

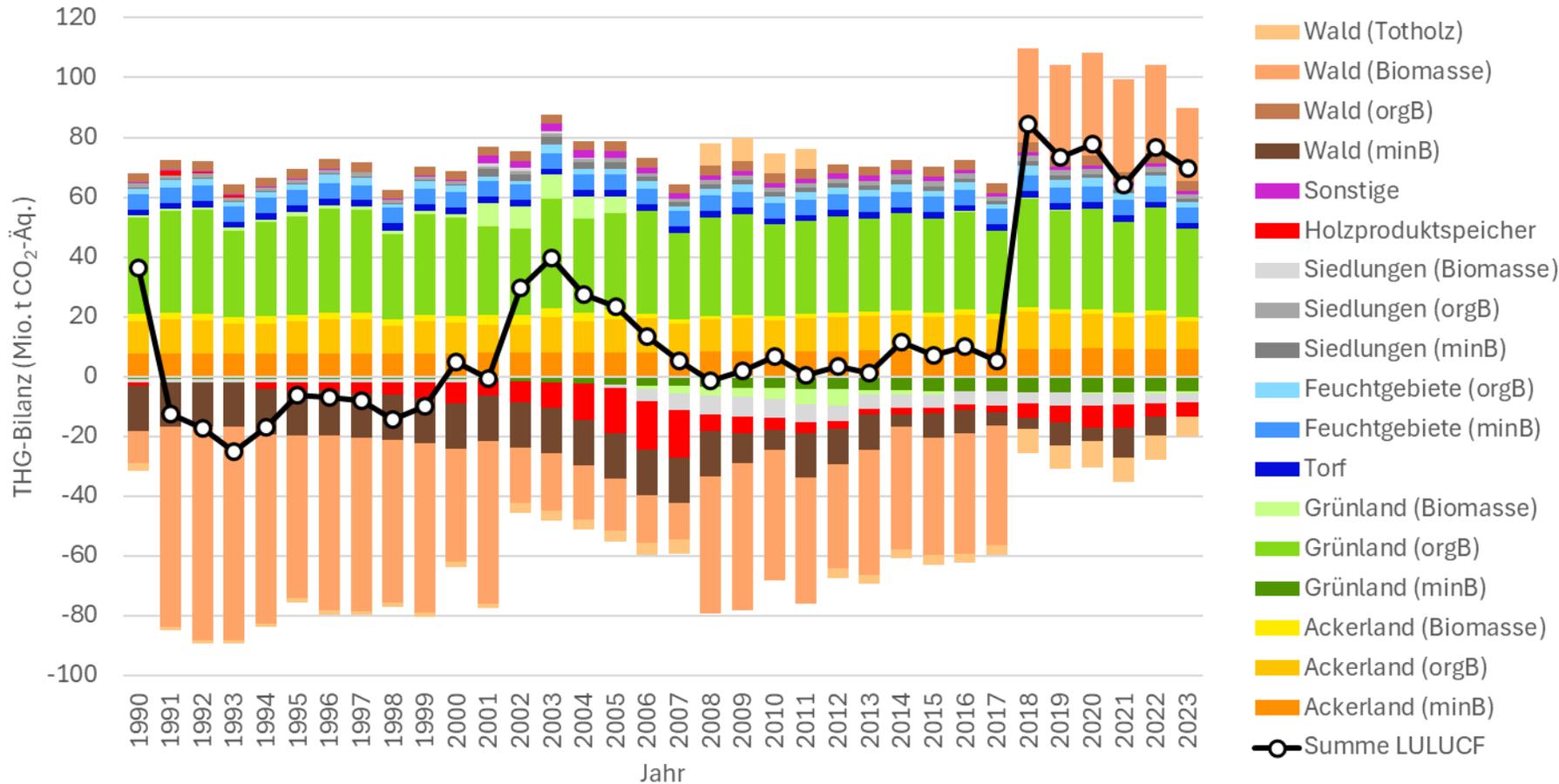


Analysen zur THG-Bilanz im LULUCF-Sektor und Ergebnisse klimasensitiver Szenarien im Waldmodell FABio-Forest

Klaus Hennenberg, Mirjam Pfeiffer, Hannes Böttcher, Judith Reise
08.05.2025

Emissionen im LULUCF-Sektor

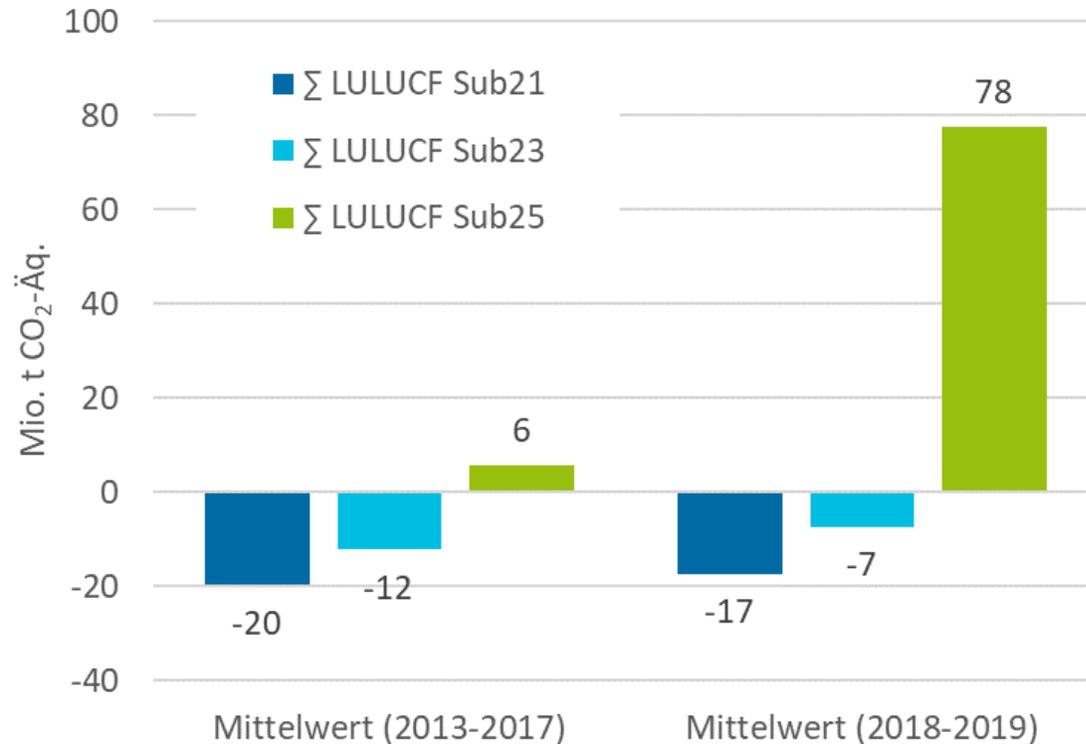
Detailanalysen zum vorläufigen THG-Inventar 2025



- Darstellung der THG-Emissionen je Untergruppe der Quellgruppe im LULUCF-Sektor.
- Der starke Anstieg der Emissionen im LULUCF-Sektor von 2017 zu 2018 geht auf die lebende Biomasse (Bäume) im Wald zurück. Diese Kategorie wurde von einer Senke zu einer Quelle.

Emissionen im LULUCF-Sektor

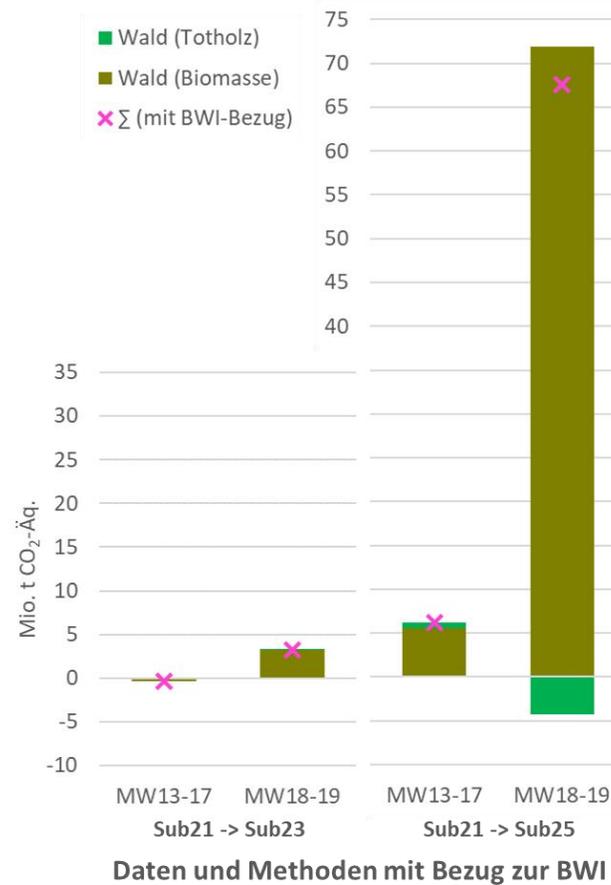
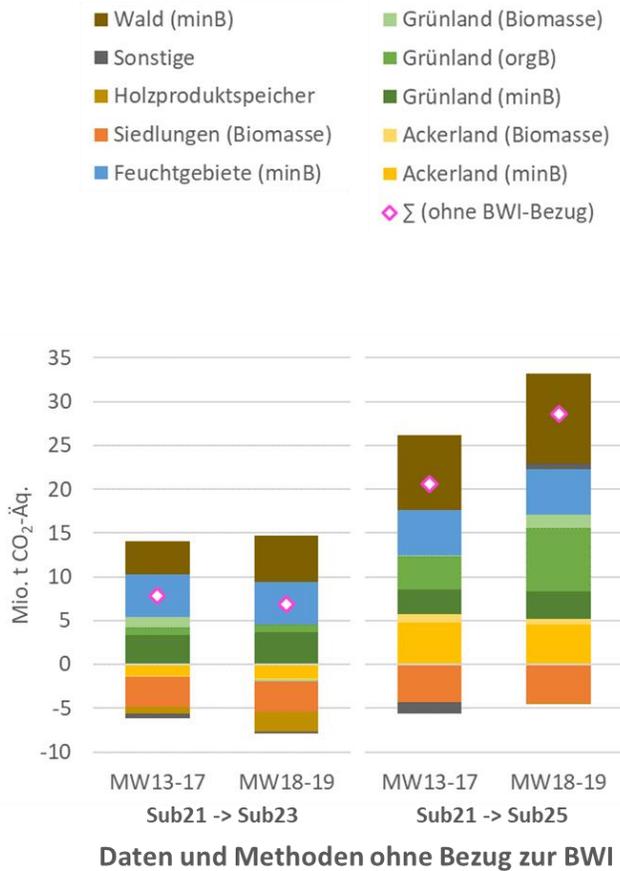
Überblick zur methodischen Veränderung der THG-Bilanz



- Die Submission 2021 war Grundlage für die Zielentwicklung im Bundes-Klimaschutzgesetz
- Seit der Submission 2021 traten deutliche methodische Veränderungen der THG-Bilanz auf und neue Daten wurden herangezogen:
 - In den Jahren 2013 bis 2017 lagen bereits Daten zur Waldentwicklung aus der Kohlenstoffinventur vor. Methodische Verbesserungen und leichte Anpassungen durch die Ergebnisse der 4. Bundeswaldinventur (BWI-4) führten zu einer Zunahme in der Emissionsbilanz für den LULUCF-Sektor von Submission 2021 zu Submission 2025 um 25 Mio. t CO₂-Äq.
 - In den Jahren 2018 bis 2019 verändern ebenfalls die methodischen Verbesserungen und neue Daten die THG-Bilanz. Von Submission 2021 zu Submission 2023 sind die Effekte ähnlich wie für die Jahre 2013 bis 2017. Die neuen Ergebnisse der BWI-4 führen aber in der Submission 2025 für die Jahre 2018 bis 2019 zu einem sehr starken zusätzlichen Anstieg der Emissionen.

Emissionen im LULUCF-Sektor

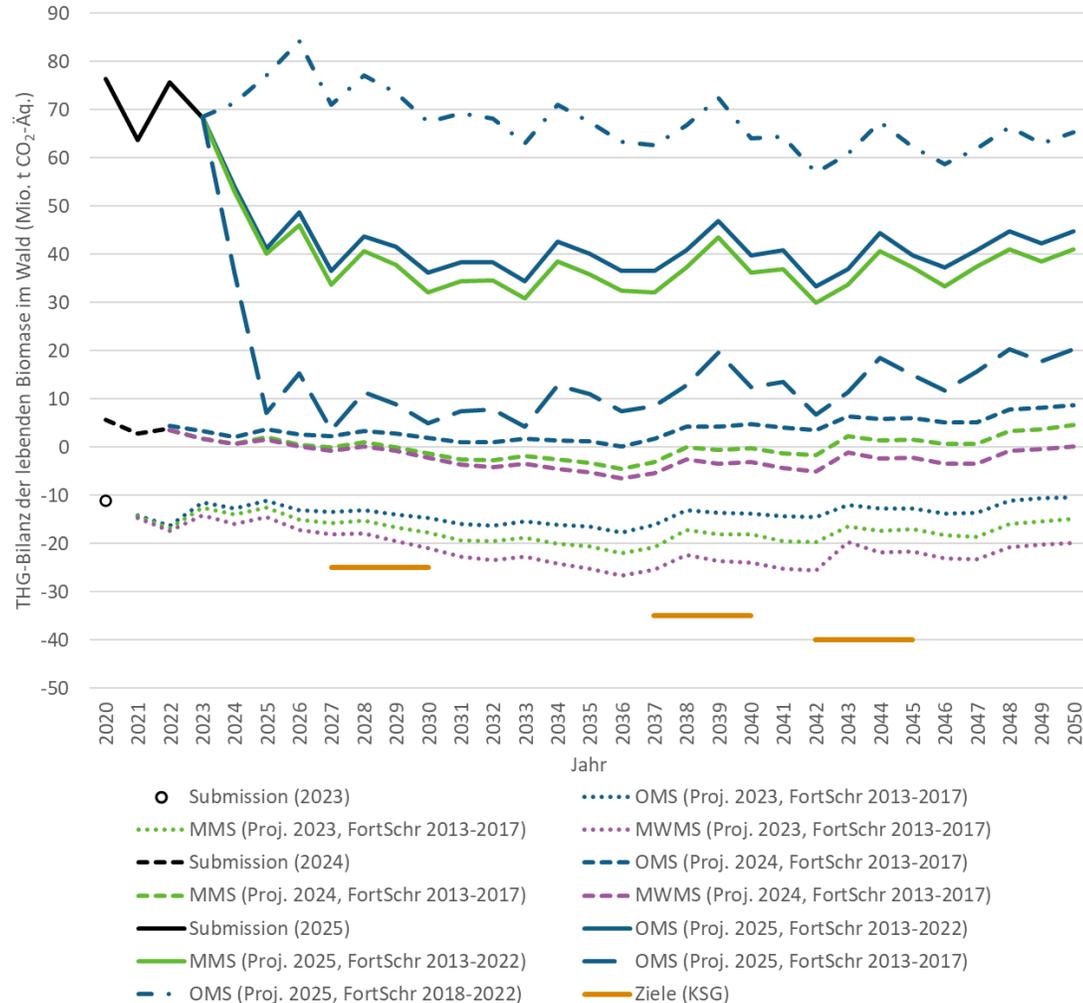
Detailanalyse zur methodischen Veränderung der THG-Bilanz



- In der linken Abbildung sind LULUCF-Quellgruppen ohne Bezug zur 4. Bundeswaldinventur (BWI-4) dargestellt. Methodische Verbesserungen (Methanemissionen aus künstlichen stehenden Gewässern, verbesserte Modellierung des Bodenkohlenstoffs und der Biomasse der Siedlungsflächen) führen zu einer Veränderung der THG-Bilanz von Submission 2021 bis zur Submission 2025 um 20 bis 28 Mio. t CO₂-Äq.
- In der rechten Abbildung sind Veränderungen der lebenden Biomasse (Bäume) und des Totholzes im Wald dargestellt. Diese beiden Quellgruppen sind stark abhängig von den Ergebnissen der BWI-4, die in die Submission 2025 eingeflossen sind. In den Jahren 2018 bis 2019 steigen Emissionen für die lebenden Bäume sehr stark an, wohingegen im Totholz eine leicht stärkere Senke zu sehen ist.
- Die rechte Abbildung unterstreicht, dass für die Fortschreibung der LULUCF-THG-Bilanz Wissen zur Entwicklung der lebenden Bäume im Wald sehr wichtig ist.

Emissionen im LULUCF-Sektor

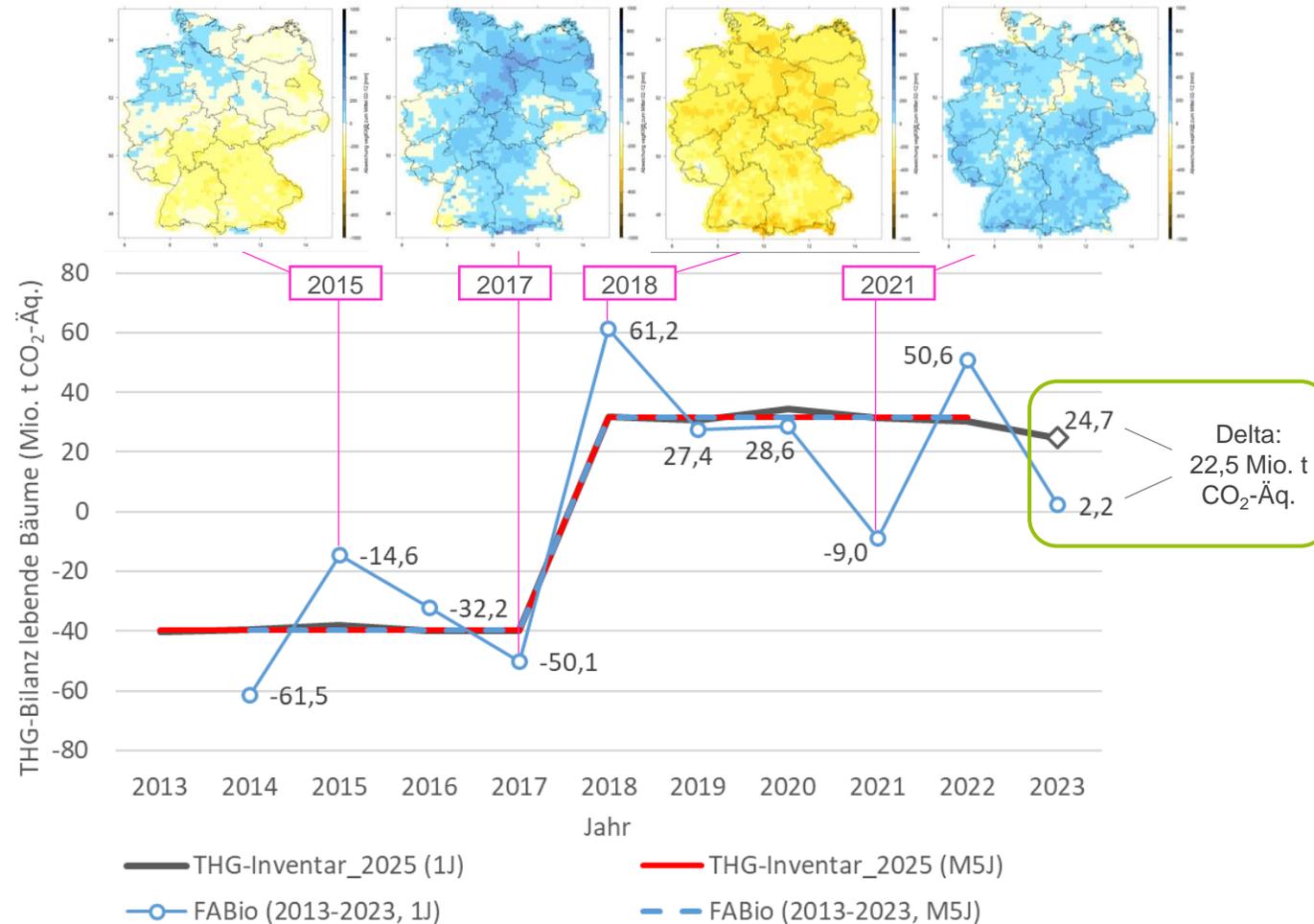
Überblick zur methodischen Veränderung der THG-Bilanz in den Projektionen



- Die Projektionen der Bundesregierung unterschiedlicher Jahrgänge basieren auf den jeweils aktuellen Werten des deutschen THG-Inventars.
- Methodische Verbesserungen in den THG-Inventaren spiegeln sich direkt in den Ergebnissen der Projektion wider. Die in den vorherigen Folien dargestellten methodischen Verbesserungen bzw. die Verwendung aktueller Daten führt zu einer Verschlechterung der Projektion für den LULUCF-Sektor.
- In den vorläufigen Projektionen 2025 wurden für das Ohne-Maßnahmen-Szenario (OMS) drei Sensitivitäten für die lebende Biomasse im Wald gerechnet (Spannbreite von ca. 60 Mio. t CO₂-Äq.)
- Im OMS der Projektionen 2023 und 2024 wurden die Bedingungen im Wald auf Basis der berichteten Waldinventurdaten für 2013-2017 berechnet (vergleichbar mit der unteren OMS-Linie in der Projektion 2025).
- Das MWMS (Projektion 2025) steht noch aus.

FABio-Forest: Waldmodellierung

Klimasensitive Modellierung der Historie



– Wichtige Dateninputs in FABio-Forest:

- Zweite und dritte Bundeswaldinventur (Grundparametrisierung)
- Klimasensitive Zuwachsfunktion abgeleitet in Zusammenarbeit mit PIK (Waldmodell 4C)
- Jährliche Mittelwerte zur Witterung (Daten des Deutschen Wetterdienstes, aufbereitet durch PIK)
- Jahresdaten zur Mortalität (Waldzustandserhebung, WZE 2024)
- Jahresdaten zur Holzentnahme (Einschlagsrückrechnung, Jochem et al. 2025)

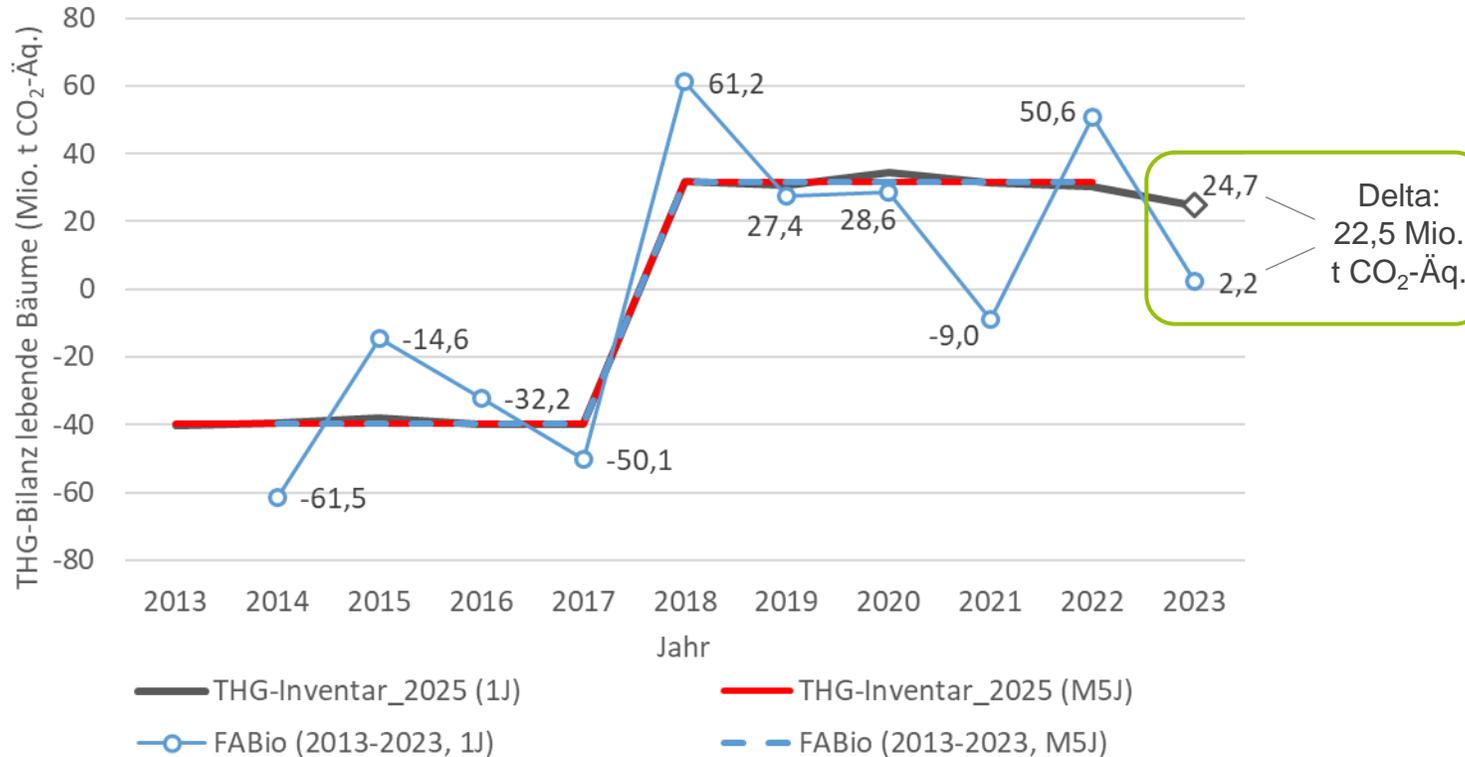
– Feinkalibrierung der klimasensitiven Zuwachsfunktion:

- Ergebnisdaten der vierten Bundeswaldinventur (2012-2022) und der Kohlenstoffinventur (2012-2017, Thünen-Institut 2024)

– 2023: Der klimasensitiv modellierte Wert ist deutlich besser als die Fortschreibung im aktuellen THG-Inventar

FABio-Forest: Waldmodellierung

Klimasensitive Modellierung der Historie



- Wichtige Dateninputs in FABio-Forest:
 - Zweite und dritte Bundeswaldinventur (Grundparametrisierung)
 - Klimasensitive Zuwachsfunktion abgeleitet in Zusammenarbeit mit PIK (Waldmodell 4C)
 - Jährliche Mittelwerte zur Witterung (Daten des Deutschen Wetterdienstes, aufbereitet durch PIK)
 - Jahresdaten zur Mortalität (Waldzustandserhebung, WZE 2024)
 - Jahresdaten zur Holzentnahme (Einschlagsrückrechnung, Jochem et al. 2025)
- Feinkalibrierung der klimasensitiven Zuwachsfunktion:
 - Ergebnisdaten der vierten Bundeswaldinventur (2012-2022) und der Kohlenstoffinventur (2012-2017, Thünen-Institut 2024)
- 2023: Der klimasensitiv modellierte Wert ist deutlich besser als die Fortschreibung im aktuellen THG-Inventar

FABio-Forest: Waldmodellierung

Klima- und Holznachfrage-Szenarien – methodischer Ansatz

Klimasensitive Fortschreibung des Baumwachstums

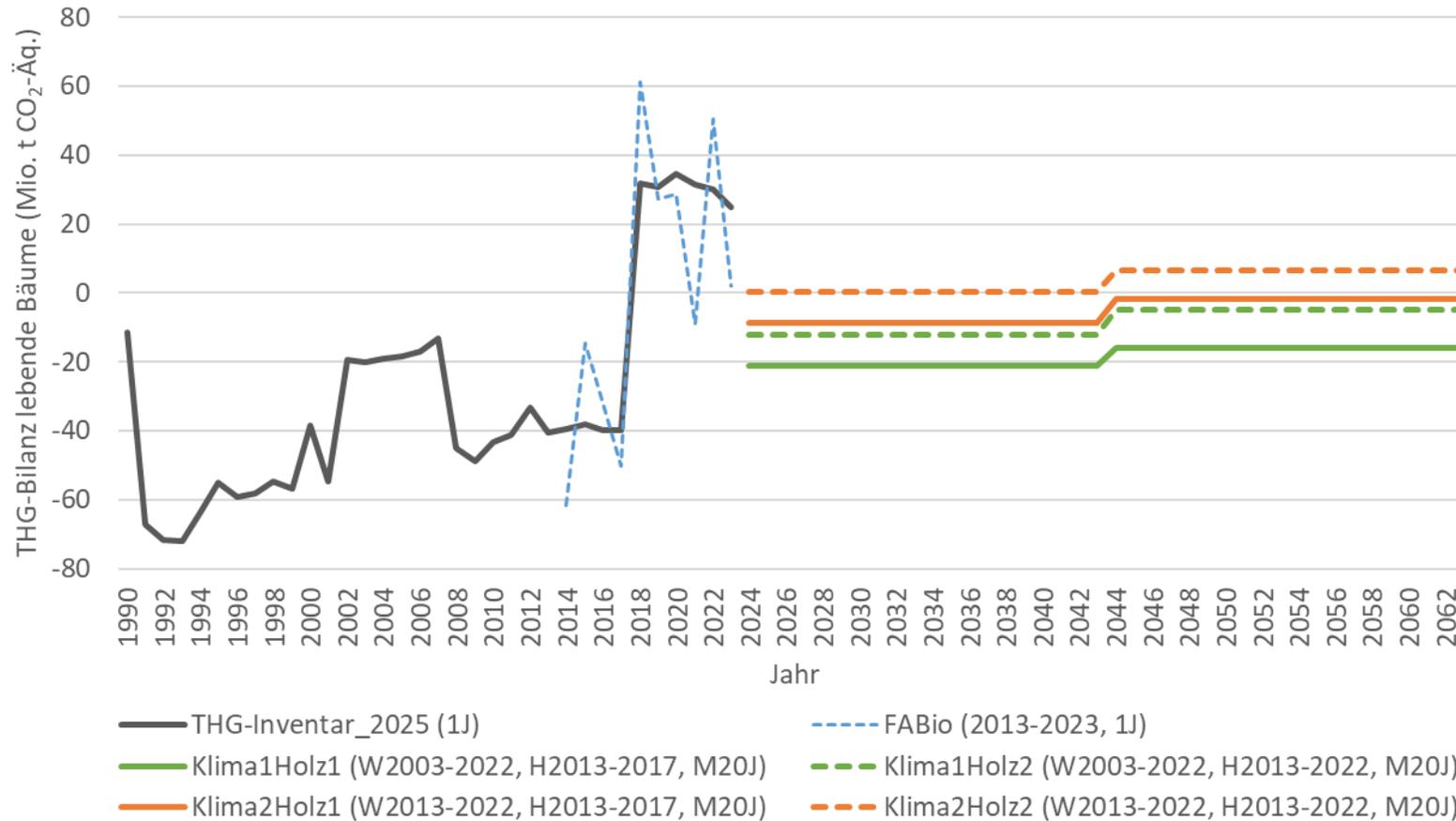
- Als wachstumsbeeinflussende Klimavariablen sind in die Zuwachsfunktion die klimatische Wasserbilanz der Vegetationsperiode, die Wachstumsgradtage über 5 °C und die mittlere Jahresstrahlung eingebunden.
- Jährliche historische Daten zu den Klimaparametern werden für die Fortschreibung herangezogen, das räumliche Muster der Verteilung ist aber zufällig verändert. Für die Modellierung werden zwei Witterungsreihen angenommen:
 - Klima1 (K1): Witterungsreihe (W) der Jahre 2003 bis 2022 als zyklische Wiederholung (W2003-2022)
 - Klima2 (K2): Witterungsreihe (W) der Jahre 2013 bis 2022 als zyklische Wiederholung (W2013-2022)
- Für die Veränderung der Mortalität der Bäume werden jährliche Daten der Waldzustandserhebung (WZE 2024) berücksichtigt und dem jeweiligen ausgewählten Jahr zugeordnet.

Fortschreibung der Holznachfrage

- Die Holznachfrage wird aus der historischen Holzentnahme nach der Einschlagsrückrechnung (Jochem et al. 2025) abgeleitet. Es werden zwei Niveaus der Holznachfrage differenziert nach Nadel- und Laubholz angenommen:
 - Holz1 (H1): Fortschreibung der Holzentnahme als Mittelwert der Holzentnahme der Jahre 2013 bis 2017 (H2013-2017)
 - Holz2 (H2): Fortschreibung der Holzentnahme als Mittelwert der Holzentnahme der Jahre 2013 bis 2022 (H2013-2022)

FABio-Forest: Waldmodellierung

Klima- und Holznachfrage-Szenarien – Mittelwerte



- Die Annahmen zu Witterungsreihen und Holzentnahme werden zu vier Szenarien kombiniert: Klima1Holz1, Klima1Holz2, Klima2Holz1, Klima2Holz2
- Da unbekannt ist, wann welche Witterung in Zukunft auftreten wird, werden 20-jährige Mittelwerte für den Szenarienvergleich herangezogen (Länge der zyklischen Wiederholung in Klima1)
- Für die THG-Bilanz der lebenden Bäume im Wald spannen die vier Szenarien einen Korridor von -20 bis 0 t CO₂-Äq. für die Jahre 2024 bis 2043 auf. In der nächsten Bi-Dekade ist mit einer Abnahme der Senkenleistung zu rechnen.
- Detailergebnisse siehe folgende Folien.

Quelle: Eigene Darstellung, FABio-Forest. THG-Inventar nach Thünen-Institut (2025), Detaildaten von UBA bereitgestellt.

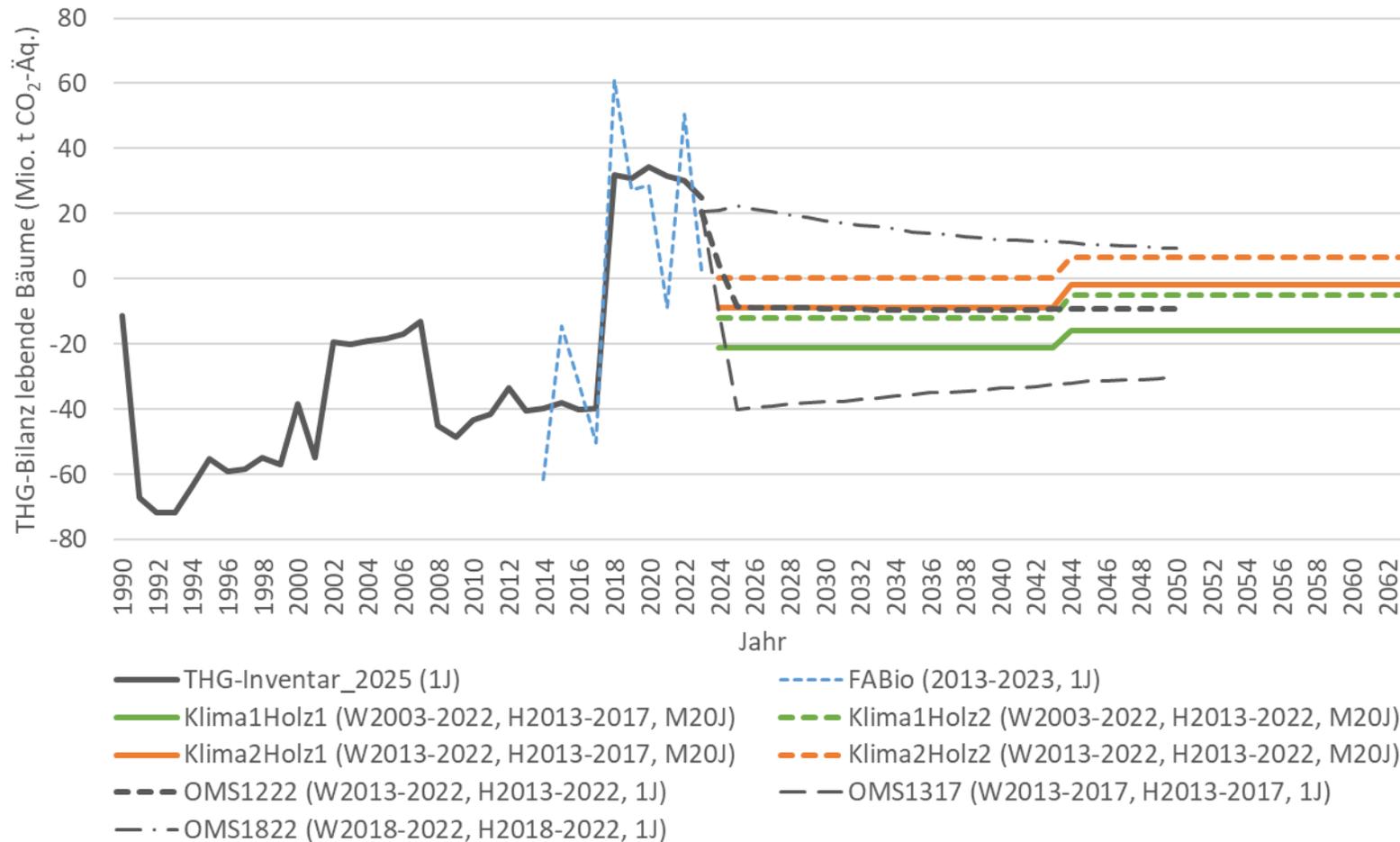
1J = jährliche Werte, M20J = 20-jähriger Mittelwert, W = jährliche Witterung abgeleitet aus den Jahren 2003 bis 2022 bzw. 2013 bis 2022 (zyklische Wiederholung),

H = Holzentnahme als Mittelwert der Jahre 2013 bis 2017 bzw. 2013 bis 2022 laut Einschlagsrückrechnung des Thünen-Instituts (Jochem et al. 2025).

OMS = Ohne-Maßnahmen-Szenario in den THG-Projektionen (Ergebnispräsentation der Thünen-Instituts am 10.04.2025: „Vierte Bundeswaldinventur: Der Kohlenstoffspeicher Wald“)

FABio-Forest: Waldmodellierung

Klima- und Holznachfrage-Szenarien – Mittelwerte – Einordnung THG-Projektionen



- Ergebnisse in den THG-Projektion 2025 liegen bei -9 Mio. t CO₂-Äq (OMS1222).
- Die Varianten OMS1317 und OMS1822 nutzen sehr extreme Annahmen.
- OMS1822 nimmt an, dass die kontinuierlich Extremwetterereignisse und entsprechend ungünstige Wuchsbedingungen und hohe Mortalitätsraten der Bäume wie in den Jahren 2018 bis 2022 auftreten.
- OMS1317 schreibt kontinuierlich günstige Wuchsbedingungen wie in den Jahren 2013 bis 2017 fort.

Quelle: Eigene Darstellung, FABio-Forest. THG-Inventar nach Thünen-Institut (2025), Detaildaten von UBA bereitgestellt.

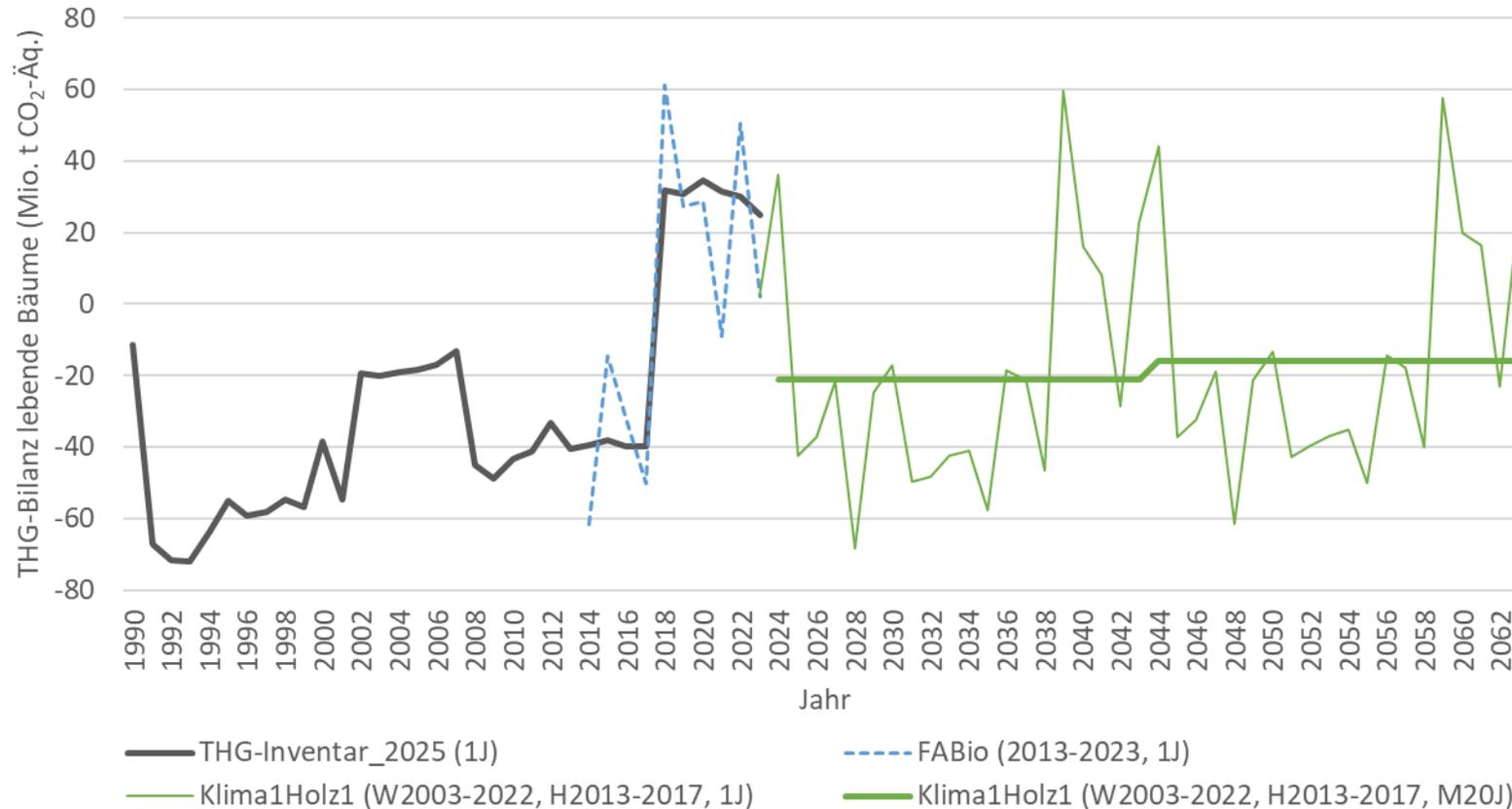
1J = jährliche Werte, M20J = 20-jähriger Mittelwert, W = jährliche Witterung abgeleitet aus den Jahren 2003 bis 2022 bzw. 2013 bis 2022 (zyklische Wiederholung),

H = Holzentnahme als Mittelwert der Jahre 2013 bis 2017 bzw. 2013 bis 2022 laut Einschlagsrückrechnung des Thünen-Instituts (Jochem et al. 2025).

OMS = Ohne-Maßnahmen-Szenario in den THG-Projektionen (Ergebnispräsentation der Thünen-Instituts am 10.04.2025: „Vierte Bundeswaldinventur: Der Kohlenstoffspeicher Wald“)

FABio-Forest: Waldmodellierung

Klima- und Holznachfrage-Szenario: Klima1Holz1 (K1H1)



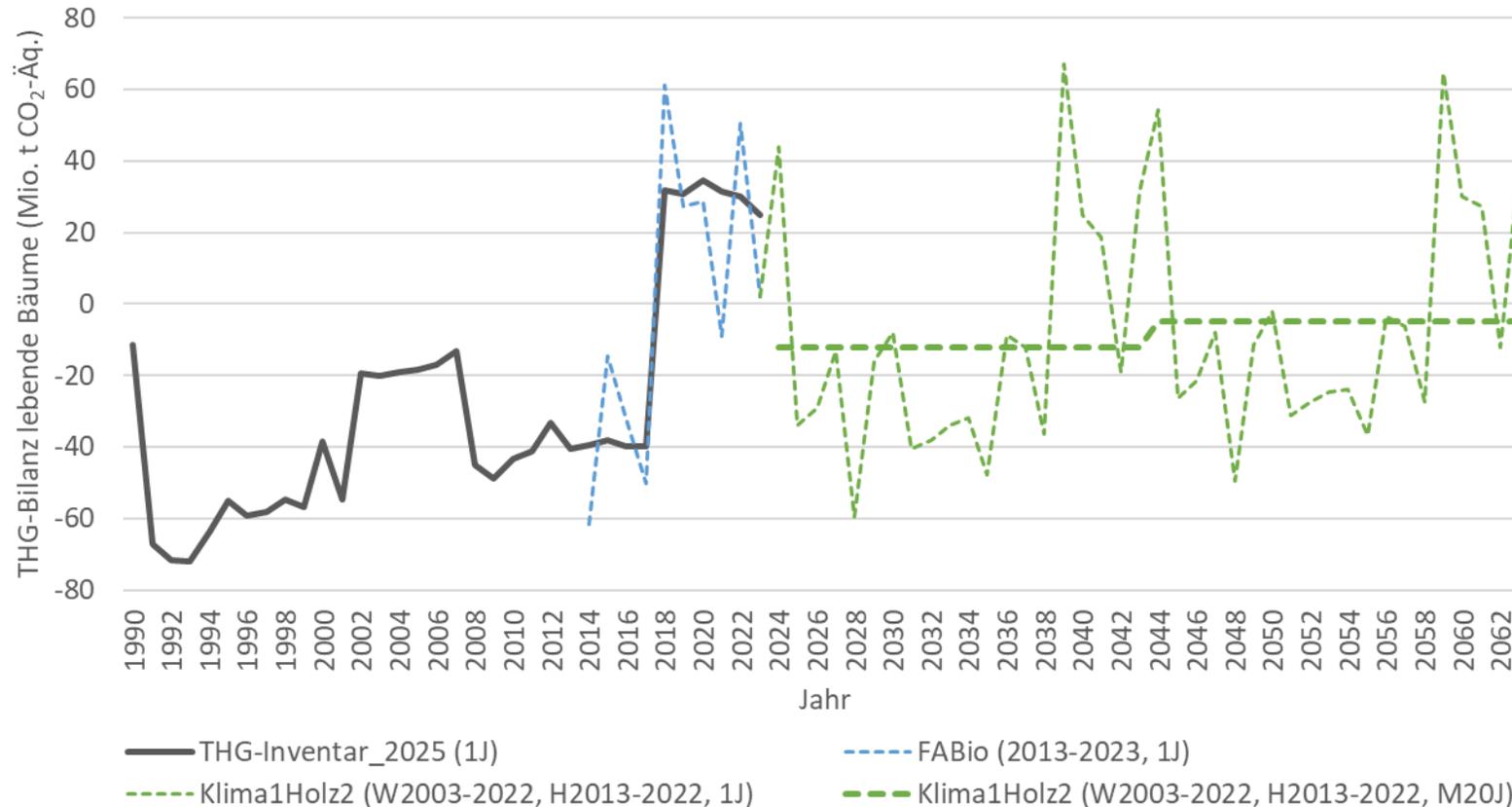
- Dargestellt sind die jährlichen Ergebnisse der THG-Bilanz der lebenden Bäume im Wald sowie die Mittelwerte der Bi-Dekaden.
- Die Fortschreibung der Witterungsreihe basiert auf den Jahren 2003 bis 2022.
- Die Holznachfrage wird als Mittelwert der Jahre 2013 bis 2017 fortgeschrieben.

Quelle: Eigene Darstellung, FABio-Forest. THG-Inventar nach Thünen-Institut (2025), Detaildaten von UBA bereitgestellt.

1J = jährliche Werte, M20J = 20-jähriger Mittelwert, W = jährliche Witterung abgeleitet aus den Jahren 2003 bis 2022 bzw. 2013 bis 2022 (zyklische Wiederholung), H = Holzentnahme als Mittelwert der Jahre 2013 bis 2017 bzw. 2013 bis 2022 laut Einschlagsrückrechnung des Thünen-Instituts (Jochem et al. 2025).

FABio-Forest: Waldmodellierung

Klima- und Holznachfrage-Szenario: Klima1Holz2 (K1H2)



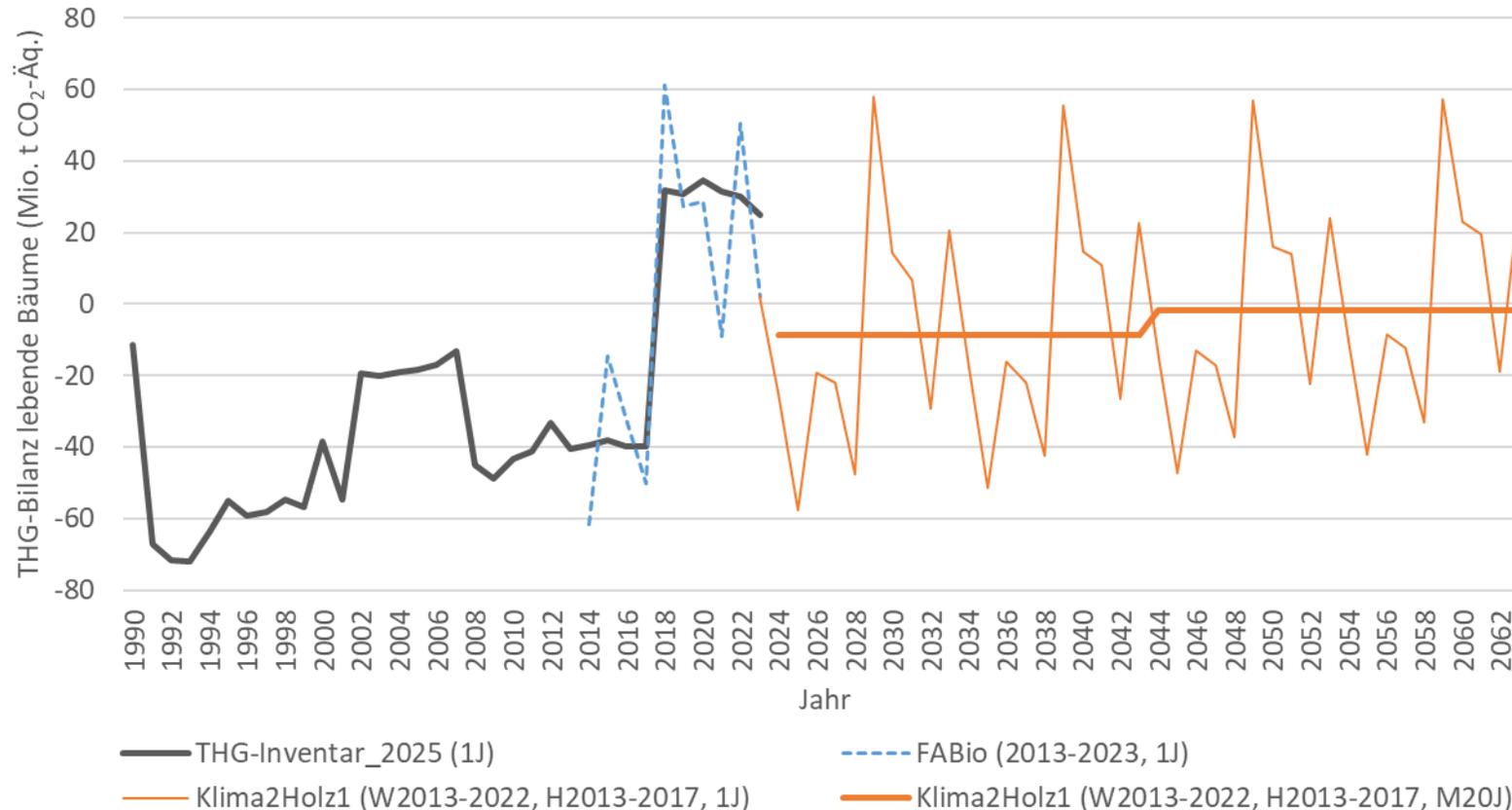
- Dargestellt sind die jährlichen Ergebnisse der THG-Bilanz der lebenden Bäume im Wald sowie die Mittelwerte der Bi-Dekaden.
- Die Fortschreibung der Witterungsreihe basiert auf den Jahren 2003 bis 2022.
- Die Holznachfrage wird als Mittelwert der Jahre 2013 bis 2022 fortgeschrieben.

Quelle: Eigene Darstellung, FABio-Forest. THG-Inventar nach Thünen-Institut (2025), Detaildaten von UBA bereitgestellt.

1J = jährliche Werte, M20J = 20-jähriger Mittelwert, W = jährliche Witterung abgeleitet aus den Jahren 2003 bis 2022 bzw. 2013 bis 2022 (zyklische Wiederholung), H = Holzentnahme als Mittelwert der Jahre 2013 bis 2017 bzw. 2013 bis 2022 laut Einschlagsrückrechnung des Thünen-Instituts (Jochem et al. 2025).

FABio-Forest: Waldmodellierung

Klima- und Holznachfrage-Szenario: Klima2Holz1 (K2H1)



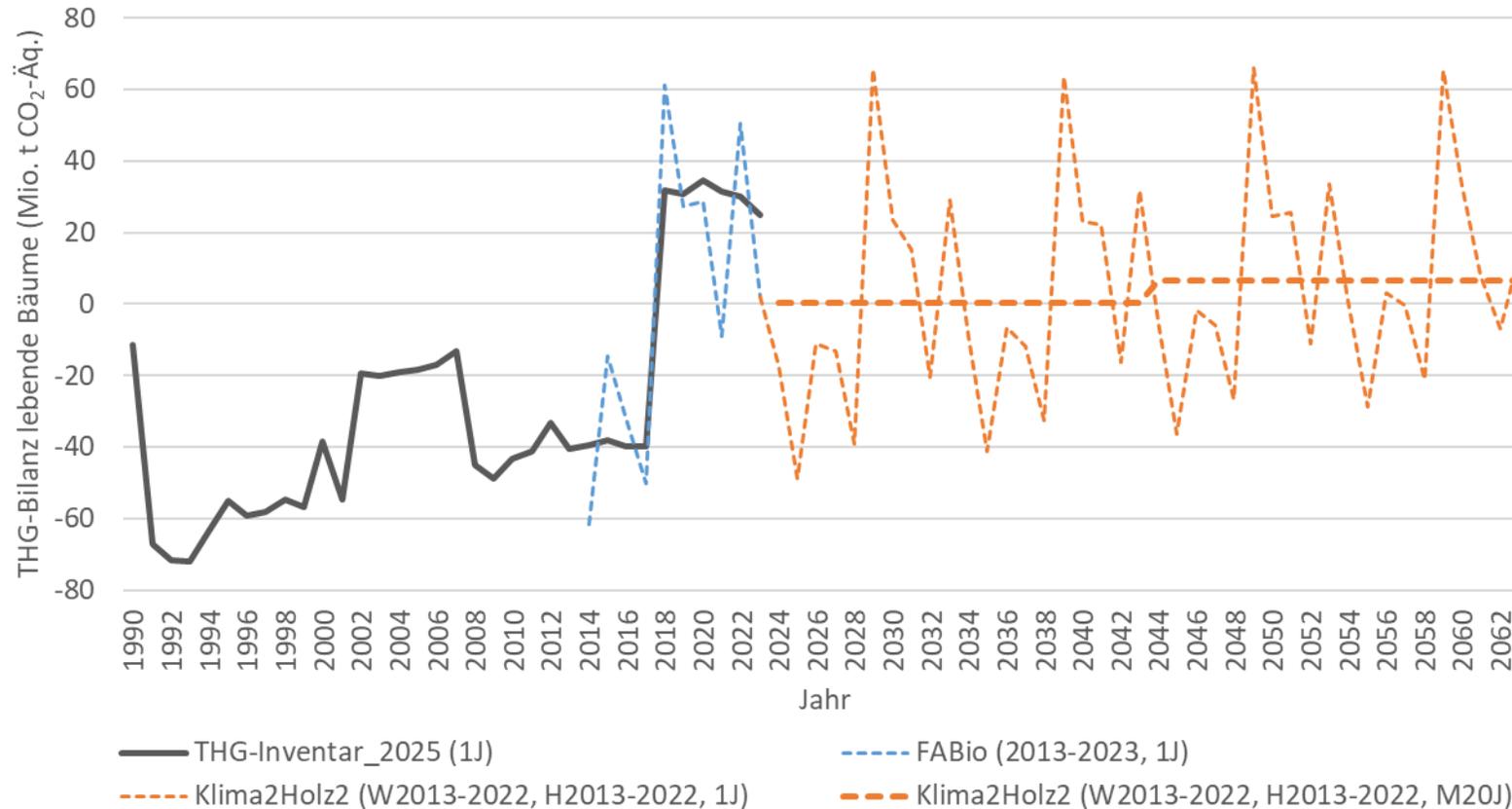
- Dargestellt sind die jährlichen Ergebnisse der THG-Bilanz der lebenden Bäume im Wald sowie die Mittelwerte der Bi-Dekaden.
- Die Fortschreibung der Witterungsreihe basiert auf den Jahren 2013 bis 2022.
- Die Holznachfrage wird als Mittelwert der Jahre 2013 bis 2017 fortgeschrieben.

Quelle: Eigene Darstellung, FABio-Forest. THG-Inventar nach Thünen-Institut (2025), Detaildaten von UBA bereitgestellt.

1J = jährliche Werte, M20J = 20-jähriger Mittelwert, W = jährliche Witterung abgeleitet aus den Jahren 2003 bis 2022 bzw. 2013 bis 2022 (zyklische Wiederholung), H = Holzentnahme als Mittelwert der Jahre 2013 bis 2017 bzw. 2013 bis 2022 laut Einschlagsrückrechnung des Thünen-Instituts (Jochem et al. 2025).

FABio-Forest: Waldmodellierung

Klima- und Holznachfrage-Szenario: Klima2Holz2 (K2H2)



- Dargestellt sind die jährlichen Ergebnisse der THG-Bilanz der lebenden Bäume im Wald sowie die Mittelwerte der Bi-Dekaden.
- Die Fortschreibung der Witterungsreihe basiert auf den Jahren 2013 bis 2022.
- Die Holznachfrage wird als Mittelwert der Jahre 2013 bis 2022 fortgeschrieben.

Quelle: Eigene Darstellung, FABio-Forest. THG-Inventar nach Thünen-Institut (2025), Detaildaten von UBA bereitgestellt.

1J = jährliche Werte, M20J = 20-jähriger Mittelwert, W = jährliche Witterung abgeleitet aus den Jahren 2003 bis 2022 bzw. 2013 bis 2022 (zyklische Wiederholung), H = Holzentnahme als Mittelwert der Jahre 2013 bis 2017 bzw. 2013 bis 2022 laut Einschlagsrückrechnung des Thünen-Instituts (Jochem et al. 2025).

Referenzen

- Böttcher et al. (2018): FABio-Waldmodell – Modellbeschreibung <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/FABio-Wald-Modellbeschreibung.pdf> (letzter Aufruf: 04.04.2025)
- Harthan et al. (2024): Technischer Anhang der Treibhausgas-Projektionen 2024 für Deutschland (Projektionsbericht 2024) TREIBHAUSGAS-PROJEKTIONEN FÜR DEUTSCHLAND, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/projektionen_technischer_anhang_0.pdf (letzter Aufruf: 04.04.2025)
- Jochem et al. (2025) Thünen-Einschlagsrückrechnung stimmt mit BWI 4 überein. AFZ Der Wald 80(1):49-51. https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn069326.pdf (letzter Aufruf: 04.04.2025)
- Pfeiffer et al. (2023): Referenzszenario der Holzverwendung und der Waldentwicklung im UBA-Projekt BioSINK. Working Paper, Öko-Institut e.V., Berlin. <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/WP-Referenzszenario-BioSINK.pdf> (letzter Aufruf: 04.04.2025)
- Pfeiffer et al. (2025): Auswirkungen von Wetterextremen auf die Waldentwicklung im empirischen Waldwachstumsmodell FABio-Forest. https://difens.de/img/results/Pfeiffer_etal_2025_Poster_Kohlenstofftagung.pdf (letzter Aufruf: 04.04.2025)
- Thünen-Institut (2024): Ergebnisdatenbank zu Waldinventuren unter der <https://bwi.info/> (letzter Aufruf: 04.04.2025)
- Thünen-Institut (2025): Treibhausgasemissionen durch Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) <https://www.thuenen.de/de/themenfelder/klima-und-luft/emissionsinventare-buchhaltung-fuer-den-klimaschutz/treibhausgas-emissionen-lulucf> (letzter Aufruf: 04.04.2025)
- UBA (2021): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2021. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2019. CLIMATE CHANGE 43/2021, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-05-19_cc_43-2021_nir_2021_1.pdf (letzter Aufruf: 04.04.2025)
- UBA (2021): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2023. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2021. CLIMATE CHANGE 28/2023, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/28_2023_cc_berichterstattung_unter_der_klimarahmenkonvention.pdf (letzter Aufruf: 04.04.2025)
- UBA (2025) UBA. (2025). Treibhausgas-Emissionen; Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen> (letzter Aufruf: 04.04.2025)
- Wehnmann et al. (2025): Treibhausgas-Projektionen 2025 – Ergebnisse kompakt. TREIBHAUSGAS-PROJEKTIONEN FÜR DEUTSCHLAND, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/ergebnisse_kompakt_2025_bf.pdf (letzter Aufruf: 04.04.2025)
- WZE(2024): Ergebnisse der bundesweiten Waldzustandserhebung. <https://wo-apps.thuenen.de/apps/wze/> (letzter Aufruf: 04.04.2025)