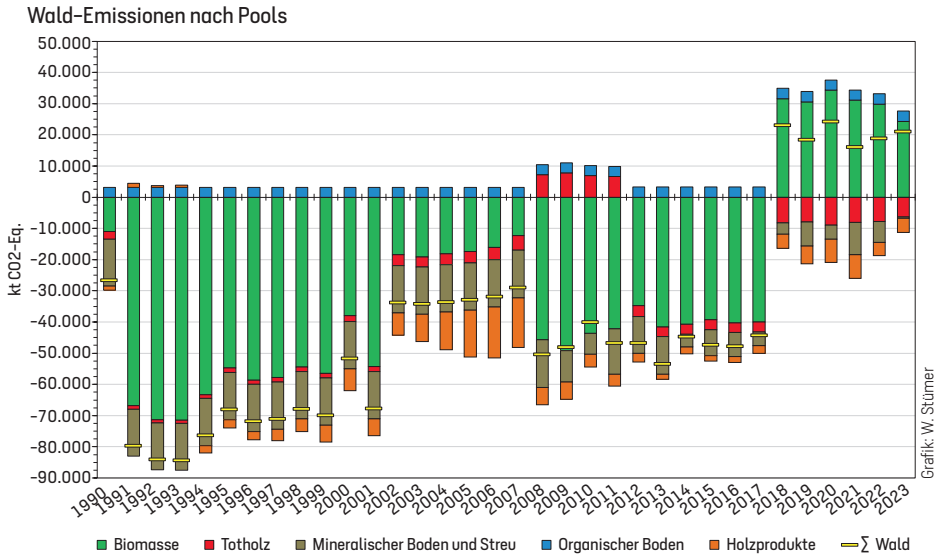


Abb. 5: Treibhausgasemissionen aus Wäldern unterschieden nach Pools.

Flächen ist daher die Basis eines jeden Inventars. Für die Ermittlung der Flächen verwenden wir ein stichprobenbasiertes System (Abb. 1) auf einem regelmäßigen Raster von Stichprobenpunkten mit einem Abstand von 100 m x 100 m, welches über die Gesamtfläche Deutschlands gelegt wurde. Das gewählte Raster orientiert sich am Basis-Digitales LandschaftsModell (Basis-DLM), welches als genauester zur Verfügung stehender Datensatz für Deutschland Flächen ab einer Größe von 1 ha aufnimmt. Deutschland wird demnach mit 35.790.122 Stichprobenpunkten abgebildet. Für jeden Punkt wird die Landnutzung für jedes Jahr aus dem Basis-DLM ab 2000 und aus Corine-Daten vor 2000 abgeleitet. Dies ermöglicht eine detaillierte und konsistente Ausweisung von Landnutzung und Landnutzungsänderung in allen Landnutzungskategorien mit einer hohen räumlichen Auflösung. Auch die Waldfläche wird mit dieser Methode hergeleitet und kommt nicht aus den Erhebungen der Bundeswaldinventur (BWI). Methodisch bedingt kommt es zu Abweichungen zwischen den Daten, die aber unter 3 % betragen.

Der zweite Schritt ist die Ermittlung spezifischer Emissionsfaktoren (EF) zu den Flächen. Der EF beschreibt die Emission je Einheit der Emissionsquelle, beispielsweise die Tonne Kohlenstoff, die auf einem Hektar Wald in der oberirdischen Biomasse gebunden/freigesetzt wird. Für den gesamten LULUCF-Sektor gibt es über 100 EF. Deswegen soll hier nur auf die im Wald verwendeten EF eingegangen werden. Für die oberirdische und unterirdische Biomasse und das Totholz werden die EF aus den Daten der Bundeswald- und Zwischeninventuren hergeleitet (Abb. 2). Dafür wird für den Zeitraum der Inventuren die Vorratsveränderungsmethode und für die Jahre nach der letzten Inventur und für Projektionen in die Zukunft ein Modell (Matrix-Modell [6]) verwendet. Dieses methodische Vorgehen erfolgt auch bei den Pools mineralischer Boden und Streu. Als Modell kommt hier YASSO [7] und als Datengrundlage die Bodenzustandserhebungen I und II (BZE I und BZE II) zur Anwendung. Anders sieht es bei den organischen Böden aus. Dort kommen die EF als sogenannte Standardwerte aus den IPCC Guidelines [2]. Für Waldbrand werden die EF aus verschiedenen Datenquellen abgeleitet. Es ist eine Mischung von Standardwerten aus den IPCC Guidelines und Biomassewerten aus den Bundeswaldinventuren und Bodenzustandserhebungen. Die Waldbrandflächen (Aktivitätsdaten) werden aus der Waldbrandstatistik der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung entnommen. Emissionen von z.B. Methan, Kohlenmonoxid oder anderen Treibhausgasen als CO2 werden über ihr Treibhausgaspotenzial in [CO2-eq.] („CO2-Äquivalente“) umgerechnet. In diesem Artikel nutzen wir vereinfachend nur [CO2] und subsumieren die anderen Gase hierunter.

„Durch die Trockenjahre und den daraus resultierenden Kalamitätsschäden ist der Wald ab 2018 zu einer Quelle geworden.“

WOLFGANG STÜMER

Die Holzprodukte (HWP) nehmen eine Sonderstellung ein, da es keine Flächen für die Aktivitätsdaten gibt, sondern es werden Produktionsmengen aus den Bundeswaldinventuren, aus der Holzeinschlagsstatistik und der Produktion- und Außenhandelsstatistik der Holzhalbwaren zur Herleitung der AD verwendet. Die EF wiederum kommen aus den 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines [3].

Ergebnisse

Mit der vierten Bundeswaldinventur (BWI 2022) konnte eine genaue Abschätzung der Vorratsveränderung der Waldbestände seit der Kohlenstoffinventur 2017 erfolgen. Die Ergebnisse zeigen, wie stark sich der Klimawandel auf den Wald auswirkt. Durch die Trockenheit der Jahre 2018 bis 2020 sind auf rund zwei Millionen Hektar Fläche Baumbestände geschädigt und teilweise vollständig abgestorben. Besonders betroffen ist die Baumart Fichte, deren Vorrat seit 2017 um 18,2 % gesunken ist. Bestätigt wird dies vom Bericht zur Waldzustandserhebung 2023 [4]. In Abbildung 3 sind die Absterberaten nach Baumarten seit 1990 dargestellt. Neben der Fichte sind auch alle anderen Baumarten betroffen, wenn auch nicht so stark. Neben dem Verlust an Kohlenstoff durch Kalamitäten ist auch der Holzzuwachs der Bäume, die überlebt haben, zwischen 2017 und 2022 zurückgegangen.

Einen Teil der abgestorbenen Bäume verbleibt als Totholz im Wald. Dies führt zu einem Anstieg des Kohlenstoffvorrats in diesem Pool ab 2018. Auch hier ist zu beachten, dass nur Veränderungen berichtet werden. Das heißt, dass der Totholzpool nur dann eine Senke ist, wenn in dem jeweiligen Jahr mehr Kohlenstoff zugeführt als durch Zersetzung freigesetzt wird.

Dasselbe gilt für den Holzproduktepool. Durch die kalamitätsbedingte vermehrte Holznutzung wird mehr Holz in Holzprodukten gespeichert. Im 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines [3] werden Durchschnittswerte für die Verweildauer von Holz und somit dem darin enthaltenen Kohlenstoff in den verschiedenen Produktgruppen ausgewiesen. Nach dieser Verweildauer wird der gebundene Kohlenstoff wieder als Emission in die Atmosphäre freigegeben.

Von 1990 bis 2017 hat der Wald, hier immer zusammen mit den Holzprodukten betrachtet, mehr Kohlenstoff gebunden als durch Nutzung oder Zersetzung von Totholz verloren gegangen ist. Durch die Trockenjahre und den daraus resultierenden Kalamitätsschäden ist der Wald ab 2018 zu einer Quelle geworden. Im Jahr 2017 hat der Wald noch 12 Millionen Tonnen Kohlenstoff (Mio. tC) neu gespeichert und ab 2018 jährlich ca. 5,5 Mio. tC verloren. In Abbildung 4 sind die jährlichen Emissionen in Kohlendioxid für die Pools dargestellt. Der hohe Verlust ab 2018 in der lebenden Biomasse wird teilweise durch die

Anzeigenplatzhalter

INTEND Geoinformatik
(12873199)

216 x 156 mm

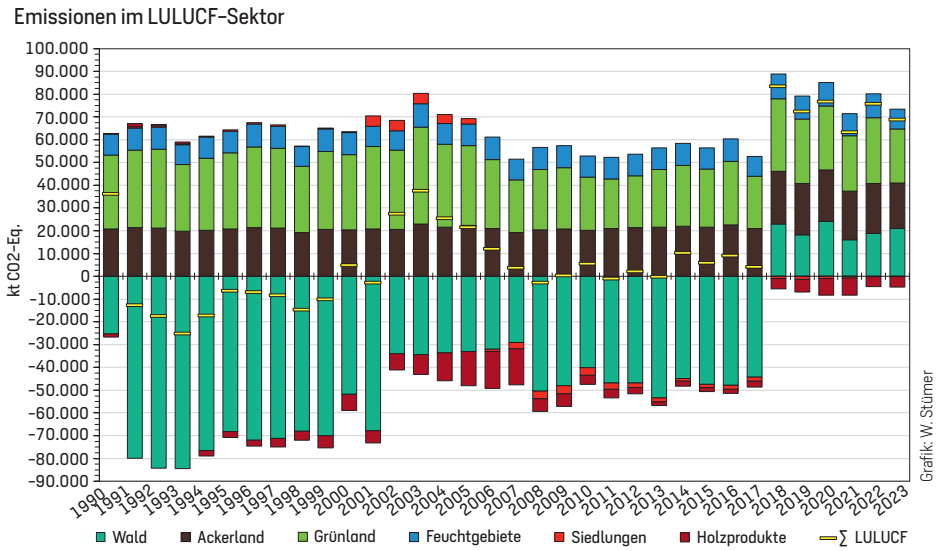


Abb. 6: Treibhausgasemissionen im LULUCF-Sektor unterschieden nach Landnutzung.

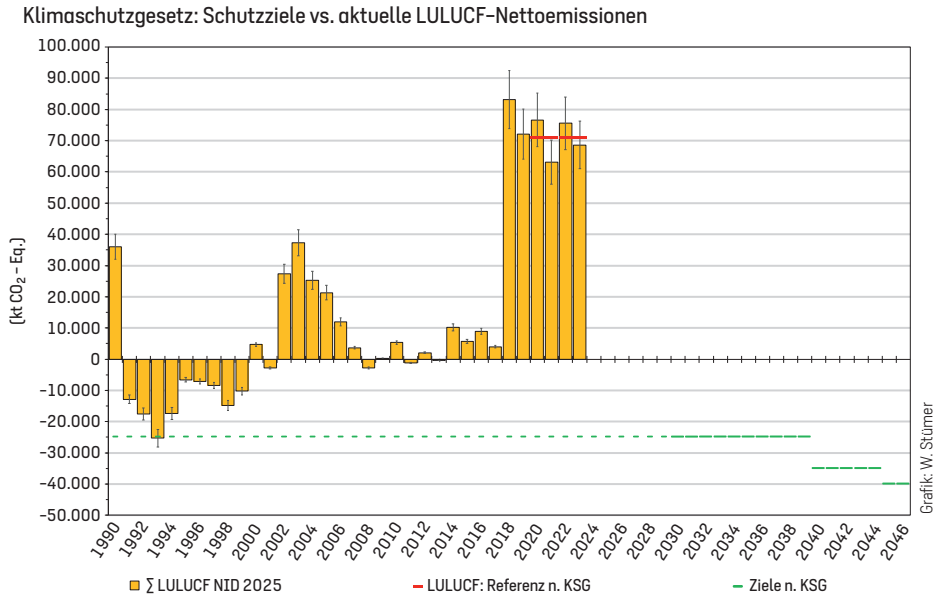


Abb. 7: Vergleich der Nettoemissionen des LULUCF-Sektors mit den Zielen des Klimaschutzgesetzes (KSG §3a); Stichjahre sind 2030, 2040 und 2045.

Speicherung im Totholz und den Holzprodukten ausgeglichen. Auch der mineralische Boden ist eine Senke, die aber tendenziell abnimmt. Dagegen sind die organischen Böden, die sogenannten Moorstandorte, durch Entwässerung eine Quelle.

Von 1990 bis 2017 konnten Wald und Holzprodukte die Emissionen aus den anderen Landnutzungen im LULUCF-Sektor mal mehr mal weniger kompensieren (Abbildung 5). Ab 2018 ist durch die Quellenwirkung des Waldes die Gesamtemission des Sektors auf durchschnittlich 70 Mio. tCO2 gestiegen. Schaut man sich die Emissionen und die im Klimaschutzgesetz festgelegten Ziele an (Abbildung 6), ist eine Zielerreichung für 2030 durch die Kürze der Zeit nicht realistisch. Für die längerfristigen Ziele braucht es realistische Maßnahmen und das nicht nur im Wald, um diese zu erreichen.

In aktuellen Projektionen wird davon ausgegangen, dass sich der Wald ab 2023 erholt und er sich wieder zu einer Senke entwickelt. Ab wann die Senkenfunktion des Waldes wieder hergestellt sein könnte – vorausgesetzt es treten keine erneuten großflächigen Schadereignisse auf – wird derzeit am Thünen-Institut untersucht. Die Kalamitäten haben auch gezeigt, dass z.B. eine Vorausverjüngung für die Etablierung einer Folgegeneration in gefährdeten Beständen sinnvoll ist. Dies und andere Maßnahmen, die die Widerstands- und die Anpassungsfähigkeit des Waldes fördern, erfordern jedoch oft eine Absenkung der bestehenden Vorräte, was der Senkenleistung entgegensteht.

Literaturhinweise:

[1] IPCC (2000): Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change. [2] IPCC (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Intergovernmental Panel on Climate Change. [3] IPCC (2019): 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change. [4] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2024): Waldzustandserhebung 2023. Berlin. [5] Umweltbundesamt (2025): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2025 – Nationales Inventardokument zum deutschen Treibhausgasinventar 1990–2023. Dessau-Roßlau. [6] Rock, Jens; Adam, Sven; Bender, Sebastian; Dunger, Karsten; Rüter, Sebastian; Stümer, Wolfgang (2025): Effects of the 2018–2020 disturbances on the projected carbon balance of German forests and LULUCF climate protection targets. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 20 S. (= Thünen Working Paper 268). DOI: 10.3220/253-2025-33. [7] Scherstjanoi, Marc; Grüneberg, Erik; Ziche, Daniel; Dechow, Rene; Stümer, Wolfgang; Bienert, Oliver; Liski, Jari; Wellbrock, Nicole (in Vorbereitung): Modeling climate change-induced dynamics of soil organic carbon for German forests.

Wolfgang Stümer
wolfgang.stuemer@thuenen.de
Dr. Joachim Rock und **Sascha Adam** vom Thünen-Institut für Waldökosysteme sind Verantwortlich für die Treibhausgasberichterstattung für den Wald.