

Working Paper

Interpretation des Klimaschutzgesetzes für die Waldbewirtschaftung verlangt adäquate Datenbasis – Reaktion auf die Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats für Waldpolitik beim BMEL (vom 22.06.2021)

Öko-Institut Working Paper 3/2021

Dr. Klaus Hennenberg, Dr. Hannes Böttcher, Judith Reise, Anke Herold (Öko-Institut e.V.)

Dr. Friedrich Bohn (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH (UfZ))

Dr. Martin Gutsch, Dr. Christopher P.O. Reyer (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V., (PIK), Mitglied der Leibniz Gemeinschaft)



Öko-Institut e.V. / Oeko-Institut e.V.

info@oeko.de

www.oeko.de

Geschäftsstelle Freiburg / Freiburg Head Office

Postfach / P.O. Box 17 71

79017 Freiburg. Deutschland / Germany

Tel.: +49 761 45295-0

Fax: +49 761 45295-288

Büro Darmstadt / Darmstadt Office

Rheinstraße 95

64295 Darmstadt. Deutschland / Germany

Tel.: +49 6151 8191-0

Fax: +49 6151 8191-133

Büro Berlin / Berlin Office

Borkumstraße 2

13189 Berlin. Deutschland / Germany

Tel.: +49 30 405085-0

Fax: +49 30 405085-388

Working Paper

Interpretation des Klimaschutzgesetzes für die Waldbewirtschaftung verlangt adäquate Datenbasis – Reaktion auf die Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats für Waldpolitik beim BMEL (vom 22.06.2021)

Dr. Klaus Hennenberg, Dr. Hannes Böttcher, Judith Reise, Anke Herold (Öko-Institut e.V.)

Dr. Friedrich Bohn (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH (UfZ))

Dr. Martin Gutsch, Dr. Christopher P.O. Reyer (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V., (PIK), Mitglied der Leibniz Gemeinschaft)

Working Paper 3/2021 Öko-Institut e.V. / Oeko-Institut e.V.

August 2021

Download: www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/03-WP-Klimaschutzgesetz-Waldbewirtschaftung.pdf



Dieses Werk bzw. Inhalt steht unter einer Creative Commons Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 Lizenz. Öko-Institut e.V. 2021

This work is licensed under Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0. Oeko-Institut e.V. 2021

Die Working Paper Series des Öko-Instituts ist eine Sammlung wissenschaftlicher Beiträge aus der Forschungsarbeit des Öko-Instituts e.V. Sie präsentieren und diskutieren innovative Ansätze und Positionen der aktuellen Nachhaltigkeitsforschung. Die Serie ist offen für Arbeiten von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus anderen Forschungseinrichtungen. Die einzelnen Working Paper entstehen in einem sorgfältigen wissenschaftlichen Prozess ohne externes Peer Review.

Oeko-Institut's Working Paper Series is a collection of research articles written within the scope of the institute's research activities. The articles present and discuss innovative approaches and positions of current sustainability research. The series is open to work from researchers of other institutions. The Working Papers are produced in a scrupulous scientific process without external peer reviews.

Zusammenfassung

Die Neuauflage des Klimaschutzgesetzes (KSG) von 2021 sieht vor, dass Deutschland bis zum Jahr 2045 Treibhausgasneutralität erreicht, d.h. ein Ausgleich zwischen Treibhausgas (THG)-Quellen und Kohlenstoffsenken geschaffen wird. Wälder, Moore und Böden können CO₂ einbinden. Die CO₂-Speicherung in Wäldern, landwirtschaftlichen Böden, Feuchtgebieten und andere Flächen werden in der internationalen Klimapolitik im Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Wald (engl. Land Use, Land Use Change and Forestry, LULUCF) zusammengefasst.

Am 22. Juni 2021 identifizierte der Wissenschaftliche Beirat für Waldpolitik (WBW) in seiner Stellungnahme eine zu schließende Lücke für das Jahr 2030 von 45 Mio. t CO₂e zwischen der vom Klimaschutzgesetz vorgeschriebenen und der erwarteten Senkenleistung. Diese Schlussfolgerungen basieren auf dem Vergleich der Zielwerte des KSG mit einer THG-Projektion, nicht aber mit den realen, neueren Daten aus dem Treibhausgasinventar.

Das der THG-Projektion zugrundeliegende WEHAM-Basisszenario bezieht sich auf eine Datenbasis aus den Jahren 2002 bis 2012. Dieser Zeitraum ist durch ein anderes Niveau der Holzentnahme und Senkenleistung des Waldes geprägt als die Jahre 2013-2020. Die Holzentnahme wird vom Szenario deutlich überschätzt (vor allem für Laubholz), die Senkenleistung dadurch unterschätzt. Aus diesen Gründen gibt es starke Abweichungen zwischen der im WEHAM-Basisszenario projizierten und der tatsächlichen Entwicklung des Waldes.

Der Grund für die Abweichung liegt darin, dass das WEHAM-Modell das potenzielle Holzaufkommen simuliert, nicht den wahrscheinlichen (vom Markt nachgefragten) Holzeinschlag. Die in den THG-Inventaren dokumentierte hohe historische Senkenleistung der Wälder in Deutschland ergibt sich daraus, dass die Holzentnahmen in der Vergangenheit unter den Zuwächsen und damit dem potenziellen Holzaufkommen lagen. Damit nimmt das WEHAM-Basisszenario eine stärkere Nutzungsintensität an als real stattfand.

Zwischen Senkenleistung und Holzeinschlag besteht ein statistischer Zusammenhang, dessen Niveau von Schadereignissen abhängt. Mit Hilfe dieses Zusammenhangs und aktueller Einschlagsstatistiken, sowie Annahmen zur Intensität von Waldschäden lassen sich verschiedene Varianten für die Senkenentwicklung der lebenden Biomasse im Wald abschätzen und projizieren. Der Vorteil dieser Methode, zusammen mit der Betrachtung von Varianten ist, dass die Reduktion der Waldsenke durch die Holzernte und die Auswirkung von Schadereignissen auf die aktuelle Senkenleistung realistischer abgebildet werden kann.

Bei einer realistischeren Projektion durch Extrapolation gemessener historischer Daten der Bundeswaldinventur, reduziert sich die Differenz zwischen Projektion und Ziel für das Jahr 2030 von 45 auf 17,3 Mio. t CO₂e. Werden weitere Klimaschutzmaßnahmen in anderen Bereichen des Sektors, wie Humusaufbau in der Landwirtschaft (z.B. Änderungen der Fruchtfolgen, Agroforstsysteme) angenommen, das aktuelle THG-Inventar 2021 zugrunde gelegt, sowie die Entwicklung der Waldsenke mit den aktuellsten Daten fortgeschrieben, liegt die prognostizierte Lücke, die durch eine steigenden Senkenleistung der Waldfläche geschlossen werden muss, bei nur 3,3 Mio. t CO₂e.

Politische Entscheidungen, wie z.B. Zielsetzung und Maßnahmenplanung im Rahmen des Klimaschutzgesetzes benötigen eine robuste Datengrundlage und Projektion des dynamischen Systems Wald, welche die aktuellen Daten berücksichtigen. Dies ist mit der Projektion des WEHAM-Basisszenarios nicht mehr gegeben.

Abstract

The new edition of the Climate Protection Act (KSG) of 2021 enacts Germany to achieve greenhouse gas neutrality by 2045, i.e. to create a balance between greenhouse gas (GHG) sources and carbon sinks. Natural CO₂ sinks can be created by forests, wetlands, and soils. CO₂ storage in forests, agricultural soils, wetlands, and other areas are grouped in the international climate policy realm under the Land Use, Land Use Change and Forestry (LULUCF) sector.

On 22 June 2021, the Scientific Advisory Council on Forest Policy (WBW) identified in its statement a gap to be closed for the year 2030 of 45 Mt CO₂e between the sink capacity prescribed by the Climate Protection Act and the expected sink capacity. These conclusions are based on the comparison of the KSG target values with a GHG projection, but not with measured data from the GHG inventory.

The WEHAM baseline scenario on which this projection is based refers to data from 2002 to 2012, a period characterised by a different level of harvest intensity and sink performance of the forest than the years 2013-2020. Timber extraction is overestimated by the scenario (especially for hardwood); as a result, the sink capacity is underestimated. For these reasons, there are strong deviations between the forest development projected in the WEHAM baseline scenario and the actual statistically recorded development.

The reason for this discrepancy is that the WEHAM model simulates the potential wood supply, not the likely (demand-driven) logging. The high historical sink performance of forests in Germany documented in the GHG inventories results from the fact that wood removals in the past were below increment and thus below potential harvest rates. The WEHAM baseline scenario assumes a higher intensity of wood harvest.

There is a statistical correlation between sink performance and harvest and its level depends also on occurrence and strength of natural disturbances. With the help of this correlation and current harvest statistics, as well as assumptions on the intensity of disturbances, different variants for the sink development of living biomass in the forest can be estimated and projected. The advantage of this method, together with the consideration of variants, is that the effect of disturbance events on the current sink performance can be estimated more realistically.

With a more realistic projection by extrapolating measured historical data from the National Forest Inventory, the difference between projection and target for the year 2030 is reduced to 17.3 Mt CO₂e. If further climate protection measures in other areas of the LULUCF sector, such as humus build-up in agriculture (e.g. changes in crop rotations, agroforestry systems) and corrections through current GHG inventories are assumed, and the development of the forest sink is extrapolated with the most recent inventory data, the projected gap, to be closed by an increasing sink capacity of the forest, is -3.3 Mt CO₂e.

Political decisions, such as setting targets and planning measures within the framework of the Federal Climate Protection Act, require a robust data basis and projection of the dynamic forest and land use system that takes recent data into account. This is no longer given with the projection of the WEHAM baseline scenario.

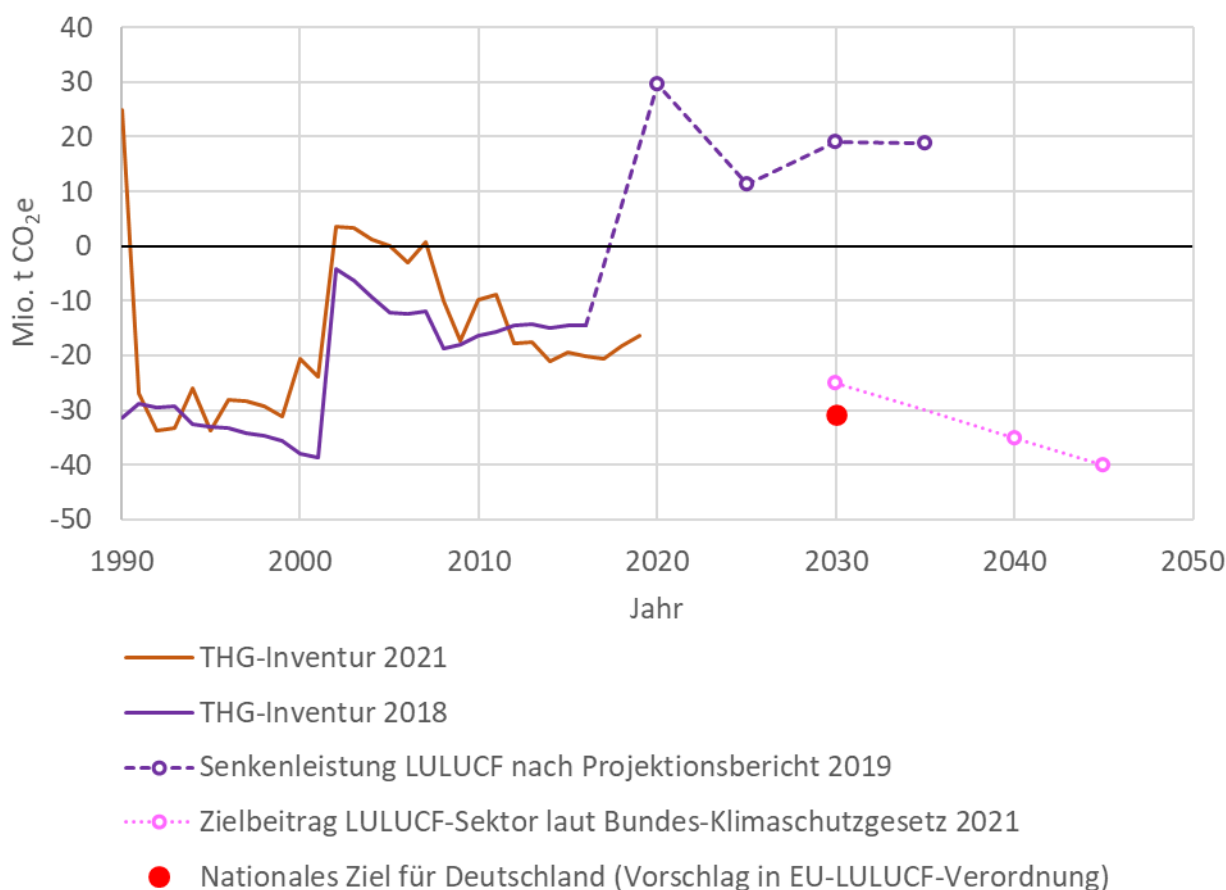
Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Abstract	5
1 Hintergrund	7
2 Bezug auf die Betrachtungen in der Stellungnahme des WBW	8
3 Warum der Projektionsbericht 2019 als aktuelle Entscheidungsgrundlage nicht geeignet ist	9
3.1 Historische Entwicklung des Holzeinschlags	9
3.2 Vergleich des historischen Holzeinschlags mit Modellannahmen	11
3.3 Implikationen für die projizierte Senkenleistung des Waldes	12
3.4 Fazit	14
4 Wie ein alternativer Ansatz zur Fortschreibung der Emissionen der lebenden Biomasse auf der Waldfläche aussehen kann	15
4.1 Zusammenhang zwischen Holzeinschlag und Senkenleistung	15
4.2 Differenzierung von Effekten durch Schadereignisse bei der Projektion der Senkenleistung	18
4.3 Vereinfachter Ansatz bereits im Einsatz für die EU-Berichterstattung	19
4.4 Fazit	20
5 Einbindung des alternativen Ansatzes zur Fortschreibung der Emissionen des LULUCF-Sektors	20
6 Einordnung der Ergebnisse zu den Zielen des Bundes-Klimaschutzgesetzes	22
7 Schlussfolgerungen	24
7.1 Implikationen für das Sektorziel im Bundes-Klimaschutzgesetz und Maßnahmen	24
7.2 Implikationen für die EU-Klimapolitik	25
7.3 Handlungsempfehlungen	25
Literaturverzeichnis	27

1 Hintergrund

Als Reaktion auf den Beschluss des Bundesverfassungsgerichts vom 29. April hat die Bundesregierung am 12. Mai ein geändertes Klimaschutzgesetz (KSG) vorgelegt, das im Juni auch von Bundestag und Bundesrat angenommen wurde. Das Gesetz sieht vor, dass Deutschland bis zum Jahr 2045 Treibhausgasneutralität erreicht, d.h. ein Ausgleich zwischen Treibhausgas-(THG)Quellen und Kohlenstoffsenken geschaffen wird. Natürliche CO₂-Senken können durch Wälder, Moore und Böden entstehen. Die CO₂-Speicherung in Wäldern, landwirtschaftlichen Böden, Feuchtgebieten und anderen Flächen werden in der internationalen Klimapolitik im Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Wald (engl. Land Use, Land Use Change and Forestry, LULUCF) zusammengefasst, den wir im Folgenden kurz als LULUCF-Sektor bezeichnen.

Abbildung 1: Historische Entwicklung der THG-Emissionen im LULUCF Sektor in Deutschland, erwartete Entwicklung nach Projektionsbericht 2019 sowie Zielvorgaben durch das Klimaschutzgesetz und Vorschlag der EU-LULUCF-Verordnung



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der THG-Inventuren der Jahre 2018 und 2021 (UBA 2018, UBA 2021), Bundes-Klimaschutzgesetz und Entwurf der LULUCF-Verordnung (European Commission 2021) Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der THG-Inventuren der Jahre 2018 und 2021 (UBA 2018, UBA 2021), Bundes-Klimaschutzgesetz und Entwurf der LULUCF-Verordnung (European Commission 2021)

Das Klimaschutzgesetz macht zum ersten Mal konkrete Zielvorgaben, um die CO₂e-Bindungswirkung natürlicher Senken zu erhalten bzw. zu erhöhen: -25 Mio. t CO₂e soll im Jahr 2030 netto im Landnutzungssektor eingebunden werden, -35 Mio. t CO₂e im Jahr 2040 und -40 Mio. t CO₂e im Jahr 2045 (§3a Abs. 1). Das Netto-Senken-Ziel im Vorschlag der Europäischen Kommission für die LULUCF-Verordnung liegt noch etwas höher bei -30,8 Mio. t CO₂e im Jahr 2030.

Abbildung 1 beschreibt den historischen Verlauf der Nettoemissionen aus dem LULUCF-Sektor von 1990 bis 2019. Diese werden jährlich vom Umweltbundesamt (UBA) mit Unterstützung des Thünen-Instituts zu LULUCF und Landwirtschaft erhoben und an die UN-Rahmenkonvention (UNFCCC) und die EU-Kommission übermittelt. Aktualisierungen der Daten über längere vergangene Zeiträume und Überarbeitungen der Methoden führen zu Neuberechnungen der Emissionsdaten auch für vergangene Jahrzehnte und sorgen dafür, dass es erhebliche Abweichungen zwischen den Inventaren einzelner Jahre gibt (siehe Unterschied zwischen dem THG-Inventar 2018 als Basis des Projektionsberichts 2019 und dem aktuellen THG-Inventar 2021 in Abbildung 1). Dabei ändern diese Neuberechnungen im LULUCF-Sektor die vergangenen Emissionsdaten wesentlich stärker als in allen anderen Sektor, so dass der Emissionstrend von 1990-2019 mit deutlich größeren Unsicherheiten behaftet ist. Zudem schwanken die Netto-Emissionen über den Zeitverlauf, was vor allem an der sich ändernden Waldsenke liegt. Diese ergibt sich aus dem Zuwachs an Waldbiomasse durch Waldwachstum, der Holzerntemenge und dem Abgang durch natürliche Störungen. In der Vergangenheit stellte der Sektor über die meiste Zeit eine Netto-Senke dar, mit Ausnahme der Jahre 1990, 2002-2004 und 2007, in denen nach den neuesten Inventardaten der Sektor eine Emissionsquelle war.

Um die zukünftige Entwicklung von Emissionen aus verschiedenen Sektoren abzuschätzen, erstellt die Bundesregierung den Projektionsbericht (PB). Der PB ist ein ressortabgestimmter Bericht, der alle zwei Jahre vom Umweltbundesamt veröffentlicht wird. Abbildung 1 beschreibt die erwartete Entwicklung des LULUCF-Sektors von 2019 bis 2035 basierend auf dem Projektionsbericht 2019 (UBA 2019). Für die Jahre nach 2018 beschreibt die Projektion einen starken Einbruch und eine fortgesetzte Netto-Quelle von 20 Mio. t CO₂e aus der Landnutzung. Wie die Inventardaten, wird auch die zukünftige Projektion des LULUCF-Sektors vom Thünen-Institut berechnet.

Abbildung 1 offenbart eine starke Abweichung zwischen Zielen, historischer Entwicklung und Projektion, die in Presse und Öffentlichkeit für Diskussion gesorgt hat. Wir tragen in diesem Bericht frei verfügbare Daten zusammen, um die Zusammenhänge zwischen historischen Daten, Projektionen und Zielen zu erläutern.

2 Bezug auf die Betrachtungen in der Stellungnahme des WBW

Am 22. Juni 2021 veröffentlichte der Wissenschaftliche Beirat für Waldpolitik (WBW) beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) eine [Stellungnahme zu den Anforderungen für den LULUCF-Sektor im Klimaschutzgesetz](#) (WBW 2021).

Zahlreiche der getroffenen Aussagen unterstützen die Autoren dieses Diskussionspapiers ausdrücklich. Hierzu zählen:

- Ein ambitionierter Klimaschutz ist in allen Sektoren notwendig, um das Pariser Klimaziel zu erreichen (Beschränkung des Anstiegs der globalen Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2 °C und möglichst auf 1,5 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau).
- Die im Klimaschutzgesetz angestrebte Verstärkung der Emissionsminderungen werden explizit begrüßt.
- Die Bewirtschaftung der Wälder und die Verwendung des Holzes können und sollten weiter optimiert werden, um auch einen nachhaltigen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten.
- In ökologisch stabilen Wäldern mit klimatisch angepassten Baumarten(-mischungen) können auch in älteren Phasen noch weiterhin deutliche Biomassevorräte aufgebaut werden.

- In wenig angepassten (ökologisch labilen) Wäldern ist die Wahrscheinlichkeit sehr hoch, dass es in Folge von Störungen zu einer erneuten Freisetzung des gebundenen Kohlenstoffs kommt.
- Differenzierte Konzepte wie *Climate-Smart Forestry* sind geeignet, um die Klimawandel bedingten Risiken zu reduzieren und die Klimaschutzleistungen der Wälder zu optimieren.
- Eine verstärkte Nutzung langlebiger Holzprodukte hilft dem Klimaschutz.
- In einer Bewertung der zukünftig möglichen Senkenleistung sind Risiken, verursacht durch Stürme, Trockenheit oder Borkenkäfer, zu berücksichtigen.

Als Verbesserungswürdig sehen die Autoren dieses Diskussionspapiers aber die Datengrundlage, auf der der WBW (2021) seine Schlussfolgerungen aufbaut: Das Klimaziel aus dem Klimaschutzgesetz wird lediglich mit der THG-Projektion des Projektionsberichtes 2019, nicht aber mit den realen, neueren Daten aus dem Treibhausgasinventar dieses Jahres verglichen.

Der WBW (2021) bezieht sich in seiner Stellungnahme ausschließlich auf die Ergebnisse des Projektionsberichts der Bundesregierung (PB) aus dem Jahr 2019 (UBA 2019).¹ Für den PB wurden die Zu- und Abnahme der lebenden Biomasse in der „bereits bestehenden Waldfläche“^{Fehler! Textmarke nicht definiert.} (kurz Waldfläche) und die damit verbunden Veränderung der Senkenleistung mit Hilfe des Waldmodells WEHAM modelliert. Dabei ist folgendes zu beachten:

- Für die Veränderung der lebenden Biomasse² auf der Waldfläche werden Ergebnisse aus dem **WEHAM-Basisszenario 2012** (<https://bwi.info/>) herangezogen, welches die Waldentwicklung und das potenzielle Holzaufkommen ab dem Jahr 2013 bis 2052 modelliert. Die Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung in diesem Szenario basiert auf den Daten der Waldinventuren 2002, 2008 und 2012.
- Die Veränderung der Speicherung von Kohlenstoff im Boden, sowie in Totholz und Streu wird auf Basis der Speicherkoeffizienten der THG-Inventur aus dem Jahr 2019 fortgeschrieben.

Das WEHAM-Basisszenario ist aus unserer Sicht als einzige Projektion und Datengrundlage für die politische Zielbestimmung im Rahmen des Klimaschutzgesetzes ungeeignet. Es beruht auf einer Datenbasis, die die Entwicklung der CO₂-Speicherung im Wald seit 2012 nicht angemessen repräsentiert. Im Nachfolgenden begründen wir unsere Einschätzung genauer. Anschließend stellen wir einen alternativen Ansatz vor, der mit Hilfe aktueller Daten eine Übergangsmethode darstellt, bis aktuellere Waldszenarien, möglichst mit verschiedenen Modellen berechnet, vorliegen.

3 Warum der Projektionsbericht 2019 als aktuelle Entscheidungsgrundlage nicht geeignet ist

3.1 Historische Entwicklung des Holzeinschlags

In Abbildung 2 ist der historische Holzeinschlag dargestellt. Aufbauend auf der amtlichen Holzeinschlagsstatistik nach Destatis führt das Thünen-Institut eine Einschlagsrückrechnung durch, um auch Holzentnahmen, die nicht in der amtlichen Statistik erfasst werden, zu bilanzieren. In der

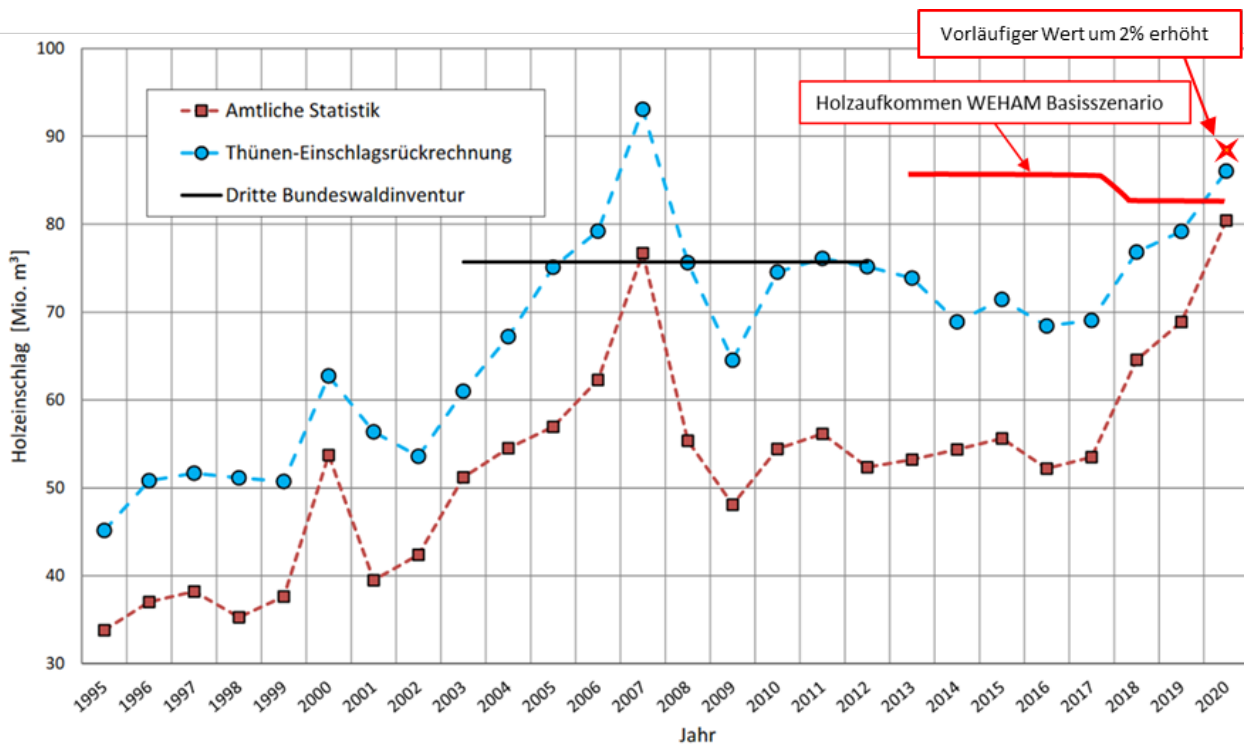
¹ Der ausstehende Projektionsbericht 2021 ist noch nicht verfügbar und der Bericht aus dem Jahre 2019 daher derzeit die aktuellste verfügbare Projektion.

² Die lebende Biomasse umfasst ober- und unterirdische Biomasse der lebenden Bäume im Wald. Zusätzlich speichern Streu, Totholz und Boden Kohlenstoff im Wald, die aber hier nicht mitbetrachtet werden.

Zeitreihe zeigt sich, dass seit den 2000er Jahren der Holzeinschlag deutlich angestiegen ist. Der mittlere Holzeinschlag betrug im Zeitraum 2004 bis 2020 ca. 75 Mio. m³ Erntefestmeter³. In Zeiten starker Störungen liegt der Holzeinschlag aber deutlich höher. Im Zusammenhang mit den Sturmschäden durch den Orkan Kyrill im Jahr 2007 stieg der Holzeinschlag auf einen Rekordwert von 93,1 Mio. m³. Auch mit den starken Störungen (Sturm, Trockenheit, Borkenkäferbefall) in den drei Extremjahren 2018 bis 2020 erhöhte sich der Holzeinschlag deutlich. Für das Jahr 2020 wird bereits ein vorläufiger rückgerechneter Einschlagwert in Höhe von 86,1 Mio. m³ ausgewiesen. Dieser Wert wird sehr wahrscheinlich noch weiter nach oben korrigiert werden, wie dies auch der Fall für das Jahr 2019 war: Der vorläufige rückgerechnete Wert aus dem Jahr 2019 wurde von 77,6 Mio. m³ um etwa 2% auf 79,2 Mio. m³ im Jahr 2020 korrigiert. Mit einer vergleichbaren Korrektur würde sich der Holzeinschlag für das Jahr 2020 auf 87,8 Mio. m³ belaufen (Abbildung 2).

Im Folgenden werden die in Abbildung 2 dargestellten Holzeinschlagswerte der Einschlagrückrechnung des Thünen-Instituts als Basis für weitere Darstellungen verwendet. Dabei wird für das Jahr 2020 der um 2% korrigierte Wert angesetzt.

Abbildung 2: Entwicklung des Holzeinschlags in Deutschland in Mio. m³ Erntefestmeter nach amtlicher Statistik und Einschlagsrückrechnung, sowie Holzaufkommen des WEHAM-Basisszenarios



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Daten zur Einschlagsrückrechnung (ERR) aus Jochem et al. (2020) und vorläufige Schätzung für das Jahr 2020 sowie Daten-Download unter <https://www.thuenen.de/de/wf/zahlen-fakten/waldwirtschaft/holzeinschlag-und-rohholzverwendung/>. Die vorläufigen Einschlagsrückrechnungswerte im Jahr 2020 werden für Nadelholz um 2,2% und für Laubholz um 1,5% erhöht (Mittelwert: 2,0%, siehe Text). Daten des WEHAM-Basisszenarios verfügbar unter <https://bwi.info/>.

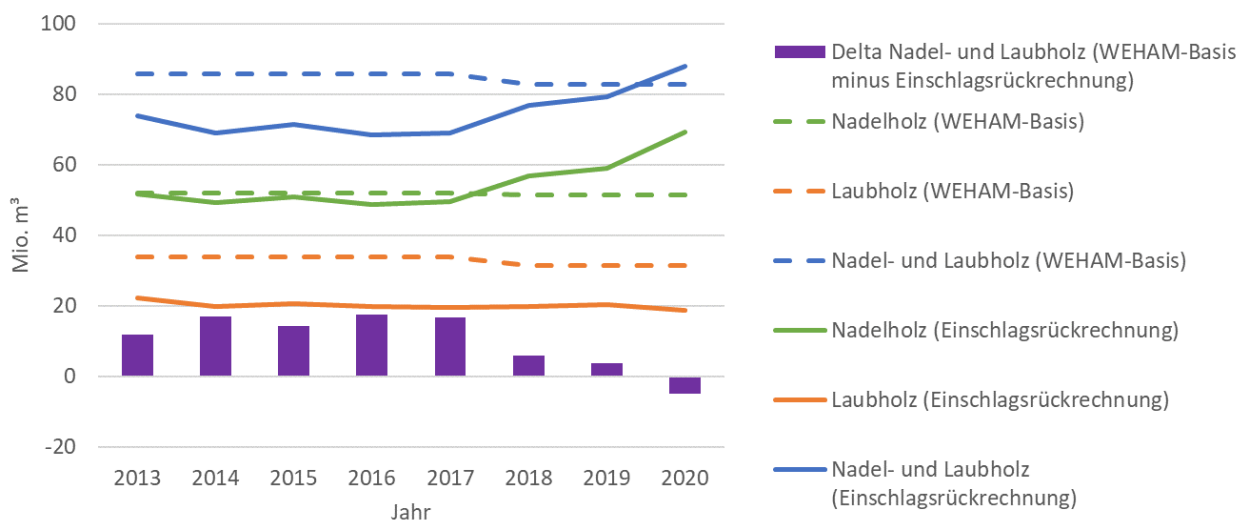
³ Ein Erntefestmeter (Efm) entspricht einem Vorratsfestmeter Holz im m³ abzüglich ca. 10 % Rindenverluste und ca. 10 % Verluste bei der Holzernte. Für die Umrechnung gelten baumartenspezifische Umrechnungsfaktoren.

In Zeiten erhöhter Störungen nimmt der Anteil an Schadholz deutlich zu. So stammte im Jahr 2007 45% des Holzeinschlages aus Schadholz, das überwiegend aus Windwurf entstand.⁴ Der Zeitraum insgesamt von 2002 bis 2007 war durch starke Waldschäden (2002 Orkan Janette, 2003 Dürre, 2007 Orkan Kyrill) geprägt. Die Bundeswaldinventur 2012 ermittelte die durchschnittliche Holzentnahme für den Zeitraum 2002-2012 (in Abbildung 2 als Linie dargestellt), mit Hilfe welcher die jährliche Einschlagsrückrechnung erstellt wurde. Im Zeitraum 2008 bis 2012 traten dagegen nur geringere Schäden auf (siehe Details in Abbildung 5). In den Jahren 2018, 2019 und 2020, in denen erneut hohe Holzeinschläge zu verzeichnen waren, betrug der Gesamt-Schadholzanteil 49%, 67% und 75%, mit einem sehr hohen Anteil an Schadholz durch Insektenbefall (18%, 46% und 54%).⁵ Abbildung 2 stellt auch bereits dar, in welcher Höhe das erwartete Holzaufkommen des WEHAM-Basisszenarios liegt, das für die Projektion der Senke im Projektionsbericht der Bundesregierung verwendet und im Folgenden diskutiert wird.

3.2 Vergleich des historischen Holzeinschlages mit Modellannahmen

Mit dem Holzaufkommensmodell WEHAM werden Szenarien für das zu erwartende Rohholzpotezial in Deutschland für die Periode 2013 bis 2052 simuliert. Die Annahmen für die Waldbewirtschaftung im WEHAM-Basisszenario wurden gemeinsam mit den Bundesländern erarbeitet und beruhen auf Erfahrungen aus den Jahren vor 2016 sowie bestimmten Annahmen für die Zukunft (BMEL 2016).

Abbildung 3: Entwicklung des Holzeinschlages in Mio. m³ Erntefestmeter nach amtlicher Statistik und Einschlagsrückrechnung sowie des modellierten Rohholzaufkommens nach WEHAM-Basisszenario



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Daten zur Einschlagsrückrechnung (ERR) aus Jochem et al. (2020) und vorläufige Schätzung für das Jahr 2020 sowie Daten-Download unter <https://www.thuenen.de/de/wf/zahlen-fakten/waldwirtschaft/holzeinschlag-und-rohholzverwendung/>. Die vorläufigen Werte im Jahr 2020 werden für Nadelholz um 2,2% und für Laubholz um 1,5% erhöht (Mittelwert: 2,0%, siehe Text). Daten zum WEHAM-Basisszenario (<https://bwi.info/>). WEHAM-Basis = WEHAM-Basisszenario. Die lila Balken zeigen die Differenz zwischen WEHAM Basisszenario und den Daten aus der Einschlagsrückrechnung.

⁴ https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/02/PD20_N006_413.html

⁵ Destatis-Code 41261-0003 – Schadholzeinschlag: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=statistic&levelindex=0&levelid=1627164433397&code=41261#abreadcrumb>, sowie ältere Jahrgänge.

Somit liegen für den Zeitraum von 2013 bis 2020 zwei Datensätze vor, die das Holzaufkommen beschreiben. Zum einen die Holzeinschlagsrückrechnung des Thünen-Institutes und die modellierten Werte (Rohholzpotenzial) aus dem WEHAM-Basisszenario. Diese Werte können miteinander verglichen werden (Abbildung 2 und Abbildung 3):

- Nadelholz: Für den Zeitraum von 2013 bis 2017 ist der tatsächliche Nadelholzeinschlag durch das WEHAM-Basisszenario gut abgebildet worden, wurde aber im Mittel um 1,8 Mio. m³/Jahr (3,7%) überschätzt. Dieser Zeitraum war durch geringe Schäden (z.B. Sturm und Käferkalamitäten) geprägt. Ab dem Jahr 2018 liegt das modellierte Nadelrohholzaufkommen deutlich niedriger als die berichteten Werte des Nadelholzeinschlags, da WEHAM die starken Störungen und damit einhergehenden Erntemaßnahmen in den Jahren 2018 bis 2020 nicht vorhersehen konnte.
- Laubholz: Die tatsächliche Laubholzerntemenge liegt über den gesamten Zeitraum von 2013 bis 2020 um 11,2 bis 14,5 Mio. m³/Jahr niedriger als das modellierte Laubrohholzpotenzial (Mittelwert der Abweichung 12,9 Mio. m³/Jahr, ca. 39% geringer).
- Für die Summe des Laub- und Nadelholzeinschlags liegen die realen Werte im Zeitraum von 2013-2020 im Mittel um 10,4 Mio. m³/Jahr (12 %) niedriger als die projizierten Werte. Für den Zeitraum 2013-2017 mit geringen Störungen liegt der Mittelwert der Abweichung bei 15,4 Mio. m³/Jahr (22%).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass das WEHAM-Basisszenario in den ersten acht Jahren der Projektion eine deutlich höhere Rohholzernte annimmt als die Menge, die tatsächlich eingeschlagen wurde. Dies führt zu zwei entscheidenden Divergenzen:

- Im Jahr 2013 startet das WEHAM-Basisszenario mit dem Ist-Zustand aus der Bundeswaldinventur 3 (BWI-3) aus dem Jahr 2012. Die Bewirtschaftungsannahmen basieren auf den Erfahrungen vor dem Jahr 2016 sowie der Annahme einer regelmäßigen Durchforstung und hoher Holzeinschläge. Dadurch wird der Holzeinschlag (Rohholzpotenzial) bis 2020 im WEHAM-Basisszenario im Vergleich zur Realität überschätzt (lila Balken in Abbildung 2). Folglich liegt im WEHAM-Basisszenario im Jahr 2020 ein Waldbestand vor, der von den tatsächlichen Gegebenheiten deutlich abweicht. Dies ist insbesondere für den Laubbaumbestand der Fall. Denn im WEHAM-Basisszenario wurde der Laubholzeinschlag durchschnittlich um 39 % höher geschätzt, als er in den vergangenen Jahren zu beobachten war (orange Linien, Abbildung 2).
- Die Intensität des Holzeinschlags hat einen starken Einfluss auf die Entwicklung des Holzvorrats auf der Waldfläche und damit auch der Senkenleistung. Aufgrund des zu hoch eingeschätzten Rohholzpotenzials im WEHAM-Basisszenario wird im Zeitraum von 2013 bis 2020 die Senkenleistung des Waldes um etwa 6,5 Mio. t CO₂e/Jahr unterschätzt. In dem Zeitraum von 2013 bis 2017 sind es im Schnitt sogar 9,6 Mio. t CO₂e/Jahr aufgrund der geringeren Störungen.⁶

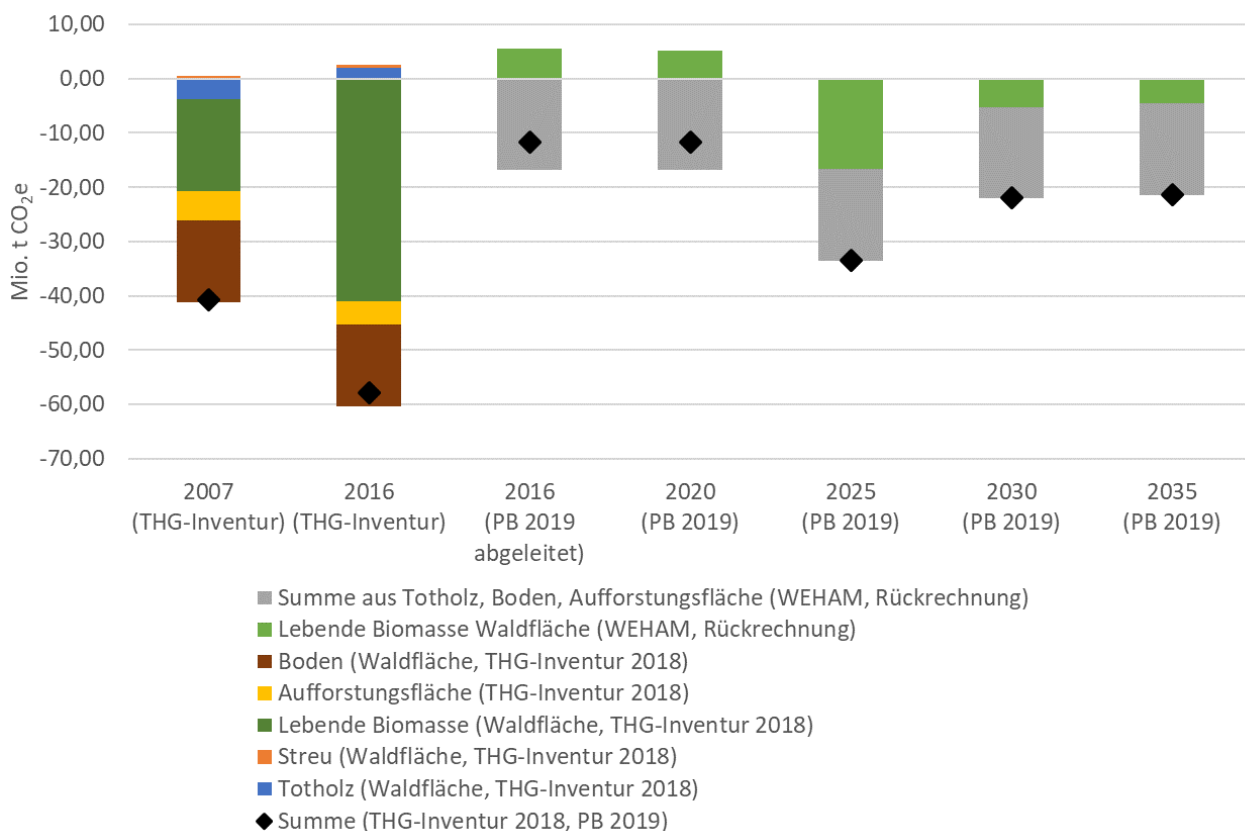
3.3 Implikationen für die projizierte Senkenleistung des Waldes

Für die Veränderung der Senkenleistung ist nicht nur die Holzentnahme, sondern die weitere Waldbewirtschaftung und deren Auswirkungen auf die Biomasse der Waldflächen relevant. Dies wird im Folgenden betrachtet.

⁶ Für den Zeitraum mit geringen Schäden (Abbildung 5) wird durch die Holzentnahme die Senkenleistung um 0,621 t CO₂/m³ verringert. Bei einem zu hohen Einschlag von 10,4 Mio. m³/Jahr ergibt sich eine verpasste Senkenleistung der Waldfläche von 6,5 Mio. t CO₂/Jahr und bei 15,4 Mio. m³/Jahr von 9,6 Mio. t CO₂/Jahr. Die Werte für die verpasste Senkenleistung liegen wahrscheinlich höher, da im WEHAM-Basisszenario vor allem ein zu hoher Einschlag für Laubholz mit einer höheren Dichte auftritt, der genutzte Zusammenhang aber einen Mittelwert über die gesamte Holzentnahme in Deutschland darstellt.

Im WEHAM-Basisszenario werden der Holzzuwachs und Holzabgang modelliert. Zum Abgang werden neben dem Holzeinschlag durch Endnutzung auch die Holzentnahmen der Durchforstung eingerechnet. In den ersten zehn Jahren der Modellierung im WEHAM-Basisszenario (2013-2023) ist der Abgang höher als der Zuwachs, so dass der mittlere Biomassevorrat auf der Waldfläche abnimmt und die Waldfläche so rechnerisch zu einer CO₂-Quelle wird. In den Jahren 2023 bis 2032 wird eine Vorratzzunahme und damit eine CO₂-Senke erwartet (der Zuwachs ist größer als der Abgang), die sich in den Folgejahren auf +/- Null einpendelt (vgl. Daten unter <https://bwi.info/>).

Abbildung 4: THG-Emissionen der Wald- und Aufforstungsfläche im Projektionsbericht 2019



Quelle: Eigene Darstellung nach THG-Inventur 2018 (UBA 2018 und CRF-Tabellen) und Projektionsbericht 2019. Summe ohne lebende Biomasse umfasst für die Waldfläche Boden, Totholz und Streu sowie Aufforstungsflächen (Fortschreibung der Werte der für das Jahr 2016 aus der THG-Inventur in UBA 2018). Die Rückrechnung zur lebenden Biomasse ergibt sich aus der Differenz von Summe PB 2019 und Summe ohne lebende Biomasse. Die lebende Biomasse im Jahr 2016 wird in Relation des Zuwachses und Abgangs (Daten unter <https://bwi.info/>) abgeleitet.

Die Vorratsänderung auf der Waldfläche wirkt sich direkt auf die Berechnung ihrer Senkenleistung aus. Allerdings ist sie nicht 1:1 übersetzbar, da Unterschiede in der Holzdichte der Baumarten in die Berechnung mit eingehen. In Abbildung 4 ist die THG-Bilanz auf der Waldfläche und für die Aufforstungsflächen in den Jahren 2007 und 2016 (THG-Inventur 2018) dargestellt. Im Jahr 2016 zeigt sich eine hohe Senkenleistung der Waldfläche, die überwiegend durch die lebende Biomasse (-41,0 Mio. t CO₂e) und den Boden (-15,2 Mio. t CO₂e) geleistet wird. Leichte Emissionen von 2,1 Mio. t CO₂e traten Veränderungen beim Totholz und von 0,5 Mio. t CO₂e bei der Streu auf. Auf Aufforstungsflächen (Summe lebende Biomasse, Boden, Totholz und Streu) wurde eine Senkenleistung von -4,2 Mio. t CO₂e berichtet. In Summe stellte die Wald- und Aufforstungsfläche im Jahr 2016 eine Senke von -57,8 Mio. t CO₂e dar (Abbildung 4). Im Jahr 2007 war durch die

Sturmschäden vor allem die Senkenleistung der lebenden Biomasse mit -17,0 Mio. t CO₂e deutlich niedriger, dagegen stieg die Senkenleistung des Totholzes auf -3,8 Mio. t CO₂e. In Summe wurde auf der Wald- und Aufforstungsfläche im Jahr 2007 eine Senke von -40,7 Mio. t CO₂e erreicht (Abbildung 4).

Im Projektionsbericht 2019 sind nur Summenwerte für die Emissionen der Wald- und Aufforstungsfläche angegeben und nicht die einzelnen Kohlenstoffspeicher wie Biomasse, Böden oder Totholz. Bis auf die Werte für die lebende Biomasse der Waldfläche erfolgte aber die Fortschreibung anhand der historischen Daten des THG-Inventars aus dem Jahr 2018 (UBA 2018 und CRF-Tabellen). Eine Rückrechnung der lebenden Biomasse der Waldfläche⁷ zeigt – ähnlich wie bei der Entwicklung des Holzvorrats –, dass die lebende Biomasse der Waldfläche im WEHAM-Basisszenario im Jahr 2020 zu einer CO₂-Quelle von 5,2 Mio. t CO₂e wird (Abbildung 4). In den Folgejahren wird im WEHAM-Basisszenario die lebende Biomasse zu einer Senke von -5 bis -17 Mio. t CO₂e. Allerdings unterscheiden sich die Werte aus der Treibhausgasbilanz, die auf dem WEHAM-Basisszenario aufbauen sehr deutlich von den Angaben in der THG-Inventar aus dem Jahr 2018 (UBA 2018). Die Differenz für das Jahr 2016 und den Ergebnissen des WEHAM-Basisszenarios liegt bei 46 t Mio. CO₂e.

Veränderungen der Altersklassenstruktur über die Zeitachse können zu Abweichungen der zukünftigen Senkenleistung führen. Laut WEHAM-Basisszenario nimmt der Zuwachs von 2013 bis 2052 von 103 Mio. m³ um 7,1% auf von 96 Mio. m³ ab, da z.B. ältere Waldbestände weniger stark zuwachsen als jüngere (vgl. Daten unter <https://bwi.info/>). Bis zum Jahr 2032 liegt die Abnahme des Zuwachses im Szenario bei 2,5% und bis zum Jahr 2042 bei 4,9%. Eine Änderung der Produktivität in Folge des Klimawandels wird bei WEHAM nicht berücksichtigt. Je nach Waldstruktur und Artenzusammensetzung kann bei moderaten Temperaturänderungen und ansteigenden Niederschlägen sogar eine Zunahme der Senkenleistung erwartet werden (Bohn et al. 2018; Gutsch et al. 2018; Lasch-Born et al. 2015).

3.4 Fazit

Das WEHAM-Basisszenario bezieht sich auf eine Datenbasis aus den Jahren 2002 bis 2012. Dieser Zeitraum ist durch ein anderes Niveau der Holzentnahme und Senkenleistung des Waldes geprägt als die Jahre 2013-2020. Die Holzentnahme wird vom Szenario gegenüber der tatsächlichen Holzernte überschätzt (vor allem für Laubholz), die Senkenleistung dadurch unterschätzt. Aus diesen Gründen gibt es starke Abweichungen zwischen der im WEHAM-Basisszenario projizierten und der tatsächlichen Entwicklung des Waldes.

Der Grund für die Abweichung liegt darin, dass das WEHAM-Modell das potenzielle Holzaufkommen simuliert, nicht den wahrscheinlichen (vom Markt nachgefragten) Holzeinschlag. Die in den THG-Inventaren dokumentierte hohe historische Senkenleistung der Wälder in Deutschland ergibt sich daraus, dass die Holzentnahmen in der Vergangenheit unter den Zuwächsen lagen. Damit nimmt das WEHAM-Basisszenario eine stärkere Nutzungsintensität an, die auch das tatsächliche

⁷ Um die lebende Biomasse der Waldfläche für den Projektionsbericht abzuschätzen, wurde als einfache Rückrechnung die Summe der übrigen Emissionen aus dem Jahr 2016 (Boden, Totholz und Streu der Waldfläche sowie lebenden Biomasse, Boden, Totholz und Streu der Aufforstungsfläche) von den im Projektionsbericht angegebenen Summenwerten abgezogen (Abbildung 4). Diese Rückrechnung eignet sich lediglich als grobe Abschätzung, da bei den Modellierungsarbeiten zum Projektionsbericht auch eine dynamische Entwicklung der Flächen erfolgt. Diese Daten sind aber nicht öffentlich verfügbar.

Aufkommen von Holz für die energetische und stoffliche Verwendung und damit verbundene Effekte auf den Kohlenstoffspeicher in Holzprodukten wahrscheinlich überschätzt.

Durch die massiven Störungen der letzten drei Jahre wird der Unterschied zwischen Projektion und tatsächlicher Entwicklung der Holzentnahme geringer. Allerdings verschlechtert sich die Übereinstimmung von Projektion und Statistik bezüglich der spezifischen Entnahmen für Nadel- und Laubholz. Es ist davon auszugehen, dass die Waldstruktur, die für die Senkenleistung mit verantwortlich ist, durch die vorherigen Abweichungen beeinflusst wurde, da mehr Nadelholz und weniger Laubholz entnommen wurde. Dies führt dazu, dass sich die Altersklassenstruktur und Baumartenverteilung verschieben. Werden diese Abweichungen ignoriert, wachsen die Unsicherheiten der Projektion durch die Pfadabhängigkeit.

Politische Entscheidungen, wie z.B. Zielsetzung und Maßnahmenplanung im Rahmen des Klimaschutzgesetzes benötigen eine robuste Datengrundlage und Projektion des dynamischen Systems Wald, welche auch die aktuellen Daten berücksichtigt. Dies ist mit der Projektion des WEHAM-Basisszenarios ab 2013 nicht mehr gegeben.

4 Wie ein alternativer Ansatz zur Fortschreibung der Emissionen der lebenden Biomasse auf der Waldfläche aussehen kann

4.1 Zusammenhang zwischen Holzeinschlag und Senkenleistung

Im aktuellen THG-Inventar aus dem Jahr 2021 (UBA 2021) wird als methodische Weiterentwicklung die Emissionen der lebenden Biomasse der Waldfläche mit dem Holzeinschlag in einen Zusammenhang gestellt. In Abbildung 5 ist die zeitliche Entwicklung des Holzeinschlags und der Senkenleistung der lebenden Biomasse der Waldfläche für den Zeitraum von 2002 bis 2007 mit starken Schäden (2002 Orkan Janette, 2003 Dürre, 2007 Orkan Kyrill) und von 2008 bis 2017 mit geringeren Schäden dargestellt. Wird die Senkenleistung der lebenden Biomasse der Waldfläche gegen den Holzeinschlag aufgetragen, zeigt sich für beide Zeiträume ein starker linearer Zusammenhang, der aus der angewandten Methode im THG-Inventar resultiert. Zudem zeigt sich:

- In Jahren mit **geringen Schäden** kann eine hohe Senkenleistung der lebenden Biomasse auf der Waldfläche erwartet werden (Datenbasis 2008 bis 2017).
- In Jahren mit **starken Schäden** ist die zu erwartende Senkenleistung der lebenden Biomasse auf der Waldfläche deutlich geringer (Datenbasis 2002 bis 2007).

Mit diesem aus historisch berichteten Daten abgeleiteten Zusammenhang kann die Senkenleistung der lebenden Biomasse auf der Waldfläche in Abhängigkeit von Holzeinschlag und angenommenen Schäden geschätzt werden (Abbildung 5): Wird mehr Holz eingeschlagen, verringert sich die Senkenleistung der Waldfläche. Wird weniger Holz eingeschlagen, steigt die Senkenleistung der Waldfläche.

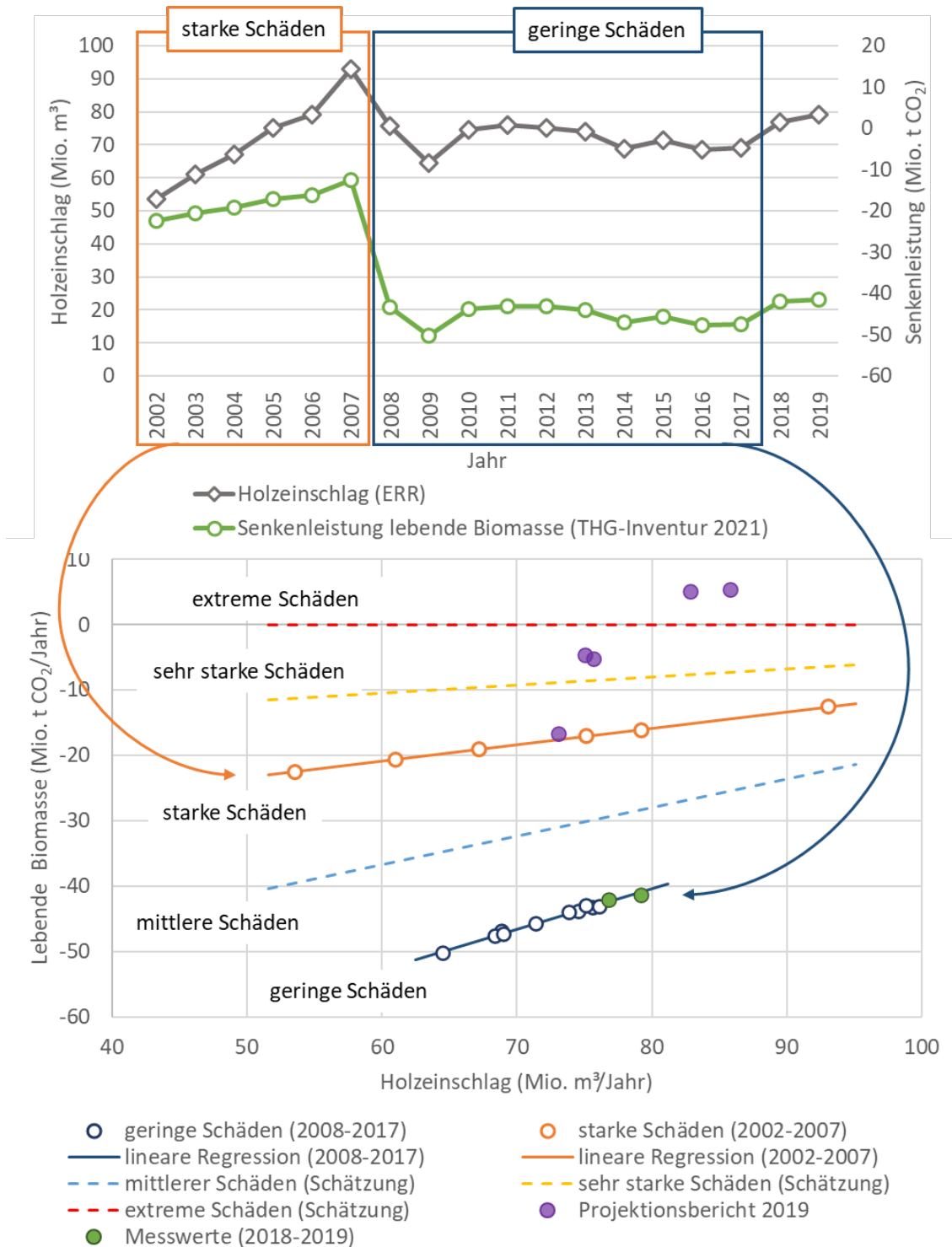
Zusätzlich zu den im National Inventory Report (NIR, UBA 2021) berichteten Situationen mit geringen und starken Schäden wurden in Abbildung 5 drei weitere Situationen hypothetisch angenommen:

- **Extreme Schäden:** Es wird angenommen, dass extreme Schäden dazu führen, dass die lebende Biomasse keine Senkenleistung erbringt.

- **Sehr starke Schäden:** Es wird eine Situation angenommen, die durch stärkere Schäden als in den Jahren 2002 bis 2007 geprägt ist, aber noch eine geringe Senkenleistung erreicht.
- **Mittlere Schäden:** Es wird eine Intensität der Schäden angenommen, die im Mittel zwischen der Situation von geringen und starken Schäden liegt. Dies entspricht etwa der Situation in den Jahren 2002 bis 2012, auf die sich das WEHAM-Basisszenario als zentrale Datenquelle bezieht.

Für die Jahre 2018 und 2019 wurden im THG-Inventar aus dem Jahr 2021 (UBA 2021 und CRF-Tabellen) eine Senkenleistung entsprechend des Zusammenhangs in den Jahren 2008-2017 zugeordnet, da die Daten der Bundeswaldinventur 4 (BW-4) noch nicht vorliegen. Es ist aber zu erwarten, dass die Werte aufgrund der sehr starken Schäden in den Jahren 2018 bis 2020 deutlich korrigiert werden. Wo im Zeitraum 2018 bis 2022 die Senkenleistung tatsächlich liegen wird, ist deshalb unklar. Mit Ergebnissen der Auswertung der BWI-4 ist frühestens ab 2023 zu rechnen.

Abbildung 5: Zusammenhang zwischen Holzeinschlag und Änderungen der lebenden Biomasse auf der Waldfläche ausgedrückt in CO₂-Emissionen



Quelle: Eigene Darstellung. Holzeinschlag 2002 bis 2019 nach Jochem et al. (2020, siehe Abbildung 2); THG-Emissionen der lebenden Biomasse auf der Waldfläche nach THG-Inventur Submission 2021 (UBA 2021 und CRF-Tabellen); Rohholzpotenzial im WEHAM-Basisszenario (<https://bwi.info/>); THG-Emissionen der lebenden Biomasse im Projektionsbericht (UBA 2019) auf Basis des WEHAM-Basisszenario (siehe Abbildung 4). EER = Einschlagsrückrechnung.

Geradengleichungen:

- geringe Schäden: $y = 0,621 x - 89,82$
- mittlere Schäden: $y = 0,436 x - 62,74$
- starke Schäden: $y = 0,251 x - 35,94$
- sehr starke Schäden: $y = 0,125 x - 18,08$
- extreme Schäden: $y = 0$

4.2 Differenzierung von Effekten durch Schadereignisse bei der Projektion der Senkenleistung

Auf Basis des Zusammenhangs, der in Abbildung 5 dargestellt ist, wurde am Öko-Institut das Fortschreibungstool "simple forest projection tool" (SIFOP) entwickelt. Mit SIFOP können Varianten zur möglichen Entwicklung der Senkenleistung der lebenden Biomasse auf der Waldfläche berechnet werden. In Tabelle 1 sind die getroffenen Annahmen zusammengestellt. Für die Jahre 2018 bis 2021 wird jeweils eine Schadenssituation ausgewählt. Ab dem Jahr 2022 wird die Schadenssituation in vier Ausprägungen angenommen (geringe, mittlere, starke und sehr starke Schäden), um die Varianten abzubilden.

Der Holzeinschlag wird in den Jahren 2018 bis 2020 aus Abbildung 2 übernommen. Für die Jahre 2021 und 2022 wird der Holzeinschlag kontinuierlich reduziert und ab dem Jahr 2023 mit 6,6 m³/ha*Jahr (72,1 Mio. m³, Mittelwert der Jahre 2008-2017) fortgeschrieben (Tabelle 1).

In Abbildung 6 ist die historische Entwicklung der lebenden Biomasse der Waldfläche sowie deren Fortschreibung dargestellt. Dabei differenziert die Fortschreibung ab dem Jahr 2022 nach den Varianten, die in Tabelle 1 beschrieben sind. Auf diese Weise erfolgt eine Extrapolation bis zum Jahr 2035, dem Zeithorizont des Projektionsberichts 2019. Die historische Senkenleistung der lebenden Biomasse lag in den Jahren 2008 bis 2017 bei etwa -45 Mio. t CO₂e/Jahr. Mit der Variante „geringe Schäden“ wird dieses Niveau fortgeschrieben. Im Zeitraum von 2002 bis 2007 wurde eine Senkenleistung der lebenden Biomasse von knapp -20 Mio. t CO₂e/Jahr erreicht. In der Fortschreibung entspricht dies der Variante „starke Schäden“. Die Fortschreibung in der Variante „mittlere Schäden“ nimmt mit etwa -32 Mio.t CO₂e/Jahr eine Zwischenstellung zwischen den Varianten „geringe Schäden“ und „starke Schäden“ ein. Unter der Annahme der Variante „sehr starke Schäden“ liegt die Senkenleistung der lebenden Biomasse nur noch bei -10 Mio. t CO₂e/Jahr. Im Jahr 2020 wird die Situation „extremer Schäden“ angenommen, so dass die Senkenleistung der lebenden Biomasse auf null zurückgeht.

Mit den Varianten in Abbildung 6 spannt sich ein Korridor der zu erwartenden Senkenleistung der lebenden Biomasse der Waldfläche von etwa -45 bis -10 Mio. t CO₂e/Jahr auf. Ob in Zukunft eine eher höhere oder niedrige Senkenleistung eintreten wird, hängt vor allem von der Häufigkeit, Art und Intensität der Schadereignisse (Dürren, Stürme, Insekten, Pathogene etc.) in Folge des Klimawandels ab (Seidl et al. 2017).

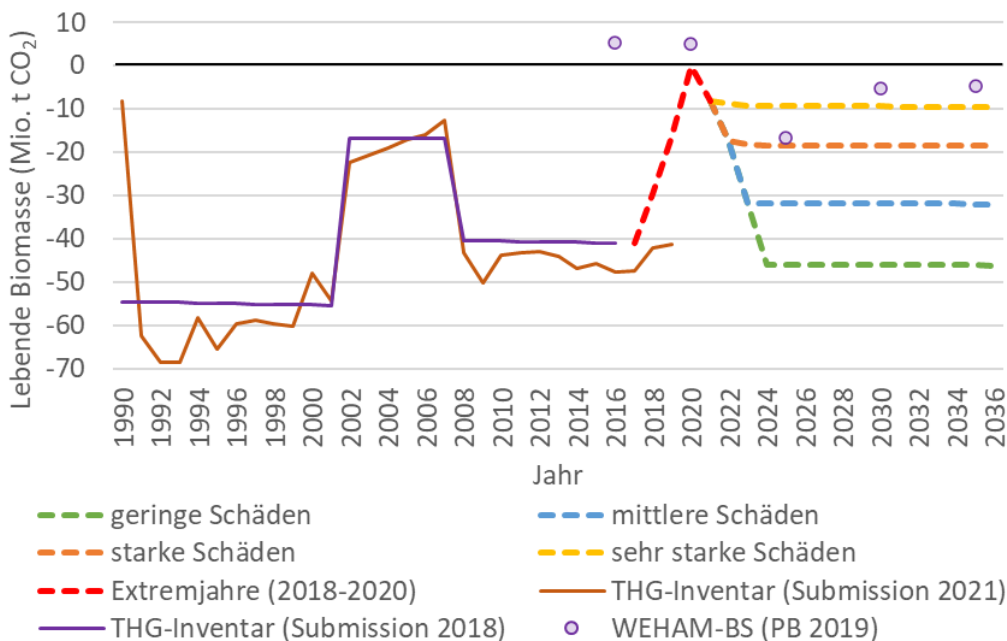
Im Vergleich zu diesem Korridor liegen die Werte, die mit dem WEHAM-Basisszenario im Projektionsbericht 2019 modelliert werden, an der oberen Grenze bzw. außerhalb des Korridors. Dies ist der Fall, obwohl das WEHAM-Basisszenario mit der BWI-3 als zentrale Datenquelle auf einer Situation aufgebaut ist, die vergleichbar mit der Variante „mittlere Schäden“ ist.

Tabelle 1: Annahmen zu den Varianten zur Fortschreibung der Emissionsbilanz der lebenden Biomasse der Waldfläche

Variante	geringe Schäden	mittlere Schäden	starke Schäden	sehr starke Schäden	alle Varianten
Beschreibung	Schäden wie im Zeitraum von 2008-2017	geringe und starke Schäden halten sich die Wage (2002-2012)	Schäden wie im Zeitraum von 2002-2007	Schäden deutlich höher als im Zeitraum von 2002-2007	Holzeinschlag in 2019/2020 wie berichtet/geschätzt; ab 2023 Abnahme bis auf den Mittelwert von 2007-2017
Einstellungen	Annahme zu Schäden				Holzeinschlag
2018	mittlere Schäden				7,1 m ³ /ha (77,2 Mio. m ³)
2019	starke Schäden				7,3 m ³ /ha (79,6 Mio. m ³)
2020	extreme Schäden				8,1 m ³ /ha (88,4 Mio. m ³)
2021	sehr starke Schäden				7,5 m ³ /ha (81,8 Mio. m ³)
2022	starke Schäden	starke Schäden	starke Schäden	sehr starke Schäden	7,0 m ³ /ha (76,4 Mio. m ³)
2023	mittlere Schäden	mittlere Schäden	starke Schäden	sehr starke Schäden	6,6 m ³ /ha (72,1 Mio. m ³)
ab 2024	geringe Schäden	mittlere Schäden	starke Schäden	sehr starke Schäden	6,6 m ³ /ha (72,1 Mio. m ³)

Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 6: Modellierung der Emissionsbilanz der lebenden Biomasse der Waldfläche für unterschiedliche Varianten im Vergleich zum Projektionsbericht 2019



Quelle: Eigene Berechnungen. THG-Emissionen der lebenden Biomasse im Projektionsbericht (UBA 2019) auf Basis des WEHAM-Basisszenarios (siehe Abbildung 4).

4.3 Vereinfachter Ansatz bereits im Einsatz für die EU-Berichterstattung

Die EU LULUCF-Verordnung sieht für bewirtschaftete Waldflächen ein Anrechnungsansatz vor, der auf der Erstellung eines vorausschauenden Referenzwerts (Forest Reference Level, FRL) basiert. Dieser soll die erwartete Senkenleistung für den Anrechnungszeitraum 2021-2025 beschreiben, unter der Annahme, dass Waldbewirtschaftungspraktiken des Referenzzeitraums 2000-2009 fortgeführt werden. Im Nationalen Forest Accounting Plan der Bundesregierung an die EU-Kommission aus dem Jahr 2019 (Thünen Institut 2019) wird die von Deutschland verwendete

Methode der Projektion für das FRL beschrieben. Aufbauend auf Bundeswaldinventurdaten wird der Wald in Deutschland in Alters- und Volumenklassen geteilt. Für diese werden aus den historischen Daten Emissionsfaktoren und Flächenanteile ermittelt. Für die Projektion für den Zeitraum 2021-2025 werden die Flächendaten mit einem einfachen statistischen Modell fortgeschrieben. Um die erwartete Senkenleistung für den Anrechnungszeitraum zu berechnen, werden die veränderten Flächenanteile wiederum mit den Emissionsfaktoren multipliziert.

Die Methode wurde von der EU-Kommission begutachtet und als Fortschreibungsmethode akzeptiert (European Commission 2019). Durch die fehlende explizite Berücksichtigung bestimmter Aspekte der Waldbewirtschaftung, wie Durchforstungen, Wirkung der Holzentnahme etc. kann die Methode nur für kürzere Projektionen aussagekräftige Informationen liefern. Deshalb plant die Bundesregierung mit Vorlage aktuellerer Inventurdaten, das FRL neu zu berechnen.

Das FRL für Deutschland wurde von der EU-Kommission in einem Rechtsakt festgeschrieben und sieht für den Zeitraum 2021-2025 einen Wert von rund -34 Mio. t CO₂e vor (European Commission 2020). Dies beinhaltet neben der lebenden Biomasse auch Totholz, Bodenkohlenstoff, sowie Speicherung durch geerntete Holzprodukte. Diese Senkenleistung ist für den Anrechnungszeitraum nach aktuellen THG-Inventardaten zu erwarten, wenn die Waldbewirtschaftung mit der Intensität der Jahre 2000-2009 fortgeführt wird.

4.4 Fazit

Zwischen Senkenleistung und Holzeinschlag besteht ein statistischer Zusammenhang, dessen Niveau abhängig ist vom Auftreten von Schadereignissen. Mit Hilfe dieses Zusammenhangs und aktueller Einschlagsstatistiken, sowie Annahmen zur Intensität von Schäden lassen sich verschiedene Varianten für die Senkenentwicklung der lebenden Biomasse im Wald abschätzen und projizieren.

Der Vorteil dieser Methode zusammen mit der Betrachtung von Varianten ist, dass die Unsicherheit von Schadereignissen auf die aktuelle Senkenleistung realistischer abgebildet werden kann.

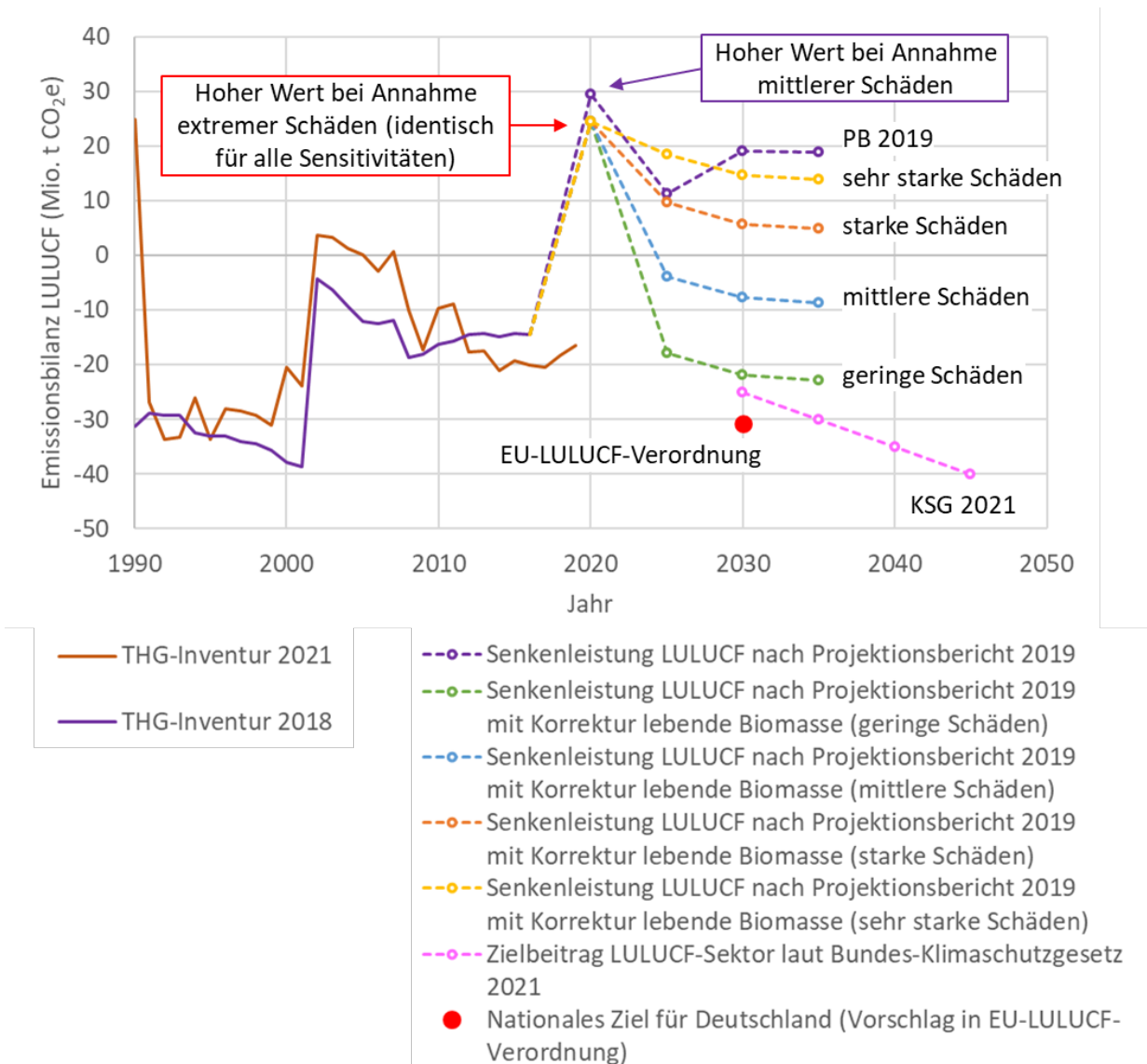
Die Methode beruht auf historischen Daten und trifft die stark vereinfachende Annahme, dass das Verhältnis zwischen Senkenleistung und Holzaufkommen dem entspricht, was in der Vergangenheit durch Inventuren festgestellt wurde.

Auch die Bundesregierung verwendet ähnliche Ansätze in der EU-Berichterstattung, die von der EU-Kommission als Projektionsmethode akzeptiert wurden.

5 Einbindung des alternativen Ansatzes zur Fortschreibung der Emissionen des LULUCF-Sektors

Die Methoden zur Berechnung der Emissionen werden kontinuierlich weiterentwickelt. Dies spiegelt sich in einer Veränderung der Ergebnisse von Berichtsjahr zu Berichtsjahr wider. Die Modellierungen des LULUCF-Sektors im Projektionsbericht 2019 erfolgten auf Basis der Daten des THG-Inventars aus dem Jahr 2018 (UBA 2018) und das letzte berichtete Jahr 2016 ist der Bezugszeitpunkt. Im Jahr 2016 wurden im Inventar 2018 für den LULUCF-Sektor -14,5 Mio. t CO₂e berichtet (Abbildung 7). Im Vergleich zu diesem Bezugszeitpunkt 2016 wurden mit dem THG-Inventar 2021 (UBA 2021) eine Senke von -20,1 Mio. t CO₂e ausgewiesen, die also um 5,6 Mio. t CO₂e größer war als im Inventar von 2018. Bei einer Interpretation der Ergebnisse aus dem Projektionsbericht 2019 ist also zusätzlich eine methodisch bedingte Korrektur von 5 Mio. t CO₂e zu berücksichtigen.

Abbildung 7: Modellierung der Emissionsbilanz der lebenden Biomasse der Waldfläche für unterschiedliche Varianten im Vergleich mit dem Projektionsbericht 2019



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis des Projektionsberichts 2019 (UBA 2019). Als Korrektur der Daten zur Waldfläche sind Werte zur lebenden Biomasse der Waldfläche durch Werte der Varianten in Abbildung 6 ausgetauscht.

In Abbildung 7 sind die historische Entwicklung der Emissionsbilanz im LULUCF-Sektor, die Fortschreibung nach dem Projektionsbericht 2019 (lila Kurve) und die Zielsetzung des Bundes-Klimaschutzgesetzes (rosa Kurve) sowie die Fortschreibung der Varianten nach Tabelle 1 und Abbildung 6 abgebildet. Für die Darstellung der Varianten wurde die Emissionsbilanz der lebenden Biomasse der Waldfläche im Projektionsbericht 2019 (siehe Abbildung 4) durch die Ergebnisse in Abbildung 6 ersetzt. In Summe zeigt sich, dass das Ergebnis der Emissionsbilanz im LULUCF-Sektor sehr stark von den Annahmen zur Fortschreibung der lebenden Biomasse auf der Waldfläche abhängt.

Im Vergleich zu dem zu erwartenden Korridor auf Basis der historischen Zusammenhänge zwischen Holzeinschlag und lebender Biomasse (Abbildung 5) wird wiederum deutlich, dass die Fortschreibung im Projektionsbericht 2019 an der oberen Grenze bzw. außerhalb des zu erwartenden Korridors liegt (Abbildung 7).

Auf der anderen Seite wird selbst mit der Variante „geringe Schäden“ für die Jahre 2030 und 2035 das Ziel des Klimaschutzgesetzes nicht erreicht.

6 Einordnung der Ergebnisse zu den Zielen des Klimaschutzgesetzes

Auf Grundlage der Daten des Projektionsberichts 2019 weist WBW (2021) für das Jahr 2030 eine Differenz zwischen der THG-Emissionsbilanzen des LULUCF-Sektors im Projektionsberichts 2019 und dem Zielwert des Bundes-Klimaschutzgesetzes von 45 Mio. t CO₂e aus (genauer Wert: 44 Mio. t CO₂e). Allerdings schätzt das zu Grunde liegende WEHAM-Basisszenario den zukünftigen Holzeinschlag zu hoch und damit die Senkenleistung des Waldes zu gering ein. Bei einer realistischeren Projektion durch Extrapolation gemessener historischer Daten der Bundeswaldinventur unter der Annahme der Fortsetzung „mittlerer Schäden“ im Wald, reduziert sich die Differenz auf 17,3 Mio. t CO₂e (Abbildung 8). Diese beiden Werte sind aufgrund der methodischen Verbesserungen der THG-Berichterstattung um gut 5 Mio. t CO₂e zu hoch (vgl. THG-Inventur 2018 und 2021 in Abbildung 8), so dass eine Lücke von 39 Mio. t CO₂e bzw. 12,3 Mio. t CO₂e verbleibt (Tabelle 2).

Tabelle 2: Abschätzung der nötigen Steigerung der Senkenleistung der lebenden Biomasse der Waldfläche unter Annahme von WEHAM-Basisszenario und der Variante „mittlere Schäden“

	Projektionsbericht 2019 mit WEHAM-Basisszenario für die lebende Biomasse der Waldfläche	Projektionsbericht 2019 mit der Variante „mittlere Schäden“ für die lebende Biomasse der Waldfläche
Klimaschutzziel 2030	-25,0 Mio. t CO ₂ e	
Emissionsbilanz LULUCF-Sektor	19,0 Mio. t CO ₂ e	-7,7 Mio. t CO ₂ e
Lücke zum Klimaschutzziel 2030	44,0 Mio. t CO₂e	17,3 Mio. t CO₂e
Korrektur durch aktuelle Daten	-5 Mio. t CO ₂ e	
Korrigierte Lücke 2030	39,0 Mio. t CO ₂ e	12,3 Mio. t CO ₂ e
Maßnahmen		
Moorbodenschutz	-5,0 Mio. t CO ₂ e	
Humuserhalt und -aufbau	-4,0 Mio. t CO ₂ e	
Steigerung der Waldsenke	-30,0 Mio. t CO ₂ e	-3,3 Mio. t CO ₂ e

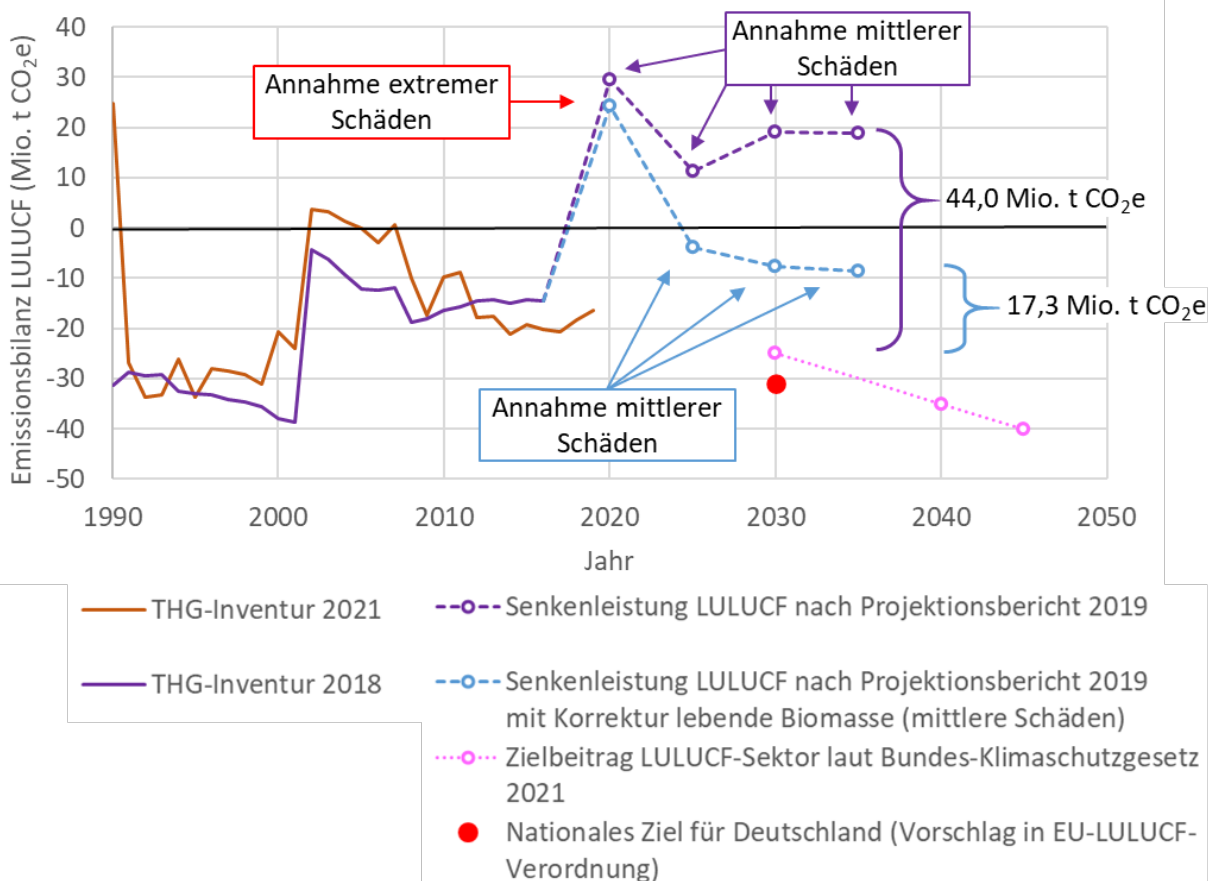
Quelle: Eigene Zusammenstellung.

Um die Lücke zu dem Zielwert des Klimaschutzgesetzes zu schließen, bedarf es umfassender Maßnahmen. Mit der Maßnahme Moorbodenschutz (Renaturierung, Wiedervernässung) sollen laut Begründung des Klimaschutzgesetzes bis 2030 eine THG-Minderung von -5 Mio. t CO₂e erreicht werden). Außerdem soll mit Maßnahmen zum Humuserhalt und -aufbau⁸ in landwirtschaftlich genutzten Mineralböden eine weitere THG-Minderung erreicht werden. Mit der bereits bestehenden

⁸ Umwandlung von Ackerland auf mineralischen Böden in Grünland, über dauerhafte Anpassungen der Fruchtfolgegestaltung bis hin zum Agroforst (Sofortprogramm 2022 der Bundesregierung), <https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Downloads/klimaschutz-sofortprogramm-2022.pdf>

Finanzierung im Klimaschutzprogramm 2030 kann bis zum Jahr 2030 mit einer THG-Minderung von 1 Mio. t CO₂e/Jahr gerechnet werden (siehe Harthan et al. 2020).

Abbildung 8: Darstellung der historischen THG-Emissionsbilanz des LULUCF-Sektors sowie deren Fortschreibung mit Annahmen für die lebende Biomasse der Waldfläche unter dem Einfluss der Variante „mittlere Schäden“ im Vergleich zum Projektionsbericht 2019



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis des Projektionsberichts 2019 (UBA 2019). Als Korrektur der Daten zur Waldfläche sind Werte zur lebenden Biomasse der Waldfläche durch Werte der Variante „mittlere Schäden“ ausgetauscht. Dabei wurden für den Zeitraum 2018-2022 bereits starke bis extreme Schäden angenommen (vgl. Tabelle 1 und Abbildung 6).

Insbesondere eine Ausweitung von Agroforstsystemen könnte hier eine Rolle spielen: bei einer Senkenleistung von 8 t CO₂e/(ha*Jahr)⁹ kann mit einer Fläche von 375.000 ha eine Senkenleistung von 3 Mio. t CO₂e erreicht werden. Dies ist z.B. durch eine Umnutzung von Anbauflächen für konventionelle Biokraftstoffe (ca. 1 Mio. ha in 2019, (FNR 2020)) möglich. Auch eine Aufforstung von Ackerflächen wäre eine mögliche Maßnahme. Unter diesen Annahmen (siehe Tabelle 2) verbleiben folgende Restemissionen, die durch eine Steigerung der Senkenleistung für die lebende Biomasse der Waldfläche erreicht werden müssen:

- Projektionsbericht 2019 mit WEHAM-Basisszenario: **30,0 Mio. t CO₂e/Jahr**
Um eine mögliche zusätzliche Senkenleistung in vergleichbarer Dimension zu erreichen, müsste

⁹ Umwandlung von Ackerland auf mineralischen Böden zu dauerhaften Kulturen (Kurzumtriebsplantagen, Baumschulen, Weihnachtsbaumplantagen) = 7,94 t CO₂e/(ha*Jahr)
Umwandlung von Ackerland auf mineralischen Böden zu Gehölzen = 9,57 t CO₂e/(ha*Jahr) (CRF-Tabellen, UBA (2021)).

voraussichtlich nicht nur in ökologisch stabilen, sondern auch in ökologisch labilen Waldbeständen der Vorrat aufgebaut werden. Letzteres birgt das deutliche Risiko, dass dieser Vorrat nicht längerfristig gehalten werden kann.

- Projektionsbericht 2019 mit der Variante „mittlere Schäden“: **3,3 Mio. t CO₂e/Jahr**
Die hier verhältnismäßig kleine notwendige zusätzliche Senkenleistung kann voraussichtlich durch einen Vorratsaufbau in ökologisch stabilen Waldbeständen erreicht werden. Das Risiko, dass diese Vorräte nicht längerfristig gehalten werden können, ist deutlich kleiner als in ökologisch labilen Beständen.

7 Schlussfolgerungen

7.1 Implikationen für das Sektorziel im Bundes-Klimaschutzgesetz und Maßnahmen

Der Wissenschaftliche Beirat Waldpolitik (WBW) nimmt in seiner Stellungnahme zum Entwurf des Bundes-Klimaschutzgesetzes (WBW 2021) Bezug auf den Projektionsbericht (PB) 2019 der Bundesregierung (UBA 2019). Das dem PB zu Grunde liegende WEHAM-Basisszenario für die Projektion der Waldsenke trifft Annahmen, die dazu führen, dass die Holzernte von Laubholz um 39%, die Holzernte insgesamt um 12% im Vergleich zur tatsächlichen Entwicklung der Jahre 2013-2020 überschätzt wird. Somit unterschätzt das WEHAM Basisszenario die Senkenleistung auf der Waldfläche deutlich. Dies wird durch eine Inbezugnahme der aus Waldinventuren und der THG-Berichterstattung für Deutschland abgeleiteten Informationen deutlich.

Die in den letzten drei Jahren verstärkten Waldschäden haben die Senkenleistung des Waldes im Vergleich zu historischen Werten wahrscheinlich deutlich reduziert. Diese sind jedoch nicht ursächlich für die aufgezeigten Abweichungen verantwortlich, da Waldschäden im WEHAM-Basisszenario nicht explizit berücksichtigt werden.

Das WEHAM-Basisszenario beruht auf Daten von 2002-2012 und nimmt zudem ein intensives Bewirtschaftungsszenario (Holzeinschlag und Durchforstung) an. Dadurch wird die Senkenleistung der lebenden Biomasse der Waldfläche um etwa -30 Mio. t CO₂e unterschätzt. Aus der heutigen Perspektive ist das WEHAM-Basisszenario daher nur bedingt als Grundlage für politische Entscheidungen geeignet.

Aufbauend auf aktuellen Daten der deutschen Treibhausgasinventur können mit dem einfachen Ansatz SIFOP verschiedene Varianten der Projektion der THG-Bilanz lebender Biomasse im Wald fortgeschrieben werden. Er basiert auf dem aus den historischen Daten von 2002 bis 2017 abgeleiteten Zusammenhang zwischen Senkenleistung und Holzeinschlag in Abhängigkeit von Schäden. Der Vorteil des einfachen Ansatzes ist, dass auf diese Weise transparent und einfach nachvollziehbar die THG-Bilanz des Waldes projiziert werden kann und aktuelle Daten sofort berücksichtigt werden können. Ein Nachteil der Methode ist, dass die Dynamik der Waldbestände entlang der Zeitachse nicht betrachtet wird, wie sie in Waldentwicklungsmodellen wie WEHAM oder anderen Waldmodellen abgebildet wird, weshalb keine längeren Projektionen gemacht werden können.

Das Bundes-Klimaschutzgesetz fordert für den LULUCF-Sektor im Jahr 2030 eine Senkenleistung von -25 Mio. t CO₂e. WBW (2021) leitet auf Basis des PB 2019 (inkl. WEHAM-Basisszenario) ab, dass eine THG-Minderung von -45 Mio. t CO₂e im LULUCF-Sektor erreicht werden muss, um den

Zielwert zu erreichen. Abzüglich einer THG-Minderung von 5 Mio. t durch Moorbodenschutz (z.B. Wiedervernässung organischer Böden in der Landwirtschaft) verbleiben laut WBW 40 Mio. t CO₂e, die WBW durch den Wald geleistet werden müssten. Werden allerdings weitere Klimaschutzmaßnahmen in anderen Bereichen des Sektors, wie Humusaufbau in der Landwirtschaft (z.B. Änderungen der Fruchtfolgen, Agroforstsysteme) und Korrekturen durch aktuelle THG-Inventare berücksichtigt, sowie die Entwicklung der Waldsenke mit den aktuellsten Daten fortgeschrieben, liegt die Lücke lediglich bei 3,3 Mio. t CO₂e, die durch eine steigenden Senkenleistung der Waldfläche geschlossen werden muss.

Es wird durch diese Betrachtungen deutlich, dass die Datengrundlage im Projektionsbericht 2019 sowie das WEHAM-Basisszenario für eine Bewertung des Ambitionsniveaus des Klimaschutzgesetzes für den LULUCF-Sektor, was den Wald betrifft, nicht aktuell genug ist. Vereinfachte Ansätze wie SIFOP können helfen, diese Lücke zu schließen, bis angepasste Szenarien mit Waldentwicklungsmodellen wie WEHAM oder anderen Waldmodellen vorliegen.

Für eine solide Senkenstrategie im LULUCF-Sektor braucht es neben den Inventurdaten (die mit hoher Genauigkeit für den Wald in der Bundeswaldinventur auch erhoben werden) geeignete Szenarien der Entwicklung des Sektors und seiner Aktivitäten. Die Waldsenke hat einen massiven Einfluss auf die Gesamtbilanz des Sektors. Sie ist dabei Schwankungen unterworfen, die durch natürliche Prozesse geprägt sind, die aber zu einem Großteil auch durch die Bewirtschaftung beeinflusst werden. Ohne eine solide Zahlenbasis lassen sich weder aktuelle Entwicklungen einschätzen noch Maßnahmen planen.

7.2 Implikationen für die EU-Klimapolitik

Am 14.7.2021 veröffentlichte die EU-Kommission einen Vorschlag zur Neuregelung der EU-Klimapolitik. Der LULUCF-Vorschlag sieht nationale Senkenziele für Mitgliedsländer vor (European Commission 2021). Deutschland wurde auf Basis historischer Daten und seiner Flächengröße ein Ziel von ca. – 30,8 Mio. t CO₂e für das Jahr 2030 gesetzt. Dies entspricht 10% des EU-weiten Ziel für das Jahr von - 310 Mio. t CO₂e. Mit Blick auf das Bundes-Klimaschutzgesetz stellt dies eine leichte Verschärfung des Ziels dar, da dieser Wert nach dem Gesetz erst 2035 erreicht werden soll.

Gerade die internationale Dimension macht deutlich, dass eine solide Datenbasis wichtig für nationale Entscheidungen ist. Im Fall von Deutschland hat die Senkeneinbindung durch die Größe des Landes auch direkte Auswirkungen auf die Gesamtbilanz der EU und deren Zielerreichung der Klimaschutzanstrengungen im LULUCF-Sektor.

7.3 Handlungsempfehlungen

Das Bundes-Klimaschutzgesetz beinhaltet eine Ermächtigung der Bundesregierung, Bestimmungen für die Erhebung, Nutzung und Auswertung von Daten über den Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft zu erlassen, die der Verbesserung der Datengrundlage dienen.

Eine verlässliche Datenbasis zur aktuellen Senkenleistung des Waldes wird erst mit Abschluss und Auswertung der neuen, vierten Bundeswaldinventur voraussichtlich 2024 vorliegen. Bereits vor 2024 müssen aber Neuberechnungen der Waldentwicklung mit Hilfe vorhandener Waldmodelle¹⁰ unter Einbezug aktueller Daten erfolgen. Dabei sollte insbesondere die historischen Entwicklungen seit

¹⁰ Beispiele sind WEHAM, FABio-Forest, FORMIND, 4C, Silva, BWinPro etc.

2013 in die Modellierung eingehen, zu denen Daten vorliegen (Holzentnahme, Waldschäden, Kohlenstoffinventur etc.), sowie mögliche Auswirkungen von Klimaänderung/natürlichen Störungen berücksichtigt und Varianten ausgewiesen werden.

Mit dem Nationalen Forest Accounting Plan verwendet die Bundesregierung bereits solch einfache Ansätze, um eine robuste Projektion der zu erwartenden Senke im Wald zu bekommen.

Solange detailliertere neue Szenarien fehlen, sollten Ansätze wie die hier vorgestellte Fortschreibungsansatz genutzt werden, um für die nächsten 10 bis 15 Jahre eine Entwicklung der lebenden Biomasse auf der Waldfläche fortzuschreiben, um die notwendigen Maßnahmen planen und steuern zu können.

Literaturverzeichnis

- BMEL (2016): Wald und Rohholzpotenzial der nächsten 40 Jahre, Ausgewählte Ergebnisse der Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung 2013 bis 2052. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Berlin, 2016, zuletzt geprüft am 16.01.2017.
- Bohn, F. J.; May, F.; Huth, A. (2018): Species composition and forest structure explain the temperature sensitivity patterns of productivity in temperate forests. In: *Biogeosciences* 15 (6), S. 1795–1813. DOI: 10.5194/bg-15-1795-2018.
- European Commission (2019): Commission Staff Working Document SWD(2019) 213 Assessment of the National Forestry Accounting Plans, 2019. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/staff_working_documet_en_212.pdf.
- European Commission (2020): COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) amending Annex IV to Regulation (EU) 2018/841 of the European Parliament and of the Council as regards the forest reference levels to be applied by the Member States for the period 2021-2025. European Commission, 2020. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/clima/sites/default/files/forests/docs/c_2020_7316_delegated_regulation_en.pdf.
- European Commission (2021): Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Regulations (EU) 2018/841 as regards the scope, simplifying the compliance rules, setting out the targets of the Member States for 2030 and committing to the collective achievement of climate neutrality by 2035 in the land use, forestry and agriculture sector, and (EU) 2018/1999 as regards improvement in monitoring, reporting, tracking of progress and review. European Commission, 2021. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021PC0554>.
- FNR (2020): Basisdaten Bioenergie Deutschland 2021. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hg.). Gülzow-Prüzen, 2020.
- Gutsch, M.; Lasch-Born, P.; Kollas, C.; Suckow, F.; Reyer, C. P. O. (2018): Balancing trade-offs between ecosystem services in Germany's forests under climate change. In: *Environ. Res. Lett.* 13 (4), S. 45012. DOI: 10.1088/1748-9326/aab4e5.
- Harthan; Ralph O.; Repenning, J.; Blanck, R.; Böttcher, H.; Bürger, V.; Cook, V.; Emele, L.; Görz, W. K.; Hennenberg, K.; Jörß, W.; Ludig, S.; Matthes, F. C. et al. (2020): Abschätzung der Treibhausgasminderungswirkung des Klimaschutzprogramms 2030 der Bundesregierung, Teilbericht des Projektes „THG-Projektion: Weiterentwicklung der Methoden und Umsetzung der EU-Effort Sharing Decision im Projektionsbericht 2019 („Politiksznarien IX““ (Climate Change, 33/2020). Öko-Institut; Fraunhofer Institut für System und Innovationsforschung; Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien. Dessau-Roßlau, Oktober 2020. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-03-19_cc_33-2020_klimaschutzprogramm_2030_der_bundesregierung.pdf, zuletzt geprüft am 31.05.2021.
- Jochem, D.; Weimar, H.; Dieter, M. (2020): Holzeinschlag 2019 steigt – Nutzung konstant. In: *Holz-Zentralblatt* (33), S. 593–594. Online verfügbar unter https://www.thuenen.de/media/institute/wf/HM_div._Statistik_Dateien/Dateien_-_Bilanzen_-_Tabellen/Wald/Einschlagrueckrechnung/dn062585.pdf.

- Lasch-Born, P.; Suckow, F.; Gutsch, M.; Reyer, C.; Hauf, Y.; Murawski, A.; Pilz, T. (2015): Forests under climate change: potential risks and opportunities. In: *Meteorologische Zeitschrift* 24 (2), S. 157–172. DOI: 10.1127/metz/2014/0526.
- Seidl, R.; Thom, D.; Kautz, M.; Martin-Benito, D.; Peltoniemi, M.; Vacchiano, G.; Wild, J.; Ascoli, D.; Petr, M.; Honkaniemi, J.; Lexer, M. J.; Trotsiuk, V.; Mairota, P. et al. (2017): Forest disturbances under climate change. In: *nature climate change* 7, S. 395–402. DOI: 10.1038/nclimate3303.
- Thünen Institut (Hg.) (2019): National Forestry Accounting Plan for Germany. Unter Mitarbeit von Rock, J.; Dunger, K.; Hennig, P.; Rüter, S.; Stümer, W. et al. Eberswalde, 2019. Online verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/nfap_germany_bf.pdf.
- UBA (2018): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2018, Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2016 (12). Umweltbundesamt (Hg.), 2018, zuletzt geprüft am 08.01.2019.
- UBA (2019): Projektionsbericht 2019 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013. Umweltbundesamt, 2019. Online verfügbar unter https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art04-13-14_lcds_pams_projections/projections/envxnw7wq/Projektionsbericht-der-Bundesregierung-2019.pdf.
- UBA (2021): National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990 – 2019, Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol 2021 National. Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau, Germany, 2021.
- WBW (2021): Geplante Änderung des Klimaschutzgesetzes riskiert Reduktion der potenziellen Klimaschutzbeiträge von Wald und Holz., Stellungnahme. Wissenschaftlicher Beirat Waldpolitik beim BMEL (Hg.). Berlin, 2021.