CLIMATE CHANGE
55/2026

Abschlussbericht

LULUCF-Ziele erreichen: Was kosten effektive Klimaschutzmaßnahmen?

Analyse von Treibhausgas-Vermeidungspotenzialen, Treibhausgas-Vermeidungskosten und Gesamtkosten in Deutschland

von:

Margarethe Scheffler, Kirsten Wiegmann, Klaus Hennenberg, Mirjam Pfeiffer, Hannes Böttcher
Öko-Institut Consult GmbH, Berlin

Herausgeber:
Umweltbundesamt

Für Mensch & Umwelt

Umwelt Bundesamt

CLIMATE CHANGE 55/2026

REFOPLAN des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 2723 NK 901 0

Abschlussbericht

LULUCF-Ziele erreichen: Was kosten effektive Klimaschutzmaßnahmen?

Analyse von Treibhausgas-Vermeidungspotenzialen, Treibhausgas-Vermeidungskosten und Gesamtkosten in Deutschland

von

Margarethe Scheffler, Kirsten Wiegmann, Klaus Hennenberg, Mirjam Pfeiffer, Hannes Böttcher
Öko-Institut Consult GmbH, Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber
Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Durchführung der Studie:
Öko-Institut Consult GmbH
Borkumstr. 2
13189 Berlin

Abschlussdatum:
Oktober 2026

Redaktion:
Fachgebiet V 1.2 Strategien und Szenarien zu Klimaschutz und Energie
Judith Voß-Stemping

DOI:
https://doi.org/10.60810/openumwelt-8903

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, November 2026

© Alle Rechte vorbehalten

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen*Autoren.

Kurzbeschreibung: LULUCF-Ziele erreichen: Was kosten effektive Klimaschutzmaßnahmen?

Ziel der Studie ist es, die Potenziale und THG-Vermeidungskosten zentraler Maßnahmen im LULUCF-Sektor zu analysieren und zu quantifizieren. Hintergrund ist die gesetzliche Vorgabe nach § 3a Bundes-Klimaschutzgesetz, den LULUCF-Sektor als natürliche Senke zu stärken und bis 2045 eine Netto-Senke von mindestens -40 Mio. t CO_2-Äq. zu erreichen. Da der Projektionsbericht 2025 für das Jahr 2045 eine erhebliche Zielverfehlung mit einer Lücke von -77 Mio. t CO_2-Äq. aufweist, die über zusätzliche Maßnahmen aus dem Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz geschlossen werden soll, untersucht die Studie, zu welchen THG-Vermeidungskosten pro Tonne CO_2-Äq. die einzelnen Maßnahmen umsetzbar und welche Gesamtkosten damit verbunden wären.

Der gewählte Ansatz basiert auf der THG-Vermeidung je Hektar und wird differenziert nach Maßnahmen, Betriebstypen und Bundesländern berechnet. Ergänzend werden die relevanten Kostenkomponenten erfasst, darunter Investitions-, Betriebs- und Pflegekosten sowie Wertverluste und Ertragsausfälle infolge von Flächennutzungsänderungen. Ziel ist die Ableitung jener Vergütungshöhen für Landbewirtschaftende, die eine Umsetzung der Maßnahmen in relevantem Umfang wirtschaftlich attraktiv machen. Dabei ist zunächst offen, ob die Finanzierung über staatliche Förderung, Kompensationszahlungen oder marktbasierte Instrumente wie freiwillige Kohlenstoffmärkte erfolgt. Langfristig könnte eine Finanzierung durch staatliche Förderinstrumente durch Kohlenstoffmärkte ergänzt bzw. abgelöst werden. Die Verordnung über die Zertifizierung von CO_2-Entnahmen und kohlenstoffspeichernde Landbewirtschaftung (CRCF, Carbon Removals and Carbon Farming Regulation) schafft hierfür eine zentrale Grundlage, da sie Prinzipien für die Zertifizierung und Honorierung von Klimaschutzmaßnahmen im LULUCF-Sektor festlegt.

Die zentralen Ergebnisse zeigen, dass das LULUCF-Ziel im Jahr 2045 bei THG-Vermeidungskosten von maximal 143 Euro/t CO_2-Äq. erreichbar ist. Die THG-Vermeidungskosten für die günstigsten Maßnahmen starten bei 10 Euro pro Tonne CO_2-Äq. (Wiedervernässung von landwirtschaftlichen Moorstandorten auf Grünland). Der größte Teil des Potenzials kann zu Kosten zwischen 30 und 60 Euro/t CO_2-Äq. erschlossen werden. Zu den teuren Maßnahmen mit THG-Vermeidungskosten von über 100 Euro/t CO_2-Äq. zählt vor allem die Anpassung der Waldbewirtschaftung sowie die Aufforstung von Ackerland in Regionen mit hohen Bodenpreisen. Bis zum Jahr 2045 fallen Gesamtkosten in Höhe von 92 Mrd. Euro an. Der hohe Finanzierungsbedarf ergibt sich vor allem aus der Kompensation von Wertverlusten und entgangenen Nutzungserträgen durch Flächennutzungsänderungen, während direkte Investitionskosten nur einen geringen Teil der Kosten ausmachen. Gleichzeitig zeigen die Sensitivitätsanalysen, dass die Kostenkurven stark von den getroffenen Annahmen abhängen. Die Ergebnisse liefern eine erste Orientierung für Förderpolitik und Kohlenstoffmärkte, stellen jedoch einen theoretischen Kostenpfad dar, dessen praktische Umsetzung von weiteren betrieblichen, finanziellen und institutionellen Rahmenbedingungen abhängt.

Abstract: Achieving LULUCF targets: What is the cost of effective climate action?

This research report aims to analyse and quantify the potential and GHG abatement costs of key measures within the LULUCF sector. This work is driven by the statutory requirement under Section 3a of the Federal Climate Change Act to strengthen the LULUCF sector as a natural sink, with the aim of achieving a net sink of at least -40 million tonnes of CO_2-equivalent (CO_2-eq) by 2045. As the 2025 projection report indicates a significant shortfall in meeting the 2045 target with a gap of 77 million tonnes of CO_2-eq, which is intended to be addressed through additional measures from the Federal Action Plan on Nature-based Solutions for Climate and Biodiversity,

the study examines the GHG abatement costs per tonne of CO_2-eq at which individual measures could be implemented, as well as the associated total costs.

The chosen approach is based on GHG mitigation per hectare, calculated separately according to measures, farm types, and federal states. Additionally, relevant cost components are recorded, including investment, operating and maintenance costs, as well as losses in value and foregone revenue resulting from land use changes. The objective is to derive, from the perspective of land managers, the levels of remuneration that would make implementing these measures on a significant scale economically attractive. It remains to be seen whether funding would be provided through state subsidies, compensation payments, or market-based instruments such as carbon markets. In the long term, state funding mechanisms could be supplemented or replaced by carbon markets. The Carbon Removals and Carbon Farming Regulation (CRCF Regulation) provides a key foundation for this by establishing principles for the certification and remuneration of climate mitigation measures in the LULUCF sector.

The key findings indicate that the costs of mitigating greenhouse gases (GHGs) required to achieve the land use, land use change and forestry (LULUCF) targets for 2045 amount to a maximum of 143 euro per tonne of CO_2-equivalent (CO_2-eq). The least expensive GHG abatement measure (rewetting agricultural peatlands on grassland) costs 10 euro per tonne of CO_2-eq. The majority of the potential can be realised at costs ranging from 30 to 60 euro per tonne of CO_2-equivalent. The most expensive measures, with GHG abatement costs exceeding 100 euro per tonne of CO_2-equivalent (CO_2-eq), include adjustments to forest management and afforestation of arable land in regions with high land prices. Total costs will amount to 92 billion euro by the year 2045. This high funding requirement primarily stems from the need to compensate for losses in value and foregone yields resulting from land use changes; direct investment costs account for only a small fraction of the total. At the same time, sensitivity analyses show that the cost curves depend heavily on the underlying assumptions. While the results provide important guidance for subsidy policies and carbon markets, they represent a theoretical cost trajectory, and actual implementation depends on additional operational, financial and institutional framework conditions.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis 10
Tabellenverzeichnis 11
Abkürzungsverzeichnis 13
Zusammenfassung 15
Summary 20
1 Einleitung 25
2 Vorgehen und Methodik 27
2.1 Allgemein 27
2.2 Berechnungen und Modellierung 28
2.2.1 Landwirtschaft 28
2.2.2 Wald 29
3 Erstellung von THG-Vermeidungskostenkurven für LULUCF-Maßnahmen 31
3.1 Allgemein 31
3.2 Wiedervernässung landwirtschaftlich genutzter Moorstandorte 32
3.2.1 Methodik 32
3.2.2 Ergebnisse 37
3.2.3 Diskussion der Ergebnisse 39
3.3 Wiedervernässung von trockengelegten Waldmooren 40
3.3.1 Methodik 40
3.3.2 Ergebnisse 41
3.3.3 Diskussion der Ergebnisse 42
3.4 Etablierung von Agroforst/Gehölzstreifen 43
3.4.1 Methodik 43
3.4.2 Ergebnisse 45
3.4.3 Diskussion der Ergebnisse 46
3.5 Anpassung der Waldbewirtschaftung 47
3.5.1 Methodik 47
3.5.1.1 Reduktion der Laubholzentnahme 47
3.5.1.2 Erhöhung der Mortalitätsholzentnahme 51
3.5.2 Ergebnisse 52
3.5.3 Diskussion der Ergebnisse 53
3.6 Schaffung zusätzlicher Waldflächen 54
3.6.1 Methodik 54

3.6.2 Ergebnisse ... 55
3.6.3 Diskussion der Ergebnisse ... 56
3.7 Exkurs zum Holzproduktspeicher ... 57
3.8 THG-Vermeidungskostenkurve für den LULUCF-Sektor ... 57
3.8.1 Allgemein ... 57
3.8.2 Ergebnisse ... 58
3.8.3 Diskussion der Ergebnisse ... 61
4 Kostenbasiertes LULUCF-Zielszenario ... 63
4.1 Allgemein ... 63
4.2 LULUCF ... 64
4.2.1 Ergebnisse ... 64
4.2.2 Diskussion ... 67
4.3 Landwirtschaft ... 68
4.3.1 THG-Emissionen ... 68
4.3.2 Flächenentwicklung ... 71
4.3.3 Tierbestände ... 72
4.3.4 Stickstoff ... 73
4.3.5 Weitere THG-Minderungsoptionen ... 73
4.3.6 Diskussion ... 76
5 Sensitivitäten ... 78
5.1 Etablierung von Paludikulturen ... 78
5.1.1 Methodik ... 78
5.1.2 Ergebnisse ... 79
5.1.3 Diskussion der Ergebnisse ... 81
5.2 Abstockung von Tierbeständen in Moorregionen bei anderen Kompensationskriterien ... 82
5.2.1 Methodik ... 82
5.2.2 Ergebnisse ... 82
5.2.3 Diskussion der Ergebnisse ... 83
5.3 Berücksichtigung von steigenden Umsetzungskosten für die Moorvernässung ... 84
5.3.1 Methodik ... 84
5.3.2 Ergebnisse ... 85
5.3.3 Diskussion der Ergebnisse ... 86
5.4 Nutzung der Gehölze/Agroforst für stoffliche oder energetische Nutzung ... 87
5.4.1 Methodik ... 87

5.4.2 Ergebnisse ... 88
5.4.3 Diskussion der Ergebnisse ... 89
5.5 Auswirkungen von Preisänderungen auf die Holzentnahme aus dem Wald ... 90
5.5.1 Methodik ... 90
5.5.2 Ergebnisse ... 90
5.5.3 Diskussion der Ergebnisse ... 92
5.6 Diskussion der Sensitivitäten ... 92
6 Fazit und Diskussion ... 93
7 Quellenverzeichnis ... 95
A Landwirtschaft ... 100
A.1 Annahmen und Daten ... 100
A.1.1 Moorstandorte im Modell ... 100
A.1.2 Ermittlung des Wertverlustes von Ackerland, Grünland und Forst ... 101
A.1.3 Ermittlung der Standarddeckungsbeiträge ... 102
A.1.4 Weitere Tabellen zur Darstellung von Annahmen und verwendeten Daten ... 103
B LULUCF ... 106
B.1 Weitere Aspekte der Modellierung ... 106
B.1.1 Unterschiede in der Modellierung des LULUCF-Sektors zwischen MWMS-FABio und MWMS-PB25 ... 106
B.1.2 Methodik Holzproduktespeicher in FABio-Land ... 107

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: LULUCF-Maßnahmen zur Schließung der LULUCF-Ziellücke* in 2045 und Darstellung der THG-Vermeidungskosten 17
Abbildung 2: THG-Vermeidungskostenkurve für die Wiedervernässung von trockengelegten landwirtschaftlichen Moorstandorten 37
Abbildung 3: Flächenpotenzial in Abhängigkeit der Gesamtkosten pro Hektar für die Wiedervernässung von landwirtschaftlichen Moorstandorten 39
Abbildung 4: THG-Vermeidungskostenkurve für die Wiedervernässung trockengelegter Waldstandorte 42
Abbildung 5: THG-Vermeidungskostenkurve für die Etablierung von Gehölzstrukturen 45
Abbildung 6: Menge an nicht geerntetem Laubholz in Abhängigkeit vom THG-Preis 50
Abbildung 7: Höhe der Mobilisierungsrate und der THG-Vermeidung für eine zusätzliche Mortalitätsholzentnahme in Abhängigkeit vom THG-Preis 52
Abbildung 8: Kostenkurve für angepasstes Waldmanagement im Jahr 2045 53
Abbildung 9 THG-Vermeidungskostenkurve Jahr 2045 für die Schaffung zusätzlicher Waldflächen 56
Abbildung 10: LULUCF-Maßnahmen zur Schließung der LULUCF-Ziellücke* in 2045 und Darstellung der THG-Vermeidungskosten 60
Abbildung 11: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor LULUCF im THG-Kosten-Szenario und dem Szenario MWMS, 2023-2045 65
Abbildung 12: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Landwirtschaft im THG-Kosten-Szenario und dem Szenario MWMS, 2023-2045 70
Abbildung 13: Entwicklung der Stickstoffeinsätze, THG-Kosten-Szenario und MWMS, 2023-2045 73
Abbildung 14: Sensitivität der Vermeidungskostenkurve für Paludikulturen gegenüber dem „Basisszenario“ 81
Abbildung 15: Sensitivität der Vermeidungskostenkurve für weitere Abstockung von Tierbeständen gegenüber dem Basisszenario 83
Abbildung 16: Sensitivität der Vermeidungskostenkurve für steigende Umsetzungskosten bei der Moorwiedervernässung gegenüber dem „Basisszenario“ 86
Abbildung 17: Sensitivität der Vermeidungskostenkurve für die Nutzung von Gehölzstrukturen gegenüber dem „Basisszenario“ 89
Abbildung 18: Sensitivitäten zur Menge an nicht geerntetem Laubholz in Abhängigkeit vom THG-Preis 91
Abbildung 19: Sensitivitäten zur Kostenkurve für angepasstes Waldmanagement im Jahr 2045 91
Abbildung 20: Vergleich der Ergebnisse für den LULUCF-Sektor zum MWMS aus dem Projektionsbericht 2025 und modelliert in FABio-Land 107
Abbildung 21: Zusätzlicher Zufluss und mittlerer Zufluss der Jahre 2014-2023 an langlebigen Holzprodukten in den Holzproduktspeicher, 2025-2045 108

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: THG-Vermeidungsziele der einzelnen LULUCF-Maßnahmen nach dem ANK in Mio. t CO_2-Äq. ... 27
Tabelle 2: Elemente der Palu-Richtlinie für die Herleitung der Kosten zur Moorwiedervernässung ... 33
Tabelle 3: Überblick über weitere Parameter für die Kostenermittlung der Moorwiedervernässung ... 35
Tabelle 4: Beispiel für die Berechnung der Hektarkosten ... 38
Tabelle 5: Überblick über wesentliche Parameter für die THG-Vermeidungskostenkurve der Wiedervernässung von Waldstandorten auf organischen Böden ... 41
Tabelle 6: Überblick über wesentliche Parameter für die THG-Vermeidungskostenkurve der Anlage von Gehölzstrukturen ... 43
Tabelle 7: Überblick über wesentliche Parameter für die THG-Vermeidungskostenkurve der Schaffung zusätzlicher Waldflächen ... 55
Tabelle 8: Überblick über die Ergebnisse der THG-Vermeidungskosten der einzelnen Maßnahmen für das ermittelte Gesamtpotenzial bis 2045 ... 59
Tabelle 9: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im LULUCF-Sektor im THG-Kosten-Szenario, 2023-2045, in Mio. t CO_2-Äq. ... 65
Tabelle 10: THG-Vermeidung im LULUCF-Sektor im THG-Kosten-Szenario, 2040 und 2045, in Mio.t CO_2-Äq. ... 66
Tabelle 11: Entwicklung von Flächen und Holzentnahme/-verwendung, THG-Kosten-Szenario, 2040 und 2045, ... 67
Tabelle 12: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Landwirtschaft im THG-Kosten-Szenario, 2023-2045, in Mio.t CO_2-Äq. ... 70
Tabelle 13: THG-Minderung im Landwirtschaftssektor durch die Umsetzung der LULUCF-Maßnahmen im Jahr 2045 in Mio. t CO_2-Äq. ... 71
Tabelle 14: Entwicklung der Flächennutzung im THG-Kosten-Szenario, 2023-2045, in Mio. ha ... 72
Tabelle 15: Entwicklung der Tierbestände im THG-Kosten-Szenario, 2023-2045, in 1000 Stk. ... 72
Tabelle 16: THG-Vermeidungskosten im Landwirtschaftssektor und THG-Vermeidungspotenzial im THG-Kosten-Szenario für ausgewählte Maßnahmen 75
Tabelle 17: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Landwirtschaft im THG-Kosten-Szenario, 2023-2045, in Mio. t CO_2-Äq. ... 75
Tabelle 18: Ausgangsniveau 2023 und THG-Minderungen aus MWMS, technischen Maßnahmen und LULUCF-Maßnahmen bis 2045 in Mio. t CO_2-Äq. ... 76
Tabelle 19: Überblick über wesentliche Parameter für die THG-Vermeidungskostenkurve zur Etablierung von Paludikulturen für die Moorvernässung ... 78
Tabelle 20: Vergleich Emissionsfaktoren und Nutzung für die Wiedervernässung von Moorstandorten ... 79

Tabelle 21: Unterschiede zwischen der Sensitivität „Paludikultur“ und dem „Basisszenario“ in Bezug auf Flächenumfang, Vermeidungs- und Gesamtkosten 80
Tabelle 22: Überblick über wesentliche Parameter für die THG-Vermeidungskostenkurve von steigenden Umsetzungskosten für die Moorvernässung 84
Tabelle 23: Überblick über wesentliche Parameter für die THG-Vermeidungskostenkurve für die stoffliche oder energetische Nutzung der Gehölzflächen 87
Tabelle 24: Zuordnung des Moorgrünlands zu einzelnen Betriebstypen am Beispiel Niedersachen 100
Tabelle 25: Überblick Bodenrichtwert für Ackerland, Grünland und Forst für die Bundesländer in Euro pro ha 101
Tabelle 26: Überblick Standarddeckungsbeiträge pro Betriebstyp in den einzelnen Bundesländern für Ackerland und Grünland (in Euro/ha) 102
Tabelle 27: Emissionsfaktor für die landwirtschaftliche Nutzung trockengelegter Moorstandorte nach Bundesländern in t CO_2-Äq./ha (Mittelwert 2014 bis 2023) 103
Tabelle 28: Skalierungsfaktor für den Zuwachs des Vorrates im Wald nach Bundesländern* 104
Tabelle 29: Überblick über Betriebstypen mit zusätzlicher Tierbestandsreduktion in der Sensitivität 104
Tabelle 30: Analyse THG-Vermeidung im Holzproduktspeicher, 2025-2045 109

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
ANK	Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz
BB	Brandenburg
BMLEH	Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat
BMUKN	Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BORIS	Bodenrichtwertinformationssystem
BW	Baden-Württemberg
BWI	Bundeswaldinventur
BY	Bayern
CBAM	Carbon Border Adjustment Mechanism (CO_2-Grenzausgleichsmechanismus)
CH_4	Methan
CO_2	Kohlendioxid
CO_2-Äq.	CO_2-Äquivalente
CRCF-Verordnung	Verordnung über die Zertifizierung von CO_2-Entnahmen und kohlenstoffspeichernde Landbewirtschaftung (Carbon Removals and Carbon Farming Regulation)
CRT	Common Reporting Tables (Berichtsformate für THG-Inventare)
Destatis	Statistisches Bundesamt
EU	Europäische Union
EU COM	European Commission (Europäische Kommission)
FABio	Forestry and Agriculture Biomass Model (Modell des Öko-Instituts)
GAK	Gemeinschaftsaufgabe zur Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
GAPDZV	GAP-Direktzahlungs-Verordnung
ggü.	gegenüber
GVE	Großvieheinheit
ha	Hektar
HE	Hessen
HWP	Harvested Wood Products (Holzproduktspeicher)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen)
K.A.	Keine Angaben
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
KSP	Klimaschutzprogramm

Abkürzung	Erläuterung
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
KUP	Kurzumtriebsplantage
LF	Landwirtschaftliche Nutzfläche
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
LiSE	Landwirtschaftsmodell (Betriebstypenspezifisch) des Öko-Instituts
LULUCF	Land Use, Land-Use Change and Forestry (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft)
MMS	Mit-Maßnahmen-Szenario
MV	Mecklenburg-Vorpommern
MWMS	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario
NI	Niedersachsen
N_2O	Lachgas
NW	Nordrhein-Westfalen
OMS	Ohne-Maßnahmen-Szenario
PB	Projektionsbericht
RP	Rheinland-Pfalz
SDB	Standarddeckungsbeitrag
SH	Schleswig-Holstein
SL	Saarland
SN	Sachsen
ST	Sachsen-Anhalt
TH	Thüringen
THG	Treibhausgas
UBA	Umweltbundesamt

Zusammenfassung

Der LULUCF-Sektor soll nach § 3a des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG) als natürliche Senke gestärkt werden. Der gesetzliche Zielwert liegt für das Jahr 2045 bei einer Netto-Senke von mindestens -40 Mio. t CO_2-Äq.. Der Projektionsbericht 2025 (Förster et al. 2025), der die aktuellen Entwicklungen fortschreibt, zeigt für das Jahr 2045 eine erhebliche Zielverfehlung. Für den LULUCF-Sektor verbleibt eine Lücke von 77 Mio.t CO_2-Äq., die durch zusätzliche Maßnahmen geschlossen werden muss. Mit dem Klimaschutzprogramm 2026 (KSP2026) (BMUKN 2026b) wurden die Ziele des Aktionsprogramms Natürlicher Klimaschutz (ANK2.0) (BMUKN 2025) für die einzelnen Maßnahmen zur Umsetzung des LULUCF-Ziels nach § 3a des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG) übernommen. Das ANK2.0 bietet einen zentralen Maßnahmenrahmen, um die gesetzlich festgelegten Senkenziele zu erreichen und die im Projektionsbericht 2025 ausgewiesene Lücke im LULUCF-Sektor durch zusätzliche, wirksame Klimaschutzmaßnahmen zu schließen. Die Umsetzung der Maßnahmen erfolgt derzeit auf freiwilliger Basis und wird durch Förderprogramme unterstützt. Langfristig ist auch die Finanzierung der Maßnahmen über Kohlenstoffmärkte eine Option. Die europäische Verordnung über die Zertifizierung von CO_2-Entnahmen und kohlenstoffspeichernde Landbewirtschaftung (Carbon Removals and Carbon Farming Regulation, CRCF-Verordnung) (European Union [EU], 2024) schafft hierfür eine wichtige Grundlage, da mit der Verordnung ein EU-weiter Rahmen für die Zertifizierung von Kohlenstoffentnahmen, kohlenstoffspeichernde Landbewirtschaftung und Kohlenstoffspeicherung in Produkten eingeführt wurde. Die Zertifizierungsmethode für kohlenstoffspeichernde Landbewirtschaftung (Carbon Farming) wird als delegierter Rechtsakt unter der CRCF-Verordnung Anforderungen in Bezug auf die Zulässigkeit sowie die Berechnung der CO_2-Entnahmen und Emissionsminderungen verschiedener Maßnahmen festlegen (European Commission [EC], 2026).

Diese Studie hat zum Ziel, die Potenziale zur Lückenschließung sowie die THG-Vermeidungskosten der Maßnahmen im Bereich LULUCF zu analysieren und zu quantifizieren. Dabei beziehen sich die THG-Vermeidungspotentiale sowohl auf den Aufbau von Senken als auch auf die Minderung von Emissionen. Die LULUCF-Ziellücke beschreibt dabei die Differenz zwischen dem im Projektionsbericht 2025 ausgewiesenen Projektionspfad des Mit-Maßnahmen-Szenarios und dem in KSG §3a festgelegten LULUCF-Ziel. Die vorliegende Studie fokussiert ausschließlich auf Maßnahmen, die auf die Zielerreichung im LULUCF-Sektor einzahlen. Ihre Umsetzung und die damit verbundenen Kosten fallen teilweise in der Landwirtschaft bzw. bei forstwirtschaftlichen Akteuren an. Einzelne Maßnahmen können dabei THG-Minderungen im Landwirtschafts- und im LULUCF-Sektor entfalten. Dabei wird untersucht, zu welchem THG-Preis pro Tonne die Maßnahme wirtschaftlich attraktiv für die Landbewirtschaftenden ist. Dazu werden THG-Vermeidungskostenkurven erstellt, die aufzeigen, welcher finanzielle Anreiz für die Umsetzung der Maßnahmen erforderlich ist und in welcher Höhe die Gesamtkosten liegen. Die folgenden Maßnahmen werden bei der Analyse berücksichtigt:

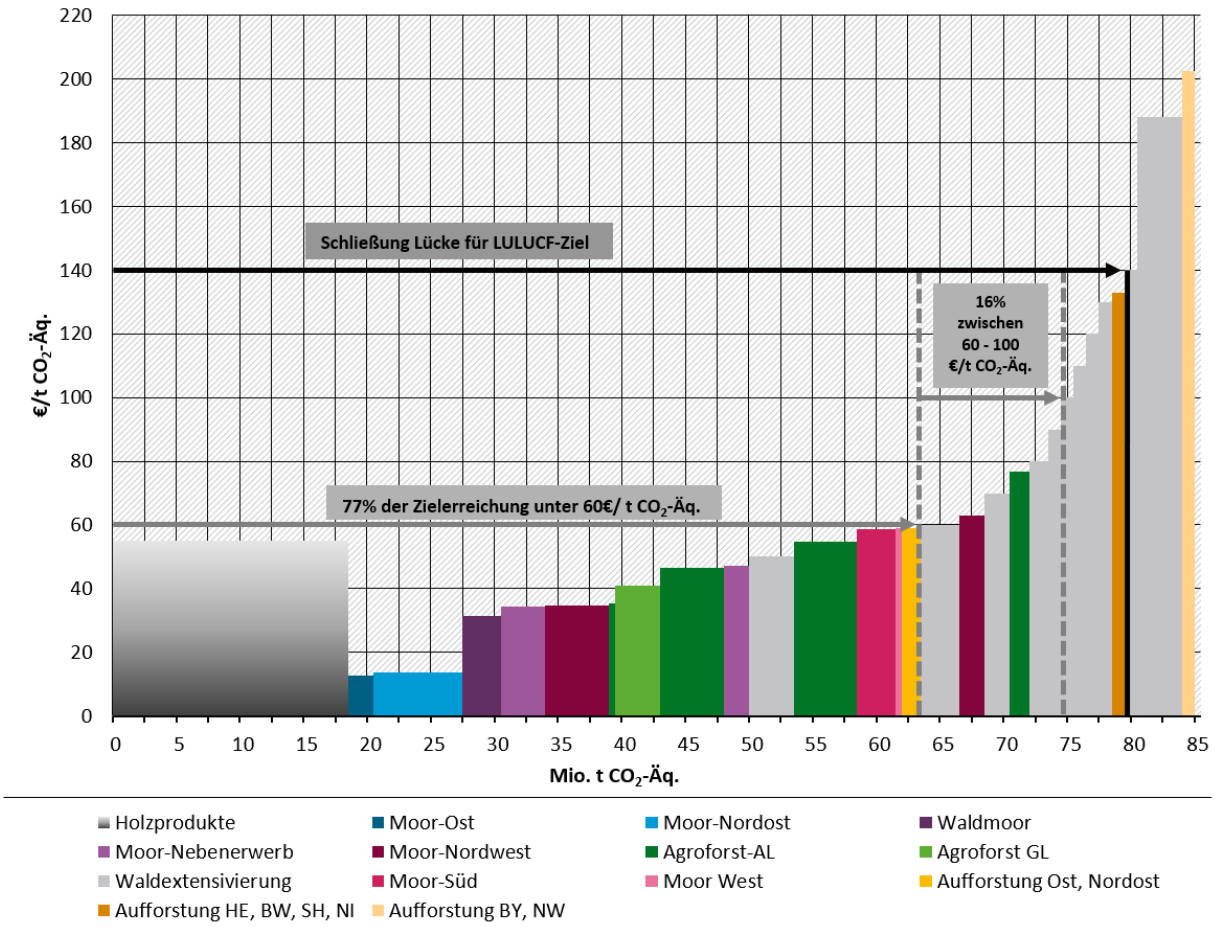
- Wiedervernässung von land- und forstwirtschaftlich genutzten Moorstandorten,
- Etablierung von Gehölzstrukturen/Agroforstsystemen,
- angepasstes Waldmanagement,
- Schaffung zusätzlicher Waldflächen.

Auch die Erhöhung der Kohlenstoffbindung im Holzproduktspeicher spielt eine entscheidende Rolle für die Erreichung des LULUCF-Ziels. Aus methodischen Gründen konnten hierfür keine

robusten und konkreten Annahmen zu den THG-Vermeidungskosten getroffen werden und es wird vereinfacht nur eine Bandbreite abgebildet. Im Rahmen der Studie wird zunächst eine Vermeidungskostenkurve für die relevanten LULUCF-Maßnahmen mit THG-Vermeidungen im LULUCF- und Landwirtschaftssektor hergeleitet. Darauf aufbauend wird ein kostenbasiertes LULUCF-Zielszenario für beide Sektoren entwickelt. Da für einige der zugrunde liegenden Annahmen aufgrund geringer Erfahrungen mit den Maßnahmen in der Fläche und der praktischen Umsetzung große Unsicherheiten bestehen, werden im Anschluss zusätzliche Sensitivitäten für verschiedene Größen berechnet.

Der gewählte Ansatz basiert auf der THG-Vermeidung je Hektar und bezieht sowohl die THG-Vermeidungen die im LULUCF-Sektor bilanziert werden als auch die THG-Minderungen des Landwirtschaftssektors, die infolge der Umsetzung der LULUCF-Maßnahmen auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche entstehen, mit ein. Die Berechnung erfolgt differenziert nach Maßnahmen, Betriebstypen und Bundesländern. Dabei werden die relevanten Kostenkomponenten erfasst, darunter Investitions-, Betriebs- und Pflegekosten sowie Wertverluste und Ertragsausfälle infolge von Flächennutzungsänderungen. Ziel ist die Ableitung jener Vergütungshöhen für die Landbewirtschaftenden, die eine Umsetzung der Maßnahmen in relevantem Umfang wirtschaftlich attraktiv machen. Das Vorgehen zur Ermittlung von THG-Vermeidungskostenkurven unterscheidet sich zwischen Maßnahmen auf landwirtschaftlichen Flächen und forstlichen Maßnahmen. Für die Umsetzung der landwirtschaftlichen Maßnahmen wie die Wiedervernässung der landwirtschaftlich genutzten Moore und die Etablierung von Agroforstsystemen/Gehölzstreifen werden Investitions-, Pflegekosten und die Kompensation von entgangenem Nutzen sowie Flächenwertverluste berücksichtigt. Für jeden Betriebstyp und jedes Bundesland wird ein eigener Wert für die THG-Vermeidungskosten berechnet. Gleichzeitig wird zwischen Grünland und Ackerland unterschieden. Dieser ergibt sich aus den jeweiligen betriebs- und bundeslandspezifischen Emissionsfaktoren sowie aus den entsprechenden Kostenannahmen. Die Berechnungen der THG-Vermeidungskosten für die Maßnahmen der Moorvernässung im Wald und die Schaffung von zusätzlichen Waldflächen erfolgt dagegen nur auf Bundeslandebene und basiert damit auf Werten aus den 13 Flächenbundesländern (BW, BY, BB, HE, MV, NI, NW, RP, SL, SN, ST, SH, TH), die Stadtstaaten werden bei der Analyse nicht berücksichtigt. Die Reduktion der Holzentnahme aus dem Wald wird hingegen gesondert behandelt und umfasst ausschließlich die Kompensation der entgangenen Erlöse der Waldbesitzenden, da das Holz im Wald verbleibt und keine weiteren Investitionskosten anfallen. Für die Analyse liegen so THG-Vermeidungskosten für die einzelnen Maßnahmen vor, woraus eine integrierte THG-Vermeidungskostenkurve, siehe Abbildung 1,für den LULUCF-Sektor abgeleitet wird. Mit deren Hilfe lassen sich die kostengünstigsten Maßnahmen für die notwendige THG-Vermeidung identifizieren und es ergibt sich in der Theorie eine ideale Reihenfolge für deren regionale Umsetzung.

Abbildung 1: LULUCF-Maßnahmen zur Schließung der LULUCF-Ziellücke* in 2045 und Darstellung der THG-Vermeidungskosten



Anmerkung: Als Grundlage der Berechnungen wurde das MMS des Projektionsberichts 2025 in FABio-Land und FABio-Forest nachgebildet. Für 2045 weicht dieses Szenario um rund 2 Mio. t CO_2-Äq. vom Projektionsbericht ab. Aufgrund dieser Abweichungen bei der Modellierung beträgt die erforderliche THG-Minderung zur Schließung der LULULCF-Lücke daher -79 Mio. t CO_2-Äq. statt -77 Mio. t CO_2-Äq. wie im Projektionsbericht.
Für die Darstellung wurden die insgesamt 340 Datenpunkte der THG-Vermeidungskurve anhand ihrer THG-Vermeidungskosten gewichtet und zu den einzelnen Balken zusammengefasst.
* Vergleich UBA-Projektionen 2025 gegenüber dem LULUCF-Ziel in 2045 lt. KSG
Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

Mit Abbildung 1 liegt ein Überblick vor, wieviel der möglichen THG-Vermeidungspotentiale zu welchen THG-Vermeidungskosten erschlossen werden können: Etwa 77 % der LULUCF-Ziellücke kann zu Kosten von unter 60 Euro/t CO_2-Äq. erschlossen werden. Für rund 16 % der notwendigen THG-Vermeidung zur Zielerreichung liegen die Kosten zur Erschließung zwischen 60 und 100 Euro/ t CO2-Äq.. Lediglich 7 % der erforderlichen THG-Vermeidung zur Zielerreichung sind mit vergleichsweise hohen THG-Vermeidungskosten zwischen 100 und 143 Euro/t CO_2-Äq. verbunden. Insgesamt ergibt sich, wie Abbildung 1 zeigt, ein THG-Vermeidungspotenzial von -84 Mio. t CO2-Äq. im LULUCF-Sektor. Hinzu kommen weitere THG-Minderungen im Landwirtschaftssektor in Höhe von -5,6 Mio. t CO2-Äq., die in der Abbildung nicht ausgewiesen sind. Das ermittelte THG-Vermeidungspotenzial übersteigt mit -84 Mio. t CO_2-Äq. den zur Schließung der LULUCF-Ziellücke erforderlichen Umfang. Ein Großteil des darüberhinausgehenden Potenzials ergibt sich aus den getroffenen Annahmen zur Waldbewirtschaftung. Diese sind jedoch mit höheren Kosten verbunden und stellen daher keine kostengünstige Option zur Zielerreichung dar. Die

Vermeidungskosten der betrachteten Maßnahmen liegen insgesamt zwischen 10,4 und 300 Euro/t CO2-Äq..

Ein relevantes und kostengünstiges THG-Vermeidungspotenzial liegt mit rund -8,3 Mio. t CO_2-Äq. und THG-Vermeidungskosten unter 15 Euro/t CO_2-Äq. bei der Moorwiedervernässung von Grünlandstandorten in Betrieben im Osten und im Nordosten Deutschlands. Weitere 4 Mio.t CO_2-Äq. können für unter 30 Euro/t CO_2-Äq. durch die Wiedervernässung von Waldmooren und bewirtschafteten Mooren auf Ackerland im Osten und Nordwesten erschlossen werden. Gehölzstrukturen auf Grünland und Ackerland, die Wiedervernässung von landwirtschaftlichen Moorstandorten in Nebenerwerbsbetrieben, im Nordwesten, den westlichen und südlichen Bundesländern, die Aufforstung von Ackerland im Osten und Nordosten, aber auch günstige Maßnahmen zur Waldextensivierung liefern weiteres relevantes THG-Vermeidungspotenzial in Höhe von rund -30 Mio. t CO_2-Äq. zu Kosten zwischen 30 und 60 Euro/t CO_2-Äq. Danach schließen sich weitere Potenziale der Waldextensivierung an, jedoch zu deutlich höheren Kosten. Die teuersten Maßnahmen sind Aufforstungen von Ackerland, insbesondere in Bayern und Nordrhein-Westfalen, bei insgesamt begrenztem Vermeidungspotenzial. Knapp ein Viertel der zur Erreichung des 2045 LULUCF-Ziels erforderlichen THG-Vermeidungen entfällt auf den Ausbau des Holzproduktespeichers und die damit verbundene CO_2-Festlegung. Für diese Maßnahmen konnten aus methodischen Gründen allerdings keine THG-Vermeidungskosten berechnet werden, sondern es wurde nur eine grobe Abschätzung erstellt. Die Abschätzung deutet auf vergleichsweise geringe Kosten hin, sodass das Potenzial der Kostenklasse von unter 60 Euro/t CO_2-Äq. zugeordnet wurde.

Die Erreichung des LULUCF-Ziels bis zum Jahr 2040 ist nach den getroffenen Annahmen zu THG-Vermeidungskosten von 94 Euro/t CO_2-Äq. möglich. Dafür müssten rund 85 % des hier berechneten THG-Vermeidungspotenzials im LULUCF-Sektor erschlossen werden. Die Kosten bis 2040 betragen insgesamt 76,7 Mrd. Euro. Für die Zielerreichung bis 2045 ist eine zusätzliche THG-Vermeidung in Höhe von rund -6 Mio. t CO_2-Äq. erforderlich. Dadurch steigen die THG-Vermeidungskosten auf 143 Euro/t CO_2-Äq. an. In diesem Fall wären rund 94 % des hier abgebildeten THG-Vermeidungspotenzials im LULUCF-Sektor ausgeschöpft und die Kosten lägen bei 92,2 Mrd. Euro.[1] Ein großer Kostenanteil entfällt auf die Kompensation von Wertverlusten durch Flächennutzungsänderungen. Betroffen wären rund 2,3 Mio. ha landwirtschaftlicher Nutzfläche (LF) und damit in etwa 14 % der Acker- und Grünlandflächen, hinzu kommen rund 0,2 Mio. Hektar Waldfläche für die Wiedervernässung von trockengelegten Waldmooren. Zusätzlich spielen Ausgleichszahlungen für entgangene Nutzungserträge eine Rolle, die sich an regional und betriebsspezifischen Standarddeckungsbeiträgen orientieren. Direkte Investitionen, etwa in Moorwiedervernässung, Aufforstung und Gehölzstrukturen, machen dagegen nur einen kleineren Teil der Gesamtkosten aus. Nach der THG-Vermeidungskostenkurve werden für die Erreichung des LULUCF-Ziels nur Maßnahmen berücksichtigt, deren Vermeidungskosten unter 143 Euro/ t CO_2-Äq. liegen. Teilbereiche der Anpassung der Waldbewirtschaftung sowie der Aufforstung von Ackerflächen in Regionen mit hohen Bodenpreisen weisen THG-Vermeidungskosten von mehr als 143 Euro je Tonne CO_2-Äq. auf. Diese Potenziale werden für die Erreichung des LULUCF-Ziels nicht berücksichtigt. Diese Betrachtung basiert ausschließlich auf den THG-Vermeidungskosten und berücksichtigt nicht zusätzliche Nutzen, die sich beispielsweise für die Biodiversität, den Wasserhaushalt oder andere Ökosystemleistungen ergeben können.

Die in Abbildung 1 ausgewiesene THG-Vermeidung wird dem LULUCF-Sektor zugerechnet, ihre Umsetzung erfolgt jedoch zu großen Teilen auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Maßnahmen

[1] Die Kosten für den Holzproduktespeicher sind auf Grund der methodischen Schwierigkeiten in den Gesamtkosten nicht enthalten.

auf landwirtschaftlich genutzten Böden tragen rund 55 % zur Schließung der LULUCF-Ziellücke bei. Damit spielt die Landwirtschaft eine zentrale Rolle für die Erreichung des LULUCF-Ziels. Darüber hinaus werden weitere THG-Minderungen in Höhe von -5,6 Mio. t CO_2-Äq. durch die Umsetzung der LULUCF-Maßnahmen im Landwirtschaftssektor durch die Reduktion der Düngung, die Abstockung der Tierbestände etc. erzielt.

Die Sensitivitätsanalysen zeigen, dass Änderungen bei den zentralen Annahmen wie z. B. geänderte Nutzungen (Paludikulturen etc.) oder Preisänderungen einen deutlichen Einfluss auf die Höhe der THG-Vermeidungskosten haben können. In den betrachteten Fällen führen die veränderten Annahmen überwiegend zu höheren THG-Vermeidungskosten. Auch die Wirtschaftlichkeit und Klimawirkung der betrachteten Maßnahmen hängt damit stark von den getroffenen Annahmen ab. Für die Einordnung der THG-Vermeidungskosten und der möglichen Attraktivität für den freiwilligen Kohlenstoffmärkten sind daher nicht allein die Ergebnisse unter den zugrunde gelegten Annahmen relevant. Ebenso wichtig ist die Frage, wie stabil die Ergebnisse unter veränderten Rahmenbedingungen bleiben, wie sie in den Sensitivitäten untersucht wurden.

Insgesamt stellt die Analyse einen theoretischen Vermeidungskostenpfad dar und gibt Orientierung für politische Entscheidungsprozesse. Ob die angesetzten Preise ausreichend attraktiv sind, kann sich erst bei der praktischen Umsetzung zeigen. Neben den Kosten bestimmen betriebliche Faktoren und Umsetzungshürden die Teilnahmebereitschaft. Ein schneller Hochlauf der Maßnahmen (insbesondere der Moorwiedervernässung und der Etablierung von Gehölzstrukturen) ist daher nicht allein durch günstige THG-Vermeidungskosten gesichert. Die Ergebnisse liefern eine erste Orientierung zur Höhe der erforderlichen Finanzmittel, des potenziellen Marktvolumens sowie möglicher THG-Preise, falls künftig Märkte für die Honorierung von Senkenleistungen (im Folgenden „Kohlenstoffmärkte“) etabliert werden.

Summary

Under Section 3a of the Federal Climate Change Act (KSG), the LULUCF sector is set to be bolstered as a natural carbon sink. The statutory target for 2045 is to achieve a net sink of at least -°40 million tonnes of CO_2-equivalent. However, the 2025 Projection Report (Förster et al. 2025), which extrapolates current trends, indicates a significant deviation from this target. The LULUCF sector must close a gap of -77 million tonnes of CO_2-equivalent through additional measures. The Climate Action Programme 2026 (KSP2026) (BMUKN 2026b) adopted the Federal Action Plan on Nature-based Solutions for Climate and Biodiversity (ANK) (BMUKN 2025) objectives regarding the specific measures to implement the LULUCF targets set out in Section 3a of the Climate Change Act. The ANK provides a central framework of measures to achieve the statutory sink targets and close the LULUCF sector gap identified in the 2025 Projection Report through effective additional climate action measures. Implementation of these measures is currently voluntary and supported by funding programmes. In the long term, financing measures via carbon markets is also an option. The European Carbon Removals and Carbon Farming Regulation (CRCF Regulation) (EU, 2024) provides an important foundation for this, as it establishes an EU-wide framework for the certification of carbon removals, carbon farming, and carbon storage in products. The certification methodology for carbon farming, to be adopted as a delegated act under the CRCF Regulation, sets out requirements regarding the eligibility of different measures as well as the quantification of carbon removals and emission reductions (EC, 2026).

The aim of this study is to analyse and quantify the potential contribution of LULUCF measures to closing the gap and their GHG abatement costs. GHG abatement potential includes both enhancing sinks and reducing emissions. The LULUCF target gap is defined as the difference between the with-measures scenario pathway in the 2025 Projection report and the LULUCF target set out in Section 3a KSG. The study focuses exclusively on measures that contribute to achieving the LULUCF sector target. Their implementation and associated costs partly arise in agriculture or forestry sector. Individual measures can reduce GHG emissions in both the agricultural sector and the LULUCF sectors.

The analysis examines the price of greenhouse gases (GHGs) per tonne at which each measure becomes economically attractive to land managers. GHG abatement cost curves are developed to show both the financial incentive required for implementation and resulting total costs. The following measures are included in the analysis:

- rewetting of peatland sites used for agriculture and forestry
- establishment of woody landscape elements/agroforestry systems
- adapted forest management
- creation of additional forest areas.

Increasing carbon storage in harvested wood products is also crucial for achieving the LULUCF target. For methodological reasons, robust and specific assumptions on GHG abatement costs could not be derived, only a simplified cost range is therefore presented.

The study first derives an abatment cost curve for relevant LULUCF measures, including GHG reductions accounted for in both the LULUCF and the agricultural sectors. On this basis, a cost-based LULUCF target scenario is developed for both sectors. As some assumptions are highly uncertain due to limited practical experience with large-scale implementation, additional sensitivity analyses are subsequently calculated for several parameters.

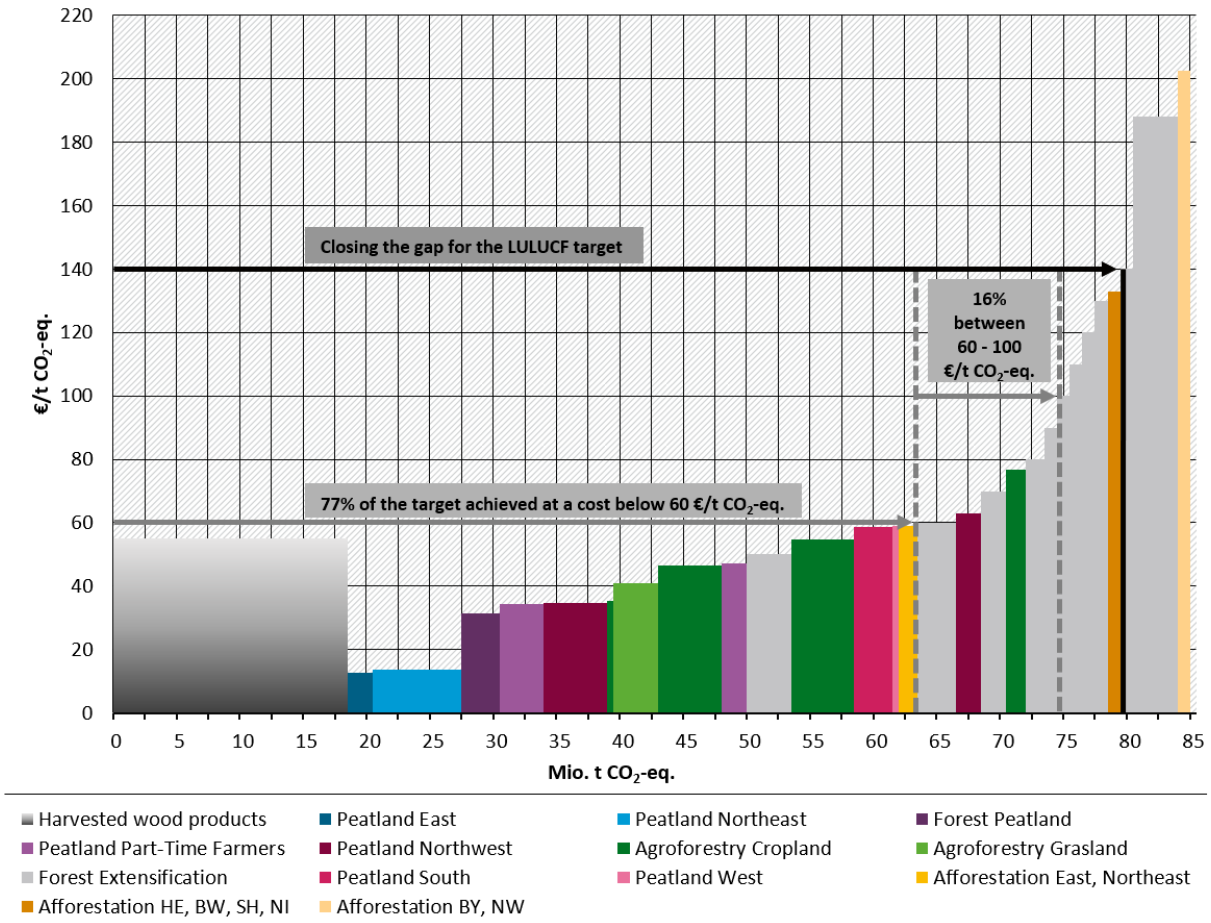
The chosen approach is based on GHG reductions per hectare and includes both reductions accounted for in the LULUCF sector and reductions in the agricultural sector resulting from implementation of LULUCF measures on agricultural land. Calculations are differentiated by measure, farm type and federal state. Relevant cost components include investment, operating and maintenance costs, and loss of value and income resulting from changes in land use. The objective is to derive compensation levels for land managers that would make the implementation of these measures economically attractive on a large scale.

The methodology for determining greenhouse gas (GHG) abatement cost curves differs between agricultural and forestry measures. When implementing agricultural measures, such as rewetting agriculturally used peatlands or establishing agroforestry systems/woody strips, the following are considered: investment costs, maintenance costs, compensation for foregone benefits, and land value losses. A separate value for GHG abatement costs is calculated for each farm type and federal state. At the same time, a distinction is made between grassland and arable land. The resulting value is based on respective farm- and state-specific emission factors, as well as the corresponding cost assumptions.

In contrast, the calculation of GHG abatement costs for rewetting forest peatlands and creating additional forest areas is only carried out at the federal state level. It is therefore based on values from the 13 federal states (BW, BY, BB, HE, MV, NI, NW, RP, SL, SN, ST, SH, TH). The city states are not included in the analysis. However, the reduction of timber extraction from forests is treated separately and only includes compensation for the foregone revenues of forest owners, since the wood remains in the forest and no further investment costs arise.

As part of the study, the costs of abating greenhouse gases (GHGs) are calculated for individual measures, and an integrated GHG abatement cost curve is derived for the land use, land use change and forestry (LULUCF) sector (see Figure 1). The curve identifies the least-cost measures needed to achieve the required abatement, and, in theory, provides an ideal sequence for their regional implementation.

Figure 1: GHG measures for closing the 2045 LULUCF target gap* and associated GHG abatement costs



Note: The with measures scenario from the 2025 Projection report was reproduced in Fabio-Land and FABio-Forest as the basis for the calculations. For 2045, this scenario differs from the Projection Report by around 2 million t CO_2-eq. Owing to this modelling deviations, the GHG reduction required to close the LULUCF gap is -79 million t CO_2-eq., rather than -77 million t CO_2-eq reported in the Projection report.

For the illustration, the total of 340 data points in the GHG abatement curve were weighted according to their GHG abatement costs and aggregated into the individual bars.

*Comparison of the 2025 UBA projections with the 2045 LULUCF target under the KSG

Source: Authors' own illustration, Oeko-Institut

Figure 1 shows how much of the available GHG abatment potential can be mobilised at different cost levels. Around 77% of the LULUCF target gap can be closed at costs below 60 euro/t CO2-eq. For around 16% of the GHG abatement required to meet the target, mobilisation costs are between 60 and 100 euro/t CO2-eq. Only 7% is associated with comparatively high costs of 100 to 143 euro/t CO_2-eq. Overall Figure 1 shows GHG abatement potential of -84 million t CO_2-eq in the LULUCF sector. A further -5.6 million t CO_2-eq of reductions occur in the agriculture sector and are not shown in the figure. The identified LULUCF potential calculated here exceeds the amount required to close the target gap. Much of the additional potential is attributable to assumptions on forest management, but it entails higher costs and is therefore not a least-cost option for meeting the target. Across all measures considered GHG abatement costs range from 10.4 to 300 euro/t CO_2-eq.

A relevant and low-cost GHG abatement potential of around -8.3 million t CO2-eq, at less than 15 euro/t CO2-eq, is associated with rewetting of peatland grassland on farms in eastern and north-eastern Germany. A further -4 million t CO_2-eq can be mobilised for less

than 30 euro/t CO_2-eq by rewetting forest peatlands and managed peatlands under arable land use in eastern and north-western Germany. Woody landscape elements on grassland and arable land, rewetting agricultural peatlands on part-time farms and in north-western, western and southern federal states, afforesting arable land in eastern and north-eastern Germany, and low cost forest extensification measures provide a further relevant potential of around -30 million t CO_2-eq at costs of 30 to 60 euro/t CO_2-eq. Additional potential arises from forest extensification, albeit at significantly higher costs. The most expensive measures are afforestation measures on arable land, particularly in Bavaria and North Rhine-Westphalia, which have limited overall abatement potential. Almost one quarter of the GHG abatement required to meet the 2045 LULUCF target comes from expanding the harvested wood products pool and associated CO_2 storage. For methodological reasons, no GHG abatement costs could be calculated for these measures, only a rough estimate was made. This estimate indicated comparatively low costs, so the potential was assigned to the cost category below 60 euro/t CO_2-eq.

Under the assumptions made, the LULUCF target for 2040 can be achieved at GHG abatement cost of 94 euro/t CO_2-eq. This would require mobilising around 85% of the LULUCF sector potential calculated here. Total costs up to 2040 would amount to 76.7billion euro. Meeting the target in 2045, requires an additional GHG reduction of around 6 million tonnes of CO_2-eq, raising GHG abatement costs to 143 euro/t CO_2-eq. In this case, around 94% of the LULUCF potential shown here would be used and costs would total 92.2 billion euro[2].

A large proportion of these costs would be due to compensation for losses in value resulting from land-use changes. Around 2.3 million hectares of utilised agricultural area (UAA) would be affected to achieve the LULUCF target, equivalent to around 14% of arable and grassland areas. Additionally, around 0.2 million hectares of forest would be affected by rewetting drained forest peatlands. Compensation payments for foregone land use revenues would also be required; these would be based on regional and farm-specific standard gross margins. Direct investments, for example in peatland rewetting, afforestation, and woody landscape elements, account for only a small proportion of the total costs.

According to the GHG abatement cost curve, only measures with abatement costs below 143 euro/t CO_2-eq are considered for achieving the LULUCF target. However, parts of the adaptation of forest management, as well as the afforestation of arable land in regions with high land prices, have GHG abatement costs of more than 143 euro per tonne of CO_2-eq. These potential measures are therefore not considered for achieving the LULUCF target.

This assessment is based exclusively on greenhouse gas (GHG) abatement costs and does not consider additional benefits that may arise for biodiversity, the water balance, or other ecosystem services.

The reductions shown in Figure 1 are accounted for in the LULUCF sector, but implementation takes place largely on agricultural land. Measures on agricultural land contribute around 55% of the reduction required to close the LULUCF target gap. Agriculture therefore plays a central role in meeting the LULUCF target. In addition, implementing LULUCF measures reduces agricultural-sector emissions a further -5.6 million t CO_2-eq for example through lower fertiliser use and reductions in livestock numbers.

Sensitivity analyses show that changes to key assumptions, such as land use (e.g. paludiculture) or price, can significantly impact the level of GHG abatement costs. In the cases considered, changed assumptions predominantly lead to higher abatement costs. Therefore, the economic viability and climate impact of the measures considered depend strongly on the assumptions

[2] Due to methodological difficulties, the costs associated with the storage of wood products are not included in the total costs.

made. When assessing the costs of GHG abatement and its potential attractiveness in voluntary carbon markets, it is not only the results under the underlying assumptions that are relevant. Equally important is the question of how stable the results remain under changed framework conditions, as examined in the sensitivity analyses.

Overall, the analysis represents a theoretical abatement cost pathway and provides guidance for policy decision-making. Whether the assumed prices are truly attractive enough will only become apparent during practical implementation. In addition to costs, factors at farm level and implementation barriers determine willingness to participate. Favourable GHG abatement costs alone do not guarantee a rapid scale-up of the measures, particularly peatland rewetting and the establishment of woody landscape elements. The results therefore provide an initial indication of the level of financial resources required, the potential market volume, and possible GHG prices should markets for remunerating sink services - hereafter referred to as carbon markets - be established in the future.

1 Einleitung

Der LULUCF-Sektor soll nach § 3a des Klimaschutzgesetzes (KSG) als natürliche Senke gestärkt werden. Die gesetzlichen Zielwerte liegen für das Jahr 2045 bei einer Netto-Senke von mindestens -40 Mio. t CO_2-Äq.. Der Projektionsbericht 2025 (Förster et al., 2025), der die aktuellen Entwicklungen fortschreibt, zeigt für das Jahr 2045 eine erhebliche Zielverfehlung. Für den LULUCF-Sektor verbleibt eine Lücke von 77 Mio.t CO_2-Äq., die durch zusätzliche Maßnahmen geschlossen werden muss.

Mit dem Klimaschutzprogramm 2026 (KSP2026) (Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit [BMUKN], 2026b) wurden die Ziele des Aktionsprogramms Natürlicher Klimaschutz (ANK) (BMUKN, 2025) für die einzelnen Maßnahmen zur Umsetzung des LULUCF-Ziels nach § 3a des Klimaschutzgesetzes (KSP) übernommen. Das ANK bietet einen zentralen Maßnahmenrahmen, um die gesetzlich festgelegten Senkenziele zu erreichen und die im Projektionsbericht 2025 ausgewiesene Lücke im LULUCF-Sektor durch zusätzliche, wirksame Klimaschutzmaßnahmen zu schließen.

Die Umsetzung der Maßnahmen erfolgt derzeit auf freiwilliger Basis und wird durch Förderprogramme unterstützt. Langfristig ist auch die Finanzierung der Maßnahmen über freiwillige Kohlenstoffmärkte eine Option. Die Verordnung über die Zertifizierung von CO_2-Entnahmen und kohlenstoffspeichernde Landbewirtschaftung (Carbon Removals and Carbon Farming Regulation, kurz: CRCF-Verordnung) (EU, 2024) schafft hierfür eine wichtige Grundlage, da mit der Verordnung ein freiwilliger EU-weiter Rahmen für die Zertifizierung von Kohlenstoffentnahmen, kohlenstoffspeichernder Landbewirtschaftung und Kohlenstoffbindung in Produkten eingeführt wurde. Die CRCF-Verordnung legt Prinzipien für die Zertifizierung von CO_2-Entnahmen und Emissionsminderungen durch verschiedene Maßnahmen (sowie für die Kohlenstoffbindung in Produkten) fest. In delegierten Rechtsakten werden Zertifizierungsmethoden sowie detaillierte Anforderungen festgelegt, die zulässige Maßnahmen erfüllen müssen, um Zertifikate unter dem Rahmen der CRCF-Verordnung generieren zu können. Der delegierte Rechtsakt mit Zertifizierungsmethoden für Aktivitäten zur kohlenstoffspeichernden Landbewirtschaftung (Carbon Farming) wurde von der Europäischen Kommission an das Europäische Parlament und den Rat zur Prüfung übermittelt und soll im Jahr 2026 endgültig verabschiedet werden (EC, 2026).[3]

Zulässige Maßnahmen unter der Zertifizierungsmethode für Carbon Farming-Aktivitäten umfassen Maßnahmen im Landnutzungssektor wie die Moorwiedervernässung, die Anlage von Agroforstsystemen, die Schaffung zusätzlicher Waldflächen sowie weitere naturbasierte Klimaschutzmaßnahmen. Darüber hinaus können Maßnahmen, die zu einer Minderung der N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden führen, unter dem Rahmen der CRCF-Verordnung zertifiziert werden, wie etwa der Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren oder der Anbau von Leguminosen. Das Zertifizierungssystem unter dem Rahmen der CRCF-Verordnung (EC, 2026) schafft einen Honorierungsmechanismus für die erbrachten Klimaschutzleistungen. Dies erfolgt über den Verkauf von Zertifikaten, die pro Tonne CO_2-Äq. generiert werden. Die Erlöse daraus sollen an die Landbewirtschaftenden ausgezahlt werden. Kosten für die Zertifizierung und das Monitoring der Maßnahmen wurden im Rahmen der Analyse nicht berücksichtigt.

Während das THG-Vermeidungspotenzial der Maßnahmen im ANK und dem KSP 2026 ausgewiesen wird und etwa über die Paludikultur-Richtlinie (BMUKN, 2026a) und weitere

[3] Für permanente Kohlenstoffentnahme durch die direkte CO_2-Abscheidung aus der Luft und -Speicherung (DACCS), Bioenergie mit CO_2-Abscheidung und -Speicherung (BioCCS) und CO_2-Entnahme durch Biokohle (BCR) wurden bereits Zertifizierungsmethoden beschlossen, siehe https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L_202600285.

Förderungen bereits wichtige Schritte zur praktischen Umsetzung unternommen werden, ist über die Gesamtkosten zur Zielerreichung, aber auch die spezifischen THG-Vermeidungskosten der einzelnen Maßnahmen wenig bekannt. Anhand bereits bestehender Förderprogramme wie der Palu-Richtlinie oder Förderungen von Maßnahmen innerhalb der Gemeinsamen Europäischen Agrarpolitik (GAP) können Aussagen zu Gesamtkosten und THG-Vermeidungskosten abgeleitet werden.

Diese Studie hat zum Ziel, die Potenziale sowie die THG-Vermeidungskosten der Maßnahmen im Bereich LULUCF zu analysieren und zu quantifizieren. Dabei wird untersucht, ab welchem THG-Preis pro Tonne die Maßnahme wirtschaftlich attraktiv für die Landbewirtschaftenden ist. Dazu werden THG-Vermeidungskostenkurven erstellt, die aufzeigen, welcher finanzielle Anreiz für die Umsetzung der Maßnahmen erforderlich ist und in welcher Höhe die Gesamtkosten liegen. Die gewonnenen Erkenntnisse können von der Politik zur Ausgestaltung von Klimaschutzinstrumenten genutzt werden. Neben direkten Preissignalen, etwa durch THG-Bepreisung, Besteuerung oder Emissionshandel entlang der Wertschöpfungskette, erfordert auch die klassische Förderpolitik eine solide Kenntnis der Vermeidungskosten, um Förderhöhen und Kompensationszahlungen so festzulegen, dass Maßnahmen in ausreichendem Umfang und zu angemessenen Kosten umgesetzt werden.

In der folgenden Analyse werden in Kapitel 2 zunächst das Vorgehen und die Methodik erläutert. Kapitel 3 berechnet THG-Vermeidungskosten der einzelnen Maßnahmen. In Kapitel 4 wird auf Grundlage der maßnahmenspezifischen THG-Vermeidungskostenkurven ein THG-Vermeidungskosten-Szenario abgeleitet. Kapitel 5 ergänzt die Analyse und untersucht ausgewählte Sensitivitäten der THG-Vermeidungskostenkurven.

2 Vorgehen und Methodik

2.1 Allgemein

Diese Analyse ermittelt die THG-Vermeidungskosten der LULUCF-Maßnahmen, die im ANK und im KSP2026 zur Umsetzung des LULUCF-Ziels vorgesehen sind. Den Rahmen der Analyse bildet die Erfüllung des LULUCF-Ziels aus dem KSG § 3a für die Jahre 2040 und 2045. Dabei werden die THG-Vermeidungen aus dem LULUCF-Sektor, aber auch die damit verbundenen THG-Minderungen im Landwirtschaftssektor (z. B. durch eine Verringerung der Düngung) berücksichtigt. Die Betrachtung fokussiert ausschließlich auf Maßnahmen, die auf die Zielerreichung im LULUCF-Sektor einzahlen, auch wenn ihre Umsetzung und die damit verbundenen Kosten teilweise in der Landwirtschaft bzw. bei forstwirtschaftlichen Akteuren anfallen. Einzelne Maßnahmen können dabei THG-Vermeidungen im Landwirtschafts- und im LULUCF-Sektor entfalten.

Ziel der Analyse ist es, die Vermeidungskosten einzelner LULUCF-Maßnahmen differenziert nach Betrieben und Regionen zu bestimmen. Auf dieser Grundlage können die kostengünstigsten und leistungsfähigsten Maßnahmen in den Landsektoren identifiziert werden und es wird abgeschätzt, welche Kosten mit der Erreichung bestimmter Klimaziele verbunden sind und welcher gesamtgesellschaftliche Kostenrahmen sich daraus ergibt.

THG-Vermeidungskostenkurven werden für die folgenden Maßnahmen berechnet:

- Wiedervernässung von land- und forstwirtschaftlich genutzten trockengelegten Moorstandorten
- Etablierung von Gehölzstrukturen/Agroforstsystemen[4]
- Schaffung zusätzlicher Waldflächen
- Anpassung der Waldbewirtschaftung

Darüber hinaus stellt auch der Aufbau des Holzproduktespeichers eine nennenswerte CO_2-Festlegung nach dem ANK dar. Für diesen konnten aus methodischen Gründen keine THG-Vermeidungskosten berechnet werden (siehe Kapitel 3.7).

Der Umfang bzw. das Umsetzungspotenzial der Maßnahmen orientiert sich an den ANK-Zielen, die auch das KSP2026 aufgreift. Für die einzelnen Maßnahmen sind die Zielwerte für das Jahr 2045 herangezogen worden.

Tabelle 1: THG-Vermeidungsziele der einzelnen LULUCF-Maßnahmen nach dem ANK in Mio. t CO_2-Äq.

	2040	2045
THG-Vermeidungsziele aus ANK/KSP2026 (Summe)	**-60**	**-77**
Verbesserung der nachhaltigen Waldbewirtschaftung	-12	-13
Schaffung zusätzlicher Waldflächen	-2	-3

[4] Für die Berechnung wird angenommen, dass diese Maßnahmen der ANK-Maßnahme Verbesserte Kohlenstoffspeicherung auf Flächen mit mineralischen Böden entspricht. Weitere Maßnahmen zur Förderung des Humusaufbaus wurden bei der Berechnung nicht berücksichtigt.

	2040	2045
Holz- und sonstige Biomassenutzung an Klimaschutzwirkung ausrichten = Holzproduktespeicher	-16	-18
Wiedervernässung entwässerter Moorböden	-20	-28
Verbesserte Kohlenstoffspeicherung auf Flächen mit mineralischen Böden	-10	-15

Anmerkung: Die Maßnahmen zum Holzproduktespeicher ist Teil des ANK. Allerdings wird aus methodischen Gründen hierfür keine THG-Kostenkurve erstellt. Allerdings wird der Umfang der CO_2-Festlegung dieser Maßnahme für die Zielerreichung berücksichtigt.
Quelle: BMUKN (2025)

Für alle betrachteten Maßnahmen wird zunächst eine THG-Vermeidungskostenkurve auf Basis heutiger Preise erstellt. Anschließend werden die maßnahmenspezifischen Kurven zu einer Gesamtkostenkurve für den LULUCF-Sektor zusammengeführt. Auf dieser Grundlage wird analysiert, zu welchen Preisen das LULUCF-Ziel für die Jahre 2040 und 2045 erreicht werden könnte. Darauf aufbauend wird ein THG-Vermeidungskostenszenario entwickelt, in dem jeweils die kostengünstigsten Maßnahmen zur Zielerreichung umgesetzt werden. Anschließend werden verschiedene Sensitivitäten berechnet, um die Robustheit der THG-Vermeidungskostenkurven gegenüber zentralen Annahmen, wie Nutzungs- oder Preisänderungen, zu prüfen.

Das Vorgehen orientiert sich an der Kompatibilität mit der bestehenden THG-Berichterstattung. Soweit möglich werden daher sowohl die Methodik als auch die Emissionsfaktoren aus dem aktuellen THG-Inventar übernommen (Umweltbundesamt [UBA], 2025c). Die betrachteten THG-Emissionen der untersuchten LULUCF-Maßnahmen umfassen Emissionen, die in den Sektoren Landwirtschaft (CRT-Kategorie 3) und LULUCF (CRT-Kategorie 4) bilanziert werden. Die Emissionen aus dem Energieverbrauch der Land- und Forstwirtschaft (CRT-Kategorie 1.A.4.c) sind nicht Bestandteil dieser Analyse.

Die einzelnen Annahmen zu verwendeten Emissionsfaktoren und Kostenpositionen und Preisen werden in den einzelnen Methodik-Kapiteln von Kapitel 3 beschrieben.

2.2 Berechnungen und Modellierung

2.2.1 Landwirtschaft

Die Berechnungen für den Landwirtschaftssektor erfolgen auf Basis des am Öko-Institut entwickelten Landwirtschaftsmodells (LiSE (Betriebstypen)). Das Landwirtschaftsmodell LiSE (LiSE steht für Lifestock, Soil and Energy Emissions) ist ein Excel-basiertes Modell, das die Treibhausgasemissionen aus der Tierhaltung und der Nutzung landwirtschaftlicher Böden in Deutschland sowie die energiebedingten Emissionen aus Land- und Gartenbau kalkuliert. Das Modell besteht in zwei Ausführungen – dem Grundmodell, das aus den drei Hauptmodulen Nutztierhaltung, landwirtschaftliche Böden und Energienutzung besteht und dem Betriebstypenmodell. Das Modell LiSE beinhaltet alle relevanten Quellkategorien, Unterquellgruppen und Gase, die nach den IPCC-Guidelines zur Berechnung der landwirtschaftlichen Emissionen erforderlich sind. Die Emissionsberechnungen in Bezug auf sämtliche Eingangsparameter (Emissionsfaktoren) und Ausgabegrößen (Quellgruppen und Unterquellgruppen) erfolgen auf Basis der aktuellen nationalen THG-Berichterstattungsmethodik. Es werden jeweils Inventardaten für das Basisjahr der Modellierung eingepflegt. Das Modell setzt auf den Bestands- und Strukturdaten der Nationalen Treibhausgasinventare auf (Vos et al., 2025) und produziert bottom-up Emissionen für sämtliche Quellgruppen. Das Betriebstypenmodell bildet die Entwicklung des

Landwirtschaftssektors auf Basis von einzelnen Betriebstypen (Ackerbau, Milchvieh, Gemischt, sonstiger Futterbau und Veredelung) ab. Die Analyse umfasst Haupterwerbsbetriebe, Nebenerwerbsbetriebe, Öko-Betriebe und Betriebe von juristischen Personen, die vor allem in den ostdeutschen Bundesländern vorhanden sind. Die Haupterwerbsbetriebe, die Öko-Betriebe und die Betriebe der juristischen Personen werden für die einzelnen Flächenbundesländer abgebildet, während die Aufteilung der Nebenerwerbsbetriebe nur deutschlandweit für die einzelnen Betriebstypen erfolgt. Das Modell differenziert in Betriebe auf organischen Böden und auf mineralischen Böden (siehe Beschreibung im Anhang Kapitel A.1.1). Auf Basis des Modells können die Entwicklung der THG-Emissionen sowie ökonomische Auswirkungen auf Betriebsebene und regional betrachtet werden. Zudem kann das THG-Vermeidungspotenzial konkret anhand der Flächenausstattung, Tierbestandsdichten etc. für einzelne Betriebstypen ermittelt werden.

Die betrachteten Maßnahmen Moorwiedervernässung, Etablierung von Agroforstsystemen/Gehölzstreifen und Schaffung zusätzlicher Waldflächen auf landwirtschaftlich genutzten Böden führen zu THG-Einsparungen im LULUCF-Sektor, aber auch im Landwirtschaftssektor (durch Reduktion der Düngemitteleinsätze, Reduktion der Tierbestände etc.). Für die Kalkulation der THG-Vermeidung pro Hektar werden die THG-Einsparungen in den beiden Sektoren berücksichtigt und bei der Berechnung der THG-Vermeidungskosten angerechnet.

Die Höhe der THG-Vermeidungskosten in der Landwirtschaft ist abhängig von den regionalen Erträgen und den Leistungen in der Tierhaltung sowie von den Kosten für die Bewirtschaftung (Energie, Düngemittel, Pflanzenschutz etc.) und den Preisen, die mit dem Verkauf der Produkte erlöst werden können. Diese werden auf Basis der Standarddeckungsbeiträge (SDB)[5] für die einzelnen Ackerfrüchte und Grünland sowie für die Tierhaltung (Milchkühe, Färsen, Kälber etc.) vom KTBL[6] auf regionaler Ebene ausgegeben. Über die Jahre können die Standarddeckungsbeiträge durch verschiedene Einflussfaktoren (Witterung, Weltmarkt, Energiepreise etc.) stark schwanken. Daher wird für die Analyse mit einem über 5 Jahre gemittelten Standarddeckungsbeitrag (2019:2024) gerechnet. D. h. es wird mit den heutigen Preisen gerechnet und zukünftige Preisentwicklungen werden nicht berücksichtigt.

Zusätzlich relevante Kostenpositionen wie die Ermittlung von Wertverlusten bei Flächennutzungsänderungen oder Investitionskosten in technische Anlagen oder Pflanzgut werden ebenfalls berücksichtigt und in den jeweiligen Kapiteln beschrieben.

2.2.2 Wald

Die THG-Bilanz der Waldfläche wird mit dem Modell FABio-Forest (Böttcher et al., 2018; Hennenberg, Pfeiffer et al., 2024; Pfeiffer et al., 2025) abgebildet. FABio-Forest ist ein empirisches Waldwachstums- und Waldbewirtschaftungsmodell, in dem – ausgehend von Daten der vierten Bundeswaldinventur – die Entwicklung der Waldbestände in Deutschland modelliert wird. In FABio-Forest steuern Sub-Modelle die Entwicklung der Bestände. Im Zuwachsmodell wird der Zuwachs einzelner Bäume in Abhängigkeit von Baumart, Durchmesser, Höhe, Konkurrenz, Standort- und Klimabedingungen simuliert. Im Mortalitätsmodell wird die Mortalität einzelner Bäume in einer Grundfunktion in Abhängigkeit von Baumart, Durchmesser, Alter, Konkurrenz, Standortbedingungen und Baumartenvielfalt ermittelt. Als zusätzliche dynamische Skalierung der artspezifischen Grundfunktionen fließen jährlich vorliegende

[5] Der Standarddeckungsbeitrag ist eine betriebliche Kennzahl zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Produktionsverfahren in der Landwirtschaft. Er gibt an, welchen Beitrag ein bestimmtes Produktionsverfahren zur Deckung der festen Kosten und zum Unternehmenserfolg leistet. Er ergibt sich aus der Differenz zwischen standardisierten Erlösen und variablen Kosten.

[6] https://daten.ktbl.de/sdb/welcome.do;jsessionid=903DF8D9EC4FFACB37C5BEE700953693

Mortalitätsdaten aus der Waldzustandserhebung (WZE) ein. Mit dem Holznachfrage-Modell wird sichergestellt, dass die Menge an Holzentnahme aus Durchforstung, Mortalitätsholzentnahme und Holzernte der angenommen Holzentnahme entspricht und weitere hiebsreife Bäume in den Beständen verbleiben. Differenziert wird die Holzentnahmesteuerung nach Stamm- und Industrieholz sowie Laub- und Nadelholz.[7]

Eine Verringerung der Holzentnahme führt zu einem vermehrten Vorratsaufbau und so zu einer Steigerung der Senkenleistung der Waldfläche (Hennenberg, Pfeiffer et al., 2024; Soimakallio et al., 2022). Die Ergebnisse der vierten Bundeswaldinventur (BWI4) zeigen, dass in der Dürreperiode 2018 bis 2022 vor allem Fichtenbestände durch hohe Mortalitätsereignisse und geringe Zuwächse eine hohe CO_2-Quelle waren. Laubbaumbestände hingegen blieben auch in dieser Periode eine CO_2-Senke.[8] Es wird angestrebt, diese Senkenleistung in Laubbaumbeständen über eine THG-Preis-Steuerung (siehe Abschnitt 3.5.1.1) zu erhöhen, indem insbesondere weniger Laubholz zur Feuerholznutzung entnommen wird. Angelehnt an die Erlöse an der Waldstraße (erntekostenfreier Erlös)[9], der Menge an im Holz gespeichertem CO_2 sowie Annahmen zu Kosten von Wasserstoff und Preissteigerungen werden Kostenkurven abgeleitet, die angeben, um welche Menge die Laubholzentnahme bei einem THG-Preis reduziert wird. Die Herleitung der THG-Vermeidungskostenkurven wird im Detail in Kapitel 3.5.1 beschrieben.

[7] Weitere Submodelle sind das Einwuchsmodell, das Totholzmodell und das Bodenkohlenstoffmodell.

[8] https://www.oeko.de/blog/entwicklungen-der-co2-speicherleistung-des-waldes-fruehzeitiger-abschaetzen-einordung-der-ergebnisse-der-bundeswaldinventur/

[9] Der durchschnittliche erntekostenfreie Holzerlös je Festmeter (der Deckungsbeitrag I) errechnet sich aus den Holzerlösen abzüglich der Kosten für die Holzernte (Universität Göttingen 2015).

3 Erstellung von THG-Vermeidungskostenkurven für LULUCF-Maßnahmen

3.1 Allgemein

In diesem Kapitel werden die THG-Vermeidungskostenkurven für die folgenden Maßnahmen dargestellt:

- Wiedervernässung landwirtschaftlich genutzter Moorstandorte
- Wiedervernässung von trockengelegten Waldmooren
- Etablierung von Agroforst/Gehölzstreifen
- Anpassung der Waldbewirtschaftung.

Dafür werden für jede Maßnahme die Methodik und Annahmen als auch die Ergebnisse beschrieben. Im Anschluss erfolgen eine Diskussion und Einordnung der Ergebnisse. Anschließend werden die THG-Vermeidungspotenziale und -kosten für die untersuchten LULUCF-Maßnahmen zu einer sektorübergreifenden THG-Vermeidungskostenkurve abgebildet und diskutiert. Die in diesem Kapitel ermittelten THG-Vermeidungskostenkurven werden im Folgenden auch als Basisszenario bzw. Basisannahmen bezeichnet, damit Änderungen bei den Sensitivitäten (siehe Kapitel 5) sprachlich abgrenzbar sind. Anhand der THG-Vermeidungskostenkurven wird aufgezeigt, welche Maßnahmen wie viel THG-Vermeidung zu welchen Kosten einsparen können. Die Herleitung der THG-Vermeidungskosten erfolgt über die folgenden Schritte:

1. Ermittlung des gesamten THG-Vermeidungspotenzials jeder Maßnahme und maßnahmenspezifischer Wirkungsdauer (Anrechnung der Vermeidungswirkung)
2. Ermittlung der THG-Vermeidung pro Hektar und Maßnahme (differenziert nach Betriebstypen und Bundesländern für Maßnahmen auf landwirtschaftlichen Flächen)
3. Ermittlung der relevanten Kostenkomponenten (Investitionskosten, Betriebskosten, Pflegekosten, Wertverluste bei Flächennutzungsänderungen, Ertragsverluste), bezogen auf die anzusetzende Wirkungsdauer jeder Maßnahme

Die Punkte 1 und 2 werden über die am Öko-Institut angewandten sektorspezifischen Modelle (LiSE für Landwirtschaft und FABio-Forest) ermittelt. Für die Ermittlung der Kostenkomponenten werden neben den im Modell verfügbaren Informationen weitere Literatur und statistische Quellen (z. B. KTBL) herangezogen. Das Vorgehen und die getroffenen Annahmen werden in den einzelnen Sektor-Kapiteln zu den THG-Vermeidungskostenkurven ausführlich beschrieben.

Für die Berechnung der THG-Vermeidungskosten ist sowohl die Wirkungsdauer der erzielten THG-Vermeidung als auch der Zeitraum der Kompensationszahlungen eine zentrale Annahme. Die Wirkungsdauer wird je nach Maßnahme auf verschieden lange Wirkungsphasen bezogen und richtet sich nach dem jeweiligen Maßnahmentyp: Bei der Moorvernässung 40 Jahre, für Gehölze/Agroforst 20 Jahre und für die Waldmehrung 50 Jahre. Auch die Dauer der Kompensationszahlungen wird je nach Maßnahme gesondert definiert.

Das in den folgenden Kapiteln ausgewiesene Vermeidungspotenzial in Mio. t CO_2-Äq. bezieht sich auf die jährliche THG-Vermeidung, während die Gesamtkosten in Mrd. Euro für die gesamte Wirkungsdauer unter den getroffenen Annahmen anfallen.

Das Vorgehen zur Ermittlung von THG-Vermeidungskostenkurven unterscheidet sich zwischen Maßnahmen auf landwirtschaftlichen Flächen und forstlichen Maßnahmen. Für die Umsetzung der landwirtschaftlichen Maßnahmen wie die Wiedervernässung der landwirtschaftlich genutzten Moore und die Etablierung von Agroforstsystemen/Gehölzstreifen werden Investitions-, Pflegekosten und die Kompensation von entgangenem Nutzen sowie Flächenwertverluste berücksichtigt. Für jeden Betriebstyp und jedes Bundesland wird ein eigener Wert für die THG-Vermeidungskosten berechnet. Gleichzeitig wird zwischen Grünland und Ackerland unterschieden. Dieser ergibt sich aus den jeweiligen betriebs- und bundeslandspezifischen Emissionsfaktoren sowie aus den entsprechenden Kostenannahmen. Dazu zählen beispielsweise betriebsspezifische Größen wie der Standarddeckungsbeitrag sowie bundeslandspezifische Faktoren wie mögliche Flächenwertverluste. Durch die Anzahl der Betriebstypen und der Flächenbundesländer werden dafür THG-Vermeidungskosten für 149 unterschiedliche Betriebsvarianten berechnet. Dies betrifft die Maßnahmen Wiedervernässung von landwirtschaftlichen Moorstandorten und die Etablierung von Gehölzstrukturen. Die Berechnungen der THG-Vermeidungskosten für die Maßnahmen der Moorvernässung im Wald und die Schaffung von zusätzlichen Waldflächen erfolgt dagegen nur auf Bundeslandebene und basiert damit auf Werten aus den 13 Flächenbundesländern (BW, BY, BB, HE, MV, NI, NW, RP, SL, SN, ST, SH, TH). Die Stadtstaaten werden bei der Analyse nicht berücksichtigt.

Die Reduktion der Holzentnahme aus dem Wald wird hingegen gesondert behandelt und umfasst ausschließlich die Kompensation der entgangenen Erlöse der Waldbesitzenden, da das Holz im Wald verbleibt und keine weiteren Investitionskosten anfallen.

Die Kostensätze orientieren sich, soweit möglich, an bestehenden Förderinstrumenten und aktuellen Förderrichtlinien, etwa der Paludikultur-Förderrichtlinie, der Gemeinschaftsaufgabe zur Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes (GAK), den Öko-Regelungen der GAP sowie weiteren relevanten Förderprogrammen. Sofern bestehende Fördermöglichkeiten die tatsächlichen Kosten oder Einkommensverluste nicht vollständig abdecken, werden ergänzende Annahmen zu einer zusätzlichen Vergütung getroffen. Ziel ist es, eine aus Sicht der Landbewirtschaftenden attraktive Maßnahmenvergütung abzubilden, die eine Umsetzung in relevantem Umfang ermöglicht. Für die Ermittlung des erforderlichen Finanzvolumens ist dabei zunächst unerheblich, ob die Finanzierung über marktbasierte Zahlungen oder staatliche Förderung und Subventionen erfolgt. Die abgeleiteten THG-Vermeidungskosten spiegeln damit einen Anhaltspunkt für die Vergütungshöhen, die erforderlich sind, um die ausgewiesenen Umsetzungspotenziale tatsächlich zu realisieren.

3.2 Wiedervernässung landwirtschaftlich genutzter Moorstandorte

3.2.1 Methodik

Nach den Zielen des KSP2026 sollen durch die Wiedervernässung von land- und forstwirtschaftlich genutzten organischen Böden THG-Emissionen in Höhe von -28 Mio. t CO_2-Äq. bis 2045 vermieden werden. Die Transformation von der trockenen zur nassen Bewirtschaftung von organischen Böden umfasst verschiedene Schritte und damit Kostenpositionen und Einkommenschancen. Dazu zählen die Planung der Wiedervernässung, die technischen Maßnahmen zur Erhöhung des Wasserstandes, entgangene Erlöse durch eine Bewirtschaftungsänderung und die Etablierung von nassen Nutzungsformen mit ihren Kosten für Anlage und Maschinen aber auch zukünftigen Einkommenschancen. Die Berechnungen zur Ermittlung der THG-Vermeidungskosten decken diese Kostenpositionen ab.

Sämtliche genannte Schritte deckt der Ansatz der Palu-Richtlinie 2026[10] des BMUKN (2026a) ab. Die Palu-Richtlinie wurde im April 2026 veröffentlicht und ist Teil des Aktionsprogramms Natürlicher Klimaschutz (ANK). Die Kostenansätze basieren häufig auf Annahmen aus der Fachliteratur. Aus diesen Gründen wird in diesem Szenario der Ansatz der Palu-Richtlinie für die Herleitung der Kosten für die einzelnen Positionen übernommen. Die Positionen sind im Einzelnen in der folgenden Tabelle 2 dargestellt. Die Tabelle zeigt die Ausgestaltung im Basisszenario. Weitere Betrachtungen wie z. B. die Auswirkungen der Anlage von Paludikulturen werden als Sensitivität in Kapitel 5.1 berücksichtigt.

Tabelle 2: Elemente der Palu-Richtlinie für die Herleitung der Kosten zur Moorwiedervernässung

	Beschreibung	Vorgehen/Annahme	Quelle
Fördermodul 1: Planung	Förderung von fachlichen, planerischen und rechtlichen Maßnahmen	Mittelwert aus Angaben in Palu-RL, einmalig 300 Euro/ha	Palu-Richtlinie (BMUKN, 2026a)
Fördermodul 2: Technische Maßnahmen	Förderung der technischen und hydrologischen Maßnahmen für dauerhafte Wiedervernässung	Es wird mit durchschnittlichen Kosten von 4.000 Euro/ha gerechnet	Wichmann et al. (2022)
Fördermodul 3.A: Ausgleich für den Wertverlust	Kompensation des Wertverlusts von land- und forstwirtschaftlichen Flächen infolge dauerhaft hoher Wasserstände in Abhängigkeit der Wasserstufe. Kompensation von 90 % bei Wasserstufe 1, Kompensation von 80 % bei Wasserstufe 2.	Ermittlung für einzelne Landkreise über BORIS Portal, Kompensation von 90 % bei Wasserstufe 1	BORIS Portal siehe Kapitel A.1.2 im Anhang (entspricht Kostenansatz aus der Palu-Richtlinie)
Fördermodul 3.B: Ausgleich für den Ertragsverlust – Pflanzenbau	Förderung des entgangenen Deckungsbeitrags für landwirtschaftlich genutzte Flächen (Durchschnitt der letzten 5 Jahre) für Zeitraum von max. 7 Jahren in Abhängigkeit von Pachtlaufzeit oder Eigennutzung	Ermittlung auf Basis der Ackerfruchtverteilung auf Betriebsebene und KTBL-Standarddeckungsbeiträgen (Durchschnitt 2019:2024) für 7 Jahre, da keine Informationen zu Restlaufzeit von Pachtverträgen vorliegen und betriebseigene Flächen mit der vollen Länge der 7a angerechnet werden	Deckungsbeitragsrechner der KTBL[11] (entspricht Kostenansatz aus der Palu-Richtlinie)
Fördermodul 3.B: Ausgleich für den	Förderung des entgangenen Deckungsbeitrags (analog	Ermittlung auf Basis KTBL Standarddeckungsbeiträge (analog Pflanzenbau) für	Palu-RL (BMUKN, 2026a), Deckungsbeitragsrechner KTBL 2026

[10] Förderrichtlinie: Maßnahmen zur dauerhaften und weitgehenden Wiedervernässung land- und forstwirtschaftlich genutzter Moorböden und zur Unterstützung der land- und forstwirtschaftlichen Nutzung wiedervernässter Moorbodenflächen

[11] https://daten.ktbl.de/sdb/welcome.do;jsessionid=DB303C26DC88E33C2545C7EF318ACABF

	Beschreibung	Vorgehen/Annahme	Quelle
Ertragsverlust – Tierhaltung	Pflanzenbau) für die Betriebe mit Milchviehhaltung und einem Viehbesatz ab 1,3 GVE/ha Betriebsebene. Andere Tierarten werden nicht direkt berücksichtigt, sondern über den Ertragsverlust der Futterbauflächen (vorherige Zeile) kompensiert. *Pro Hektar vernässter Fläche wird der SDB von einer Milchkuh kompensiert, wenn keine Überhangsfutterflächen vorhanden sind. Sind Überhangsfutterflächen vorhanden, wird für diesen Teil der SDB aus der Bodennutzung (Ertragsverlust Pflanzenbau) kompensiert.	Milchkühe. Es wird angenommen, dass durch die gezahlte Kompensation der Tierbestand um 1 GVE/ha (Milchkühe + Nachzucht) abgebaut wird und damit zusätzliche THG-Minderungen im Landwirtschaftssektor auftreten. Überhangfutterflächen werden nicht berücksichtigt.	
Fördermodul 4: Förderung der Nutzung nach Wiedervernässung	Förderung von Einrichtung, Kulturführung, Ernte, Aufbereitung und Vermarktung der Produkte	Keine Berücksichtigung in Basisszenario. Wird unter den Sensitivitäten berücksichtigt.	Palu-RL (BMUKN, 2026a), eigene Annahme
Differenzierung Vernässungsstufen	Vernässungsstufe 1 (Jahresmittelwasserstand oberflächennah < 10 cm unter Flur) und Vernässungsstufe 2 (Jahresmittelwasserstand oberflächennah < 20 cm unter Flur)	Berücksichtigung der Vernässungsstufe 1, d. h. Kompensation von 90 % der Wertverluste.	Palu-RL (BMUKN, 2026a)

* Die Richtlinie gibt die Möglichkeit, durch eine gutachterliche Ermittlung auch Kompensationszahlungen für weitere Tierarten zu berücksichtigen.

Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

Neben der Ausgestaltung der Förderung sind weitere Annahmen für die Berechnung der THG-Vermeidungskosten relevant. Dazu zählen die angesetzten Emissionsminderungen, die sich aus dem Emissionsfaktor der Flächen und dem Umfang der Wiedervernässung ergeben. Hinzu kommen ggf. die eingesparten Emissionen aus erfolgter Abstockung des Tierbestands und durch Wegfall der Düngung der Flächen. Weiteren Einfluss hat die Annahme zum Wirkungszeitraum. Da Anlagekosten und vor allem die hohen Kompensationszahlungen für den Wertverlust nur einmalig gezahlt werden, beeinflusst auch hier die Annahme zum Wirkungszeitraum das Ergebnis maßgeblich. In der Praxis werden verschiedene Zeiträume genutzt. So berechnen die

Moorfutures den Wirkungszeitraum beispielsweise über 50 Jahre[12]. In der Zertifizierungsmethode für Carbon Farming unter dem Rahmen der CRCF-Verordnung wird eine Zeitspanne von Minimum 10 Jahren mit der Möglichkeit von zwei Verlängerungen und damit einer Zeitspanne von 30 Jahren benannt (EC, 2026). Als Annahme für die folgenden Berechnungen wird der Mittelwert aus den Moorfutures und den Bestimmungen in der Carbon Farming-Zertifizierungsmethode und damit ein Wirkungszeitraum von 40 Jahren angesetzt. Die Richtlinie selbst hat zwar nur eine Zweckbindungsfrist von 20 Jahren, doch hat die Politik eine langfristige Wiedervernässung zum Ziel, wie u. a. das LULUCF-Ziel im KSG nahelegt. D. h., es kann davon ausgegangen werden, dass die 20-jährige Frist auch genutzt wird, um die Rahmenbedingungen dahingehend zu verändern, dass eine erneute Trockenlegung unwahrscheinlich wird.

Tabelle 3: Überblick über weitere Parameter für die Kostenermittlung der Moorwiedervernässung

	Beschreibung	Annahme	Quelle
Wirkungszeitraum	Zeitraum, auf den die anfallenden Kosten der Wiedervernässung verteilt werden	40 Jahre	Eigene Annahme Mittelwert aus Moorfutures und Bestimmungen zur Zertifizierungsmethode für kohlenstoffspeichernde Landbewirtschaftung (EC, 2026)
THG-Einsparungen Ackerland	LULUCF: Emissionsfaktor THG-Inventar (Mittelwert der Jahre 2014:2023) abzüglich Restemissionen bei Vollvernässung (5 cm) nach Tiemeyer et al. (2020), regionale Differenzierung auf Bundeslandebene Landwirtschaft: Emissionseinsparungen aus N_2O-Düngung, CO_2-Düngung und Tierbestandsreduktion	Bundesland- und betriebstypspezifisch (siehe Tabelle 27 im Anhang)	Fuß et al. (2025), Tiemeyer et al. (2020)
THG-Einsparungen Grünland	LULUCF: Emissionsfaktor THG-Inventar (Mittelwert der Jahre 2014:2023) abzüglich Restemissionen bei Vollvernässung (5 cm) nach Tiemeyer et al. (2020), regionale Differenzierung auf Bundeslandebene Landwirtschaft: Emissionseinsparungen aus N_2O-Düngung, CO_2-Düngung und Tierbestandsreduktion	Bundesland- und betriebstypspezifisch (siehe Tabelle 27 im Anhang)	Fuß et al. (2025), Tiemeyer et al. (2020)

[12] MoorFutures sind CO_2-Zertifikate, die durch die Wiedervernässung von Mooren generiert werden. Derzeit werden sie von vier moorreichen Bundesländern angeboten: https://www.moorfutures.de/

	Beschreibung	Annahme	Quelle
Restemissionen nach Wiedervernässung	Auch nach der Wiedervernässung verbleiben Restemissionen vor allem in Form von CH_4. Diese werden einheitlich für Ackerland und Grünland und ohne regionale Differenzierung verwendet.	6,40 t CO_2-Äq./ha	Bockermann et al. (2025)
Umfang	Anteil der Fläche auf organischen Böden, die wiedervernässt wird	Wiedervernässung von 75 % des Acker- und Grünlandes auf organischen Böden.	Eigene Annahme, ermittelt aus KSP2026-Zielen und Emissionsfaktoren

Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

Für die Ermittlung der jährlichen Kosten werden die Kosten, die für den gesamten Anrechnungszeitraum von 40 Jahren entstehen, addiert und anschließend durch 40 Jahre geteilt. Je nach Kostenkategorie fallen die Kosten einmalig, jährlich bzw. für einen gewissen Zeitraum an. Berücksichtigt werden die folgenden Kostenkategorien:

- Planungskosten – einmalig (K_{Planung})
- Wertverlust Ackerland oder Dauergrünland – einmalig ($K_{\text{Wertverlust}}$)
- Kompensation der verlorenen Standarddeckungsbeiträge für Pflanzenbau oder Tierhaltung – 7 Jahre (K_{DB})

Für die Berechnung der THG-Vermeidungswirkung werden die folgenden Aspekte berücksichtigt:

- THG-Einsparungen LULUCF durch die Wiedervernässung der Moorstandorte – jährlich ($\Delta THG_{\text{LULUCF}}$)
- THG-Einsparungen Landwirtschaft durch Reduktion N_2O-Emissionen Dünger als auch CO_2-Emissionen aus Kalkung und Harnstoffausbringung – jährlich ($\Delta THG_{\text{Landw, Düngung}}$)
- THG-Einsparungen Landwirtschaft durch Reduktion Tierbestände in Betrieben mit >1,3 GVE/ha Betriebsfläche – jährlich ($\Delta THG_{\text{Landw, Tier}}$)

Die Berechnung erfolgt nach folgender Formel:

$$Euro\ pro\ t\ CO2_{Äq} = \frac{\left[\frac{K_{Planung} + K_{Wertverlust} + K_{DB} * 7}{40}\right]}{THG_{LULUCF} + THG_{Lawi_{Düngung}} + THG_Lawi_Tier}$$

Für die jährlichen THG-Vermeidungskosten werden die anfallenden Gesamtkosten (Zähler) durch die Wirkungsdauer von 40 Jahren geteilt auf die gesamte jährliche THG-Vermeidung im LULUCF-Sektor und im Landwirtschaftssektor (Nenner) bezogen.

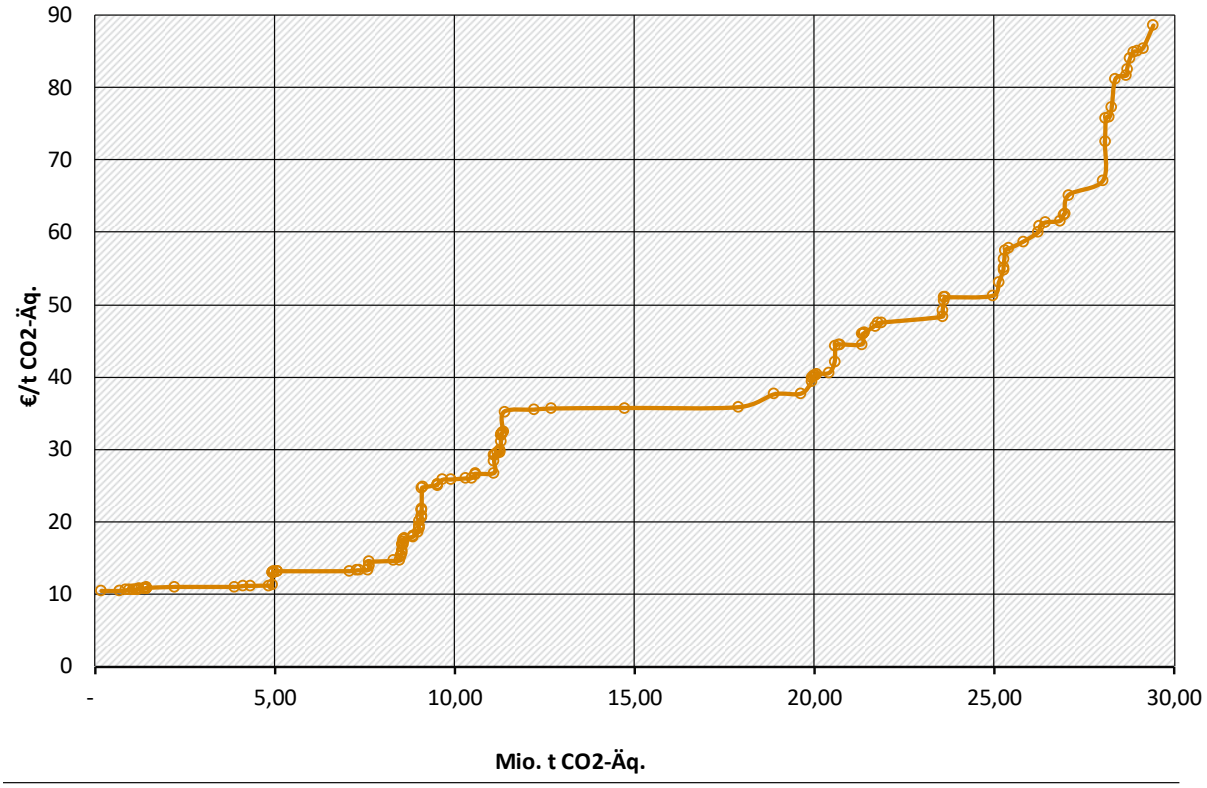
Weitere Ausführungen zu methodischen Details und berücksichtigten Werten (Standarddeckungsbeitrag, Wertverlust, Anteil Moorflächen etc.) sind im Anhang A.1 ausgeführt.

Im folgenden Kapitel wird die Kostenkurve für die Moorwiedervernässung unter Berücksichtigung des gesamten Potenzials zur Erreichung der KSP-Ziele abgeleitet.

3.2.2 Ergebnisse

Durch die Wiedervernässung von 75 % der landwirtschaftlich genutzten Moorstandorte in Höhe von 1,01 Mio. Hektar lassen sich jährlich rund -29,4 Mio. t CO_2-Äq. vermeiden, davon werden -24,95 Mio. t CO_2-Äq. (85 %) im LULUCF-Sektor erzielt. Der Rest von rund -4,5 Mio. t CO_2-Äq. stammt aus dem Landwirtschaftssektor, eingespart durch den Wegfall der Düngung, den Stopp der Mineralisierung der Böden, aber auch durch eine Reduktion der Rinderbestände in Betrieben auf Moorstandorten mit mehr als 1,3 GVE/ha Betriebsfläche. Abbildung 2 zeigt die THG-Vermeidungskosten der einzelnen Betriebsvarianten in Abhängigkeit vom THG-Vermeidungspotenzial. Jeder Punkt repräsentiert eine Betriebsvariante und zeigt deren spezifische THG-Vermeidungskosten. Die Entfernung zwischen den einzelnen Punkten zeigt den Beitrag zum THG-Vermeidungspotenzial. Die THG-Vermeidungskosten liegen zwischen 10,4 und 88,5 Euro/t CO_2-Äq.. Ein großer Teil des THG-Vermeidungspotenzials kann zu vergleichsweise geringen Kosten von unter 60 Euro/t CO_2-Äq. erschlossen werden. Rund -11,3 Mio. t CO_2-Äq. jährlich lassen sich nach den Berechnungen für unter 30 Euro vermeiden, weitere etwa -14,5 Mio. t CO_2-Äq. zu Kosten zwischen 30 und 60 Euro/t. Nur die letzten verbleibenden -3,6 Mio. t CO_2-Äq. verursachen höhere Kosten zwischen 60 und 88 Euro/t CO_2-Äq. (siehe Abbildung 2). Trotz der geringen THG-Vermeidungskosten liegen die Gesamtkosten dieser Maßnahmen bei 40,5 Mrd. Euro. Die hohen Gesamtkosten sind vor allem auf die hohen Kompensationszahlungen für den Verlust des Bodenwertes durch die Flächennutzungsänderung zurückzuführen. Aufgrund der hohen THG-Einsparungen über einen Zeitraum von 40 Jahren fallen die THG-Vermeidungskosten dieser Maßnahme trotzdem gering aus.

Abbildung 2: THG-Vermeidungskostenkurve für die Wiedervernässung von trockengelegten landwirtschaftlichen Moorstandorten



Anmerkung: Die einzelnen Punkte repräsentieren die verschiedenen Betriebsvarianten in den Bundesländern
Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

Die niedrigsten THG-Vermeidungskosten wurden für Grünlandstandorte in den östlichen Bundesländern (BB, MV, ST, TH, SN) berechnet, sie liegen zwischen 10,4 und 13,3 Euro/t CO_2-Äq.

Hinzu kommen Ackerstandorte in Brandenburg in Futterbau, Ökolandbau und Milchviehbetrieben. Grund dafür sind geringe Flächenerträge, die zu geringem Viehbesatz und niedrigen Standarddeckungsbeiträgen führen. Außerdem sind die Bodenrichtwerte hier geringer als in anderen Regionen und damit auch der Wertverlust der Flächen im Zuge der Wiedervernässung (7.300 Euro/ha SN und 9.500 Euro/ha MV). Insgesamt liegt in diesen Regionen eine Fläche von 0,26 Mio. Hektar mit einem jährlichen THG-Vermeidungspotenzial von -7,6 Mio. t CO_2-Äq. Um dieses Potenzial zu erschließen, fallen Gesamtkosten von 3,5 Mrd. Euro an. Die Kosten pro Hektar liegen zwischen 12.477 und 18.452 Euro für den gesamten Zeitraum. Die folgende Tabelle 4 enthält eine Übersicht der verschiedenen Kostenpositionen pro Hektar am Beispiel der Wiedervernässung von Grünland für einen Agrarbetrieb juristischer Personen. Durch die Kompensation der Standarddeckungsbeiträge über einen Zeitraum von 7 Jahren erhöhen sich die Gesamtkosten pro Hektar.

Tabelle 4: Beispiel für die Berechnung der Hektarkosten

	Kosten	Zahlungsintervall	Gesamtkosten pro Hektar
	Euro pro Hektar	Jahre	Euro pro Hektar
Planungskosten	300	einmalig	300
Wiedervernässungskosten	4.000	einmalig	4.000
Bodenrichtwert für Wertverlust (90 %)	8.275	einmalig	8.275
Standarddeckungsbeitrag	131	Sieben Jahre	917
Gesamtkosten	**12.706**		**13.492**

Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

Wiedervernässungsmaßnahmen auf Ackerland in den östlichen Bundesländern (BB, TH, ST, SN) und Rheinland-Pfalz liegen in einem Bereich zwischen 13,3 und 20,7 Euro/t CO_2-Äq. Das THG-Vermeidungspotenzial liegt bei -1,5 Mio. t CO_2-Äq. jährlich und die Gesamtkosten bezogen auf den gesamten Zeitraum bei 0,96 Mrd. Euro. Die Wiedervernässung von Ackerland in MV liegt auf Grund von höheren Bodenrichtwerten und guten Standarddeckungsbeiträgen nicht in diesem Bereich. Die Kosten pro Hektar liegen zwischen 17.395 und 29.696 Euro und damit weit über den Kosten des Grünlands. Dies ist auf die höheren Kompensationszahlungen der Standarddeckungsbeiträge und die höheren Bodenrichtwerte von Ackerland zurückzuführen. Gleichzeitig liegt das THG-Vermeidungspotenzial pro Hektar höher.

Zwischen 20,7 und 40 Euro/t CO_2-Äq. Vermeidungskosten liegen vor allem Maßnahmen auf Grünlandstandorten und Ackerbaustandorten in Betrieben der westlichen und südlichen Bundesländer mit Tierbestandsdichten unter 1,3 GVE/ha. Das THG-Vermeidungspotenzial liegt bei jährlich -10,85 Mio. t CO_2-Äq., während die Gesamtkosten für den gesamten Zeitraum 14,4 Mrd. Euro betragen. Die Kosten pro Hektar liegen zwischen 16.606 und 42.845 Euro.

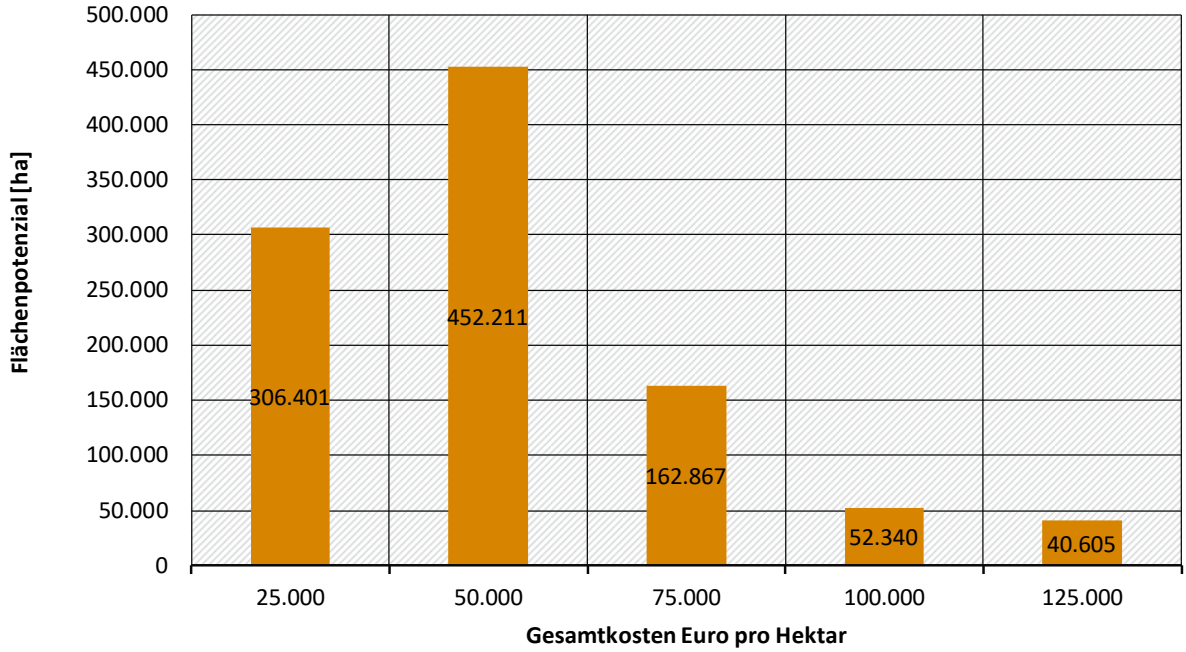
Höhere THG-Vermeidungskosten zwischen 40 und 65 Euro/t CO_2-Äq. sind in Moorregionen vorzufinden, in denen ein Großteil der Betriebe auf die Milchwirtschaft oder Futterbau spezialisiert ist und eine Tierbesatzdichte von über 1,3 GVE/ha vorliegt. Dies ist insbesondere in Nordwestdeutschland (SH, NI, NRW-Grünland) und im Voralpenland (BY-Grünland, BW) der Fall. Hier sind die Deckungsbeiträge angesichts hoher Besatzdichten und wegen des großen Anteils leistungsstarker Milchkühe höher. Gleichzeitig sind dies aber auch die zentralen Faktoren für eine hohe THG-Vermeidung, insbesondere wenn Milchkühe vom Tierbestandsabbau erfasst sind. Zudem liegen im Bereich dieser Vermeidungskosten auch

Betriebe ohne hohe Tierbesatzdichten, aber mit höheren Bodenrichtwerten für Ackerland und Grünland. Der Wertverlust der Flächen durch die Wiedervernässung liegt zwischen 35.588 Euro/ha (SH-Ackerland) und 66.694 Euro/ha (NI-Ackerland). Insgesamt umfassen diese Betriebe eine Fläche von 0,239 Mio. Hektar und ein jährliches THG-Vermeidungspotenzial von -7,0 Mio. t CO_2-Äq.. Um dieses Potenzial zu erschließen, fallen Gesamtkosten von 14,0 Mrd. Euro an. Die Kosten pro Hektar liegen zwischen 39.301 und 79.550 Euro.

Die teuersten Maßnahmen mit Preisen von über 65 Euro/t CO_2-Äq. bis 88 Euro/t CO_2-Äq. liegen auf Ackerland in Niedersachen, Nordrhein-Westfalen und Bayern. Durch gute Bodengüte, günstige klimatische Bedingungen, einem hohen Anteil an tierischer Erzeugung und Bioenergiepflanzenanbau, aber auch eine starke außerlandwirtschaftliche Nachfrage nach Flächen stehen die landwirtschaftlichen Flächen unter erheblichem Preisdruck. Dadurch liegen die Bodenrichtwerte in diesen Regionen für Ackerland zwischen 66.694 (NI) und 114.946 (BY) Euro pro Hektar und haben damit starke Auswirkungen auf die Kosten. Das THG-Vermeidungspotenzial auf diesen Standorten beträgt jährlich insgesamt -2,5 Mio. t CO_2-Äq.. Um dieses Potenzial zu erschließen, fallen Gesamtkosten von 7,5 Mrd. Euro an. Die Kosten pro Hektar liegen zwischen 76.191 und 121.985 Euro.

Einen Überblick über die Verteilung des gesamten Potenzials nach Kosten pro Hektar gibt Abbildung 3. Die Abbildung verdeutlicht, dass das größte Flächenpotenzial bei Gesamtkosten von etwa 50.000 Euro pro Hektar besteht. Flächen mit hohen Gesamtkosten von rund 125.000 Euro pro Hektar machen hingegen nur einen geringen Anteil aus.

Abbildung 3: Flächenpotenzial in Abhängigkeit der Gesamtkosten pro Hektar für die Wiedervernässung von landwirtschaftlichen Moorstandorten



Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

3.2.3 Diskussion der Ergebnisse

Unter den getroffenen Annahmen weist die Moorwiedervernässung ein hohes THG-Vermeidungspotenzial bei vergleichsweise geringen THG-Vermeidungskosten auf. Die Höhe der Vermeidungskosten wird dabei vor allem durch die Orientierung der Entschädigung

an der Höhe der Bodenrichtwerte bestimmt, da in einigen Regionen sehr hohe Kosten pro Hektar entstehen. Auf Grund der hohen THG-Einsparungen je Hektar und des angenommenen Wirkungszeitraums von 40 Jahren bleiben die Kosten je vermiedener Tonne CO_2-Äq. jedoch niedrig. Bei Vermeidungskosten von unter 100 Euro je Tonne könnte die Moorvernässung damit perspektivisch auch für einen freiwilligen Kohlenstoffmarkt eine relevante Klimaschutzmaßnahme darstellen.

Die Ziele des KSP2026 für den LULUCF-Sektor in Höhe von -28 Mio. t CO_2-Äq. jährlich können unter den getroffenen Annahmen gemeinsam mit der Wiedervernässung der Waldmoore (siehe Kapitel 3.3) erreicht werden. Zusätzlich entsteht eine THG-Vermeidung von rund -4,5 Mio. t CO_2-Äq. im Landwirtschaftssektor. Damit kann die Moorwiedervernässung auch einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele in der Landwirtschaft leisten.

Die Ergebnisse werden maßgeblich von der Annahme des Wirkungszeitraums beeinflusst. Wird dieser beispielsweise von 40 auf 20 Jahre gekürzt, verdoppeln sich die THG-Vermeidungskosten und liegen zwischen 20,8 und 177 Euro/t CO_2-Äq.. Zudem sind die absoluten Gesamtkosten der Maßnahme mit rund 40,5 Mrd. Euro sehr hoch. Je nachdem wie die Auszahlungen gestaltet werden, entstehen die Kosten entweder unmittelbar oder verteilen sich bei einem Wirkungszeitraum von 40 Jahren auf rund eine Mrd. Euro jährlich. Besonders kostenintensiv ist die Wiedervernässung in Regionen mit hohen Flächenwertverlusten, etwa bei Ackerbaubetrieben in Bayern.

Offen bleibt auch, ob der berechnete Preispfad für landwirtschaftliche Betriebe tatsächlich ausreichend attraktiv ist oder ggf. sogar die Kosten überkompensiert und damit die tatsächlichen Vermeidungskosten angemessen widerspiegelt. Hinweise darauf werden sich voraussichtlich erst in den kommenden Jahren durch die Evaluierung der Palu-Richtlinie ergeben. Insbesondere in Regionen mit intensiver Tierhaltung könnte die Kompensation der Standarddeckungsbeiträge über sieben Jahre nicht ausreichen, um kürzlich getätigte Investitionskosten in Stallneubauten, Melk- oder Kühlsysteme vollständig auszugleichen.

Insgesamt belaufen sich die berechneten Kosten auf rund 40 Mrd. Euro. Davon sind bis 2030 1,75 Mrd. Euro über die Palu-Richtlinie abgesichert. Die Finanzierung ab 2030 ist dagegen noch offen. Eine mögliche Ergänzung könnte künftig über freiwillige Kohlenstoffmärkte erfolgen. Der EU-Zertifizierungsrahmen unter der CRCF-Verordnung sowie die Zertifizierungsmethoden für Carbon Farming (EC, 2026) ermöglichen es, die durch Moorvernässung erzielte THG-Vermeidung künftig unter dem Rahmen der CRCF-Verordnung zu zertifizieren und die generierten Zertifikate auf dem freiwilligen Kohlenstoffmarkt zu verkaufen.

3.3 Wiedervernässung von trockengelegten Waldmooren

3.3.1 Methodik

Gemäß dem KSP2026 und der Palu-Richtlinie soll auch die Wiedervernässung von trockengelegten Waldmooren zur Erreichung des LULUCF-Ziels beitragen. Ein konkretes Ziel ist für die Waldmoore nicht benannt, daher wird angenommen, dass die Maßnahmen aus der Wiedervernässung der landwirtschaftlichen Moorstandorte und der Waldstandorte in Summe die Ziele aus dem KSP2026 in Höhe von -28 Mio. t CO_2-Äq. bis 2045 erreichen. Mit der Wiedervernässung der landwirtschaftlich genutzten Moorstandorte wird insgesamt eine THG-Vermeidung von -29,4 Mio. t CO_2-Äq. erreicht. Die THG-Vermeidung im LULUCF-Sektor liegt allerdings nur bei -24,9 Mio. t CO_2-Äq.. Damit sind weitere THG-Einsparungen aus der Wiedervernässung der Waldmoore für die Zielerfüllung erforderlich. Neben den Kosten für Planung und technische Maßnahmen ist ein zentraler Kostenfaktor bei der Wiedervernässung

von Waldstandorten der Wertverlust der Fläche. Analog zum Vorgehen in der Palu-Richtlinie und zur Wiedervernässung landwirtschaftlicher Standorte wird der Bodenrichtwert für Forst kompensiert. Die folgende Tabelle 5 zeigt die Annahmen für die Wiedervernässung von Waldstandorten auf organischen Böden

Tabelle 5: Überblick über wesentliche Parameter für die THG-Vermeidungskostenkurve der Wiedervernässung von Waldstandorten auf organischen Böden

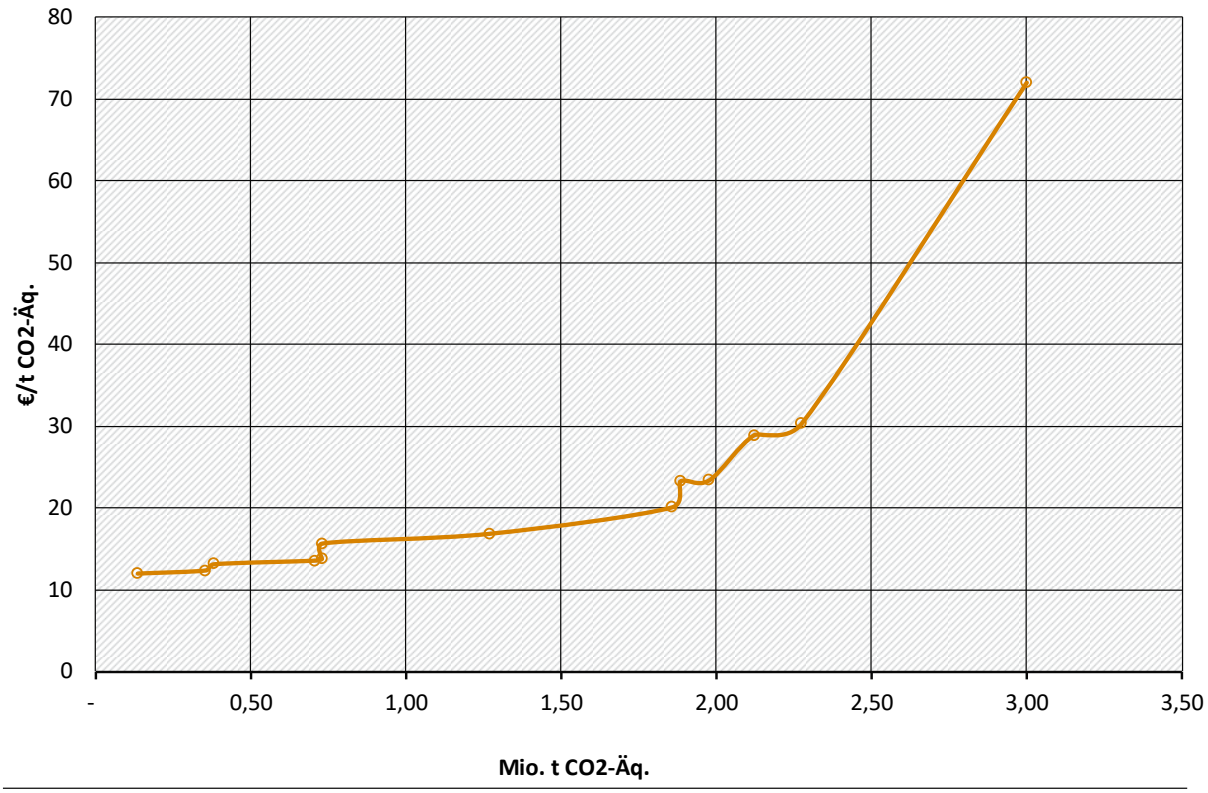
	Beschreibung	Annahme	Quelle
Wirkungszeitraum	Zeitraum, auf den die anfallenden Kosten der Wiedervernässung der Waldstandorte verteilt werden	40 Jahre	Eigene Annahme
THG-Einsparungen Wald	Emissionsfaktor aus THG-Inventar, korrigiert um bereits vernässte Waldflächen	-13,2 t CO_2-Äq./ha/a ohne regionale Differenzierung	Böttcher et al. (2026) auf Basis THG-Inventar 2023 (UBA, 2025b)
Wiedervernässungskosten	Kosten für technische Maßnahmen zur Wiedervernässung	4000 Euro/ha	Wichmann et al. (2022)
Umfang	Anteil der Waldstandorte auf organischen Böden, die wiedervernässt werden	80 %, entspricht 0,227 Mio. ha	Eigene Annahme, abgeleitet aus Emissionsfaktor THG-Vermeidungsbedarf aus KSP2026 -28 Mio. t CO_2-Äq. und Vermeidungspotenzial landw. Moorstandorte
Waldflächen	Waldflächen auf organischen Böden werden auf Bundeslandebene übernommen	Bundesland-spezifisch	Fuß et al. (2025)
Kompensation Wertverlust	Ausgleich des Wertverlusts durch Zahlung des Bodenrichtwerts für Forststandorte	Bundesland-spezifisch auf Basis BORIS-Portal	BORIS (siehe Tabelle 2 im Anhang)

Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

3.3.2 Ergebnisse

Durch die Wiedervernässung von 0,227 Mio. Hektar trockengelegter Waldstandorte auf organischen Böden lassen sich rund -3 Mio. t CO_2-Äq. jährlich vermeiden. Ein großer Teil des THG-Vermeidungspotenzials kann zu geringen Kosten erschlossen werden. Die THG-Vermeidungskosten liegen zwischen 12 und 72 Euro/t CO_2-Äq.. Rund -1,3 Mio. t CO_2-Äq. jährlich lassen sich nach den Berechnungen für unter 20 Euro vermeiden, weitere etwa -1,0 Mio. t CO_2-Äq. zu Kosten zwischen 20 und 30 Euro/t CO_2-Äq.. Nur die letzten verbleibenden -0,7 Mio. t CO_2-Äq. verursachen höhere Kosten von 72 Euro/t CO_2-Äq. (siehe Abbildung 4). Die Gesamtkosten dieser Maßnahmen liegen bei 3,76 Mrd. Euro.

Abbildung 4: THG-Vermeidungskostenkurve für die Wiedervernässung trockengelegter Waldstandorte



Anmerkung: Die einzelnen Punkte repräsentieren die verschiedenen Bundesländer.
Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

Die THG-Vermeidungskostenkurve wird für alle Bundesländer erzeugt, damit entspricht jeder Punkt in der Abbildung einem Bundesland. Die Unterschiede in den THG-Kosten ergeben sich vor allem aus den unterschiedlichen Bodenrichtwerten für Forst. Wie bei den landwirtschaftlichen Böden beruhen die Marktdaten zur Ermittlung des Bodenrichtwerts oft auf realen Verkäufen. Damit spiegeln sie Lage und Flächennachfrage, aber auch Bodenqualität und Standortbedingungen wider. Die übrigen Kosten und Vermeidungsfaktoren (Planung- und Vernässungskosten und THG-Vermeidung pro Hektar) werden für alle Regionen gleich angesetzt. THG-Vermeidungskosten von unter 20 Euro können durch geringere Bodenrichtwerte für Forst in den Bundesländern ST, SN, TH, BB, RP, SL und MV erreicht werden. Zwischen 20 und 30 Euro/t CO_2-Äq. liegen Maßnahmen in den Bundesländern NI, HE, NW, BW und SH. Nur Bayern liegt durch die hohen Bodenrichtwerte für Forststandorte bei über 70 Euro/t CO_2-Äq..

3.3.3 Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass die Wiedervernässung trockengelegter Waldstandorte auf organischen Böden ein relevantes und überwiegend kostengünstiges THG-Vermeidungspotenzial bietet. Hohe Kosten entstehen vor allem in Bayern, wo hohe Bodenrichtwerte dazu führen, dass die letzten erschließbaren Vermeidungspotenziale mit deutlich höheren Vermeidungskosten verbunden sind.

Die Ergebnisse werden, wie auch bei der Wiedervernässung von landwirtschaftlichen Moorstandorten, wesentlich von der Annahme zur Wirkungsdauer der Maßnahmen über einen Zeitraum von 40 Jahren bestimmt.

3.4 Etablierung von Agroforst/Gehölzstreifen

3.4.1 Methodik

Nach den Zielen des KSP2026 sollen durch die Maßnahme „Verbesserte Kohlenstoffspeicherung auf Flächen mit mineralischen Böden“ im Rahmen des Klimaschutzprogramms 2026 (BMUKN, 2026b) bis zum Jahr 2045 15 Mio. t CO_2 auf Flächen mit mineralischen Böden gebunden werden. In dieser Analyse wird angenommen, dass diese Einbindung durch die Anlage von Gehölzstrukturen erfolgt.

Bei der Anlage und Bewirtschaftung von Gehölzstrukturen bzw. Agroforstsystemen fallen verschiedene Kostenpositionen an. In der Anlagephase entstehen insbesondere Investitionskosten für Pflanzmaterial, Pflanzarbeiten und die Bodenvorbereitung. In der Bewirtschaftungsphase entstehen laufende Kosten für Pflege und Bewässerung. Zusätzlich können Ertragseinbußen entstehen, da die Gehölze erst nach einer mehrjährigen Etablierungsphase genutzt werden können. Nehmen Gehölze einen größeren Flächenanteil des Betriebes ein, sind hier finanzielle Zwischenlösungen notwendig, um eine Umsetzung dieser effektiven Klimaschutzmaßnahme zu gewährleisten. Studien zeigen aber auch einen positiven Effekt auf die Ackererträge durch die Etablierung von Gehölzstrukturen[13], wodurch der durch die Gehölzfläche verursachte Verlust an Ackerfläche teilweise kompensiert wird.

Die Etablierung von Gehölzstrukturen bzw. Agroforstsystemen wird in der aktuellen GAP (2023-2027) über mehrere Instrumente gefördert. Die Neuanlage ist über die zweite Säule im Rahmen von Investitionsprogrammen und über die GAK förderfähig[14]. Zusätzlich wird die Bewirtschaftung von Agroforstsystemen in der ersten Säule über die Öko-Regelung 3 (Agroforst) durch eine jährliche Prämie unterstützt.

Für die Berechnung der THG-Vermeidungskosten zur Anlage von Gehölzstrukturen werden die Investitionskosten zur Etablierung, die Bewirtschaftungskosten und der Ertragsverlust auf der Gehölzfläche berücksichtigt. Es wird angenommen, dass die Anlage nur auf mineralischen Böden und nicht auf organischen Böden erfolgt. Um die Größenordnung in Höhe von -15 Mio. t CO_2-Äq. zu erreichen, müssen 50 % der Betriebe auf mineralischen Böden auf 20 % der Fläche Gehölzstrukturen angelegen (siehe Tabelle 6). Diese Annahme kann auch variiert werden, z. B. indem 35 % der Betriebe auf 30 % der Fläche Gehölzstreifen anlegen o. ä. Die folgende Tabelle 6 gibt einen Überblick über die wesentlichen Parameter der Annahmen.

Tabelle 6: Überblick über wesentliche Parameter für die THG-Vermeidungskostenkurve der Anlage von Gehölzstrukturen

	Beschreibung	Annahme	Quelle
Wirkungszeitraum	Zeitraum, auf den die anfallenden Kosten der Anlage von Gehölzstrukturen verteilt werden	20 Jahre	Eigene Annahme auf Basis THG-Inventarmethodik

[13] In der mehrjährigen Betrachtung liegt ein wichtiger Vorteil von Agroforstsystemen in der erhöhten Ertragsstabilität, insbesondere unter Dürrebedingungen (Merrell et al., 2025). Beispielsweise konnte der Ertrag von Wintergerste um 8 % gesteigert werden (Böhm et al., 2020). Insgesamt fällt die Reaktion kulturspezifisch aus (Reuse und Langhof, 2025), wobei die Datenbasis für Deutschland noch gering ist.

[14] Die Inanspruchnahme der Förderung von Agroforstsystemen und Hecken unterscheidet sich von Bundesland zu Bundesland, Entscheidungsprozesse laufen diesbezüglich mitunter noch. Ein Überblick gibt die folgende Website: https://agroforst.jetzt/foerderlandschaft/

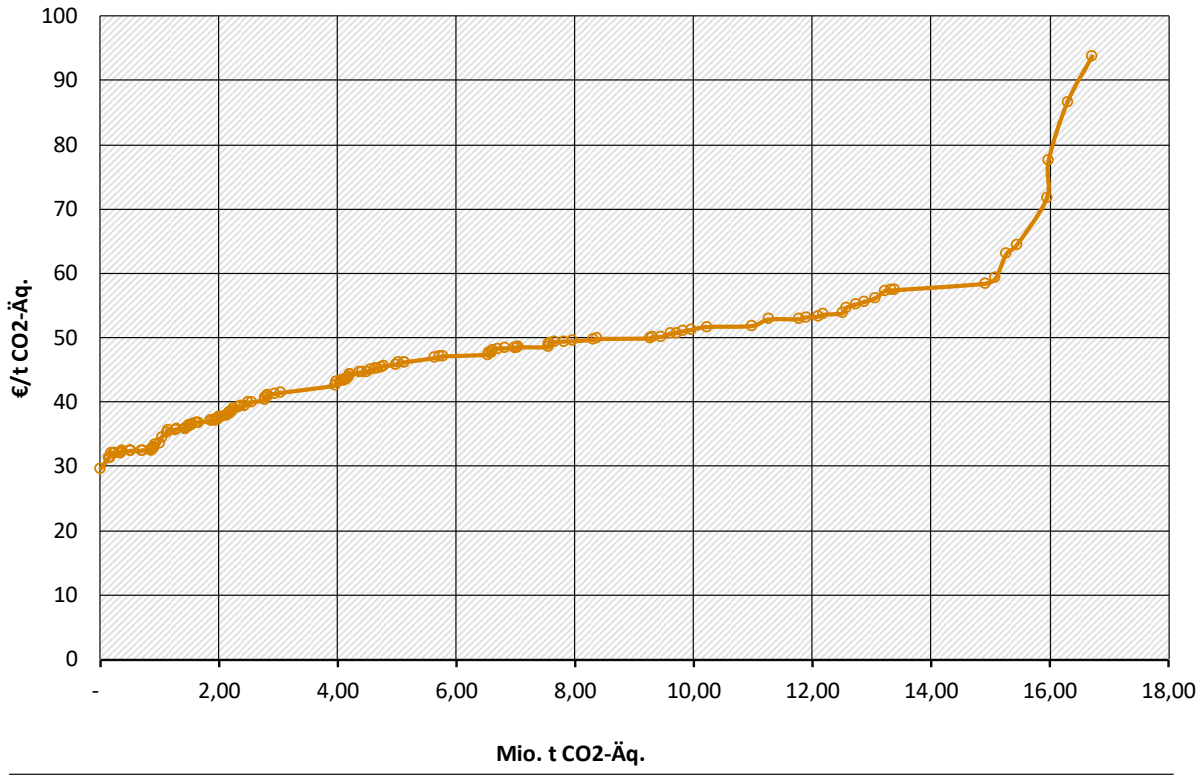
	Beschreibung	Annahme	Quelle
CO_2-Senkenaufbau Ackerland	C-Faktor aus THG-Inventar 2023 für Umwandlung Ackerland in Kurzumtriebsplantagen, keine regionale Differenzierung	-14,6 t CO_2-Äq./ha	THG-Inventar 2023 (UBA 2025)
CO_2 Senkenaufbau-Grünland	C-Faktor aus THG-Inventar 2023 für Umwandlung Ackerland in Kurzumtriebsplantagen, abzüglich Senkenaufbau in Wurzeln, da nach Drexler et al. (2021) kein zusätzlicher Kohlenstoffaufbau im Boden durch die Anlage von Gehölzstrukturen auf Grünland erfolgt	-11,0 t CO_2-Äq./ha	Eigene Annahme auf Basis THG-Inventar 2023 (Drexler et al., 2021; UBA, 2025b)
Umfang	Anteil der Betriebe auf mineralischen Böden, die auf einem Teil der Fläche Gehölzstrukturen anlegen, Ableitung erfolgt auf Basis ANK-/KSP-Zielsetzung und LiSE-Modell	50 %	Eigene Annahme auf Basis der Ziele und verwendeten Emissionsfaktoren
Flächenanteil	Anteil der Betriebsfläche für die Anlage von Gehölzstrukturen, Ableitung erfolgt auf Basis ANK-/ KSP2026-Zielsetzung und LiSE-Modell	20 %	Eigene Annahme auf Basis der Ziele und verwendeten Emissionsfaktoren
Förderung für Anlage Gehölzstrukturen	Orientierend wurde der höchste GAK-Fördersatz für die Anlage von Wertholz verwendet, da in der Praxis die Kosten auch höher sein können	5.271 Euro/ha Gehölzstreifen	GAK (Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat [BMLEH], 2026)
Beibehaltungskosten für die Pflege von Gehölzstrukturen	Einheitsbetrag aus GAP-Direktzahlungsverordnung (GAPDZV), Anlage 4	200 Euro/ha jährlich über 5 Jahre*	GAP-Strategieplan 2026 für 2025 (BMLEH, 2025), eigene Annahme für Zahlungszeitraum
Ausgleich für Ertragsverlust	Es wird angenommen, dass 100 % des Ertragsverlusts ausgeglichen werden.	Bundesland- und Betriebs-spezifische Standarddeckungsbeiträge siehe Tabelle 26 im Anhang, jährlich über 10 Jahre	Eigene Annahme

Anmerkungen: Es wird angenommen, dass in den ersten Jahren erhöhte Kosten für Pflege und Bewässerung anfallen. Bei guter Etablierung sinken dann die Pflegekosten, so dass die Zahlungen nur für die ersten 5 Jahre erfolgen.
Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

3.4.2 Ergebnisse

Durch die Etablierung von Gehölzstrukturen auf rund 1,16 Mio. Hektar auf mineralischen Böden auf Acker- und Grünland lassen sich rund -16,7 Mio. t CO_2-Äq. jährlich durch den Aufbau einer Kohlenstoffsenke mindern, davon werden -15,7 Mio. t CO_2-Äq. (94 %) im LULUCF-Sektor und -0,9 Mio. t CO_2-Äq. durch eine Verringerung der Düngung im Landwirtschaftssektor erzielt. Die THG-Vermeidungskosten liegen zwischen 26,3 und 93,8 Euro/t CO_2-Äq.. Für unter 40 Euro/t CO_2-Äq. lassen sich jährlich rund -2,4 Mio. t CO_2-Äq. vermeiden. Das größte THG-Vermeidungspotenzial liegt mit -12,7 Mio. t CO_2-Äq. jährlich zwischen 40 und 60 Euro/t CO_2-Äq.. Die letzten verbleibenden -1,6 Mio. t CO_2-Äq. verursachen höhere Kosten zwischen 60 und 94 Euro/t CO_2-Äq. (siehe Abbildung 5). Die Gesamtkosten der Maßnahme liegen bei 16,9 Mrd. Euro.

Abbildung 5: THG-Vermeidungskostenkurve für die Etablierung von Gehölzstrukturen



Anmerkung: Die einzelnen Punkte repräsentieren die verschiedenen Betriebsvarianten in den Bundesländern.
Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

Die Unterschiede in den THG-Kosten ergeben sich vor allem aus den regionalen und betriebsspezifischen Standarddeckungsbeiträgen. Die übrigen Kosten und Vermeidungsfaktoren (Pflanzkosten, Pflegekosten und THG-Vermeidung pro Hektar) werden für alle Regionen und Betriebstypen gleich angesetzt.

Die Etablierung von Gehölzstrukturen auf Grünland ist in fast allen Bundesländern zu THG-Kosten von unter 40 Euro/t CO_2-Äq. möglich. Lediglich in Schleswig-Holstein, Baden-Württemberg und Bayern sind die THG-Vermeidungskosten für Grünland höher. Für Kosten von weniger als 40 Euro/t CO_2-Äq. beträgt das jährliche THG-Vermeidungspotenzial -2,4 Mio. t CO_2-Äq.. Die Gesamtkosten liegen bei 1,7 Mrd. Euro. Die Kosten pro Hektar liegen zwischen 7.547 (Grünland, Sachsen-Anhalt Futterbau) und 11.900 Euro (Ackerland, Milchvieh Saarland).

Zwischen 40 und 60 Euro/t CO_2-Äq. können Gehölzstrukturen auf den restlichen Grünlandstandorten und auf fast allen Ackerstandorten etabliert werden. Das THG-Vermeidungspotenzial durch die Schaffung einer Senke liegt jährlich bei -12,6 Mio. t CO_2-Äq. und ist zu Kosten von 12,6 Mrd. Euro erschließbar. Die Kosten pro Hektar liegen zwischen 10.463 Euro (Grünland, Schleswig-Holstein) und 18.070 Euro (Ackerland, Veredelung Baden-Württemberg).

Die teuersten Maßnahmen mit Preisen von über 60 Euro/t CO_2-Äq. bis 94 Euro/t CO_2-Äq. liegen auf Ackerland in Niedersachen, Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg und Bayern. Für diese Betriebe liegen die Standarddeckungsbeiträge für Ackerland zwischen 1.353 (NW, Ackerland, Gemischt) und 2.286 (NI, Ackerbau) Euro pro Hektar, sie haben damit starke Auswirkungen auf die Kosten. Das THG-Vermeidungspotenzial auf diesen Standorten beträgt jährlich insgesamt -1,6 Mio. t CO_2-Äq. Um dieses Potenzial zu erschließen, fallen Gesamtkosten von 2,6 Mrd. Euro an. Die Kosten pro Hektar liegen zwischen 19.800 (Ackerland, Nordrhein-Westfalen-Gemischtbetrieb) und 29.132 Euro (Ackerland, Niedersachsen-Ackerbau).

3.4.3 Diskussion der Ergebnisse

Auch über die Etablierung von Gehölzstrukturen kann eine relevante THG-Vermeidung im LULUCF- und Landwirtschaftssektor zu THG-Vermeidungskosten von unter 100 Euro/t CO_2-Äq. erzielt werden. Ein zentraler Kostentreiber ist dabei die Kompensation von Ertragsverlusten über zehn Jahre, die regional und betriebsspezifisch differenziert berechnet wurde. In der derzeitigen Förderung werden aktuell pauschal 600 Euro pro Hektar ab dem Jahr 2026 gezahlt, unabhängig von den jeweiligen Ertragsverlusten in den Betrieben. Für Grünlandstandorte liegen die Standarddeckungsbeiträge oft unter den pauschalen 600 Euro pro Hektar. Für Ackerland würden die pauschalen Zahlungen von 600 Euro/ha in allen Regionen und Betrieben dagegen nicht ausreichen, um Ertragsverluste auf der Gehölzfläche zu kompensieren (siehe Tabelle 26 im Anhang).

Die THG-Kosten werden auch durch die Annahme des Wirkungszeitraums von 20 Jahren bei Zahlungen über nur 10 Jahre beeinflusst. Bei der Anlage von Obstbäumen fallen nach ca. 10 Jahren Einnahmen durch die Ernte an, ohne eine Beeinflussung der THG-Bilanz. Bei der Nutzung des Holzes, z. B. als Hackschnitzel für die stoffliche oder energetische Nutzung, kann sich die THG-Bilanz wesentlich verändern (siehe Sensitivität in Kapitel 5.4). Offen bleibt auch, wie die Flächen nach Ende des Wirkungszeitraums genutzt werden und ob die Klimawirkung langfristig gesichert bleibt.

Schließlich bestimmen die Annahmen zur Teilnahmebereitschaft der Betriebe und zum Flächenanteil maßgeblich die Kostenkurve. Bei einer Änderung der Annahmen des Flächenanteils von 20 % auf 40 % müssten weniger Betriebe teilnehmen, wobei die Maßnahme voraussichtlich zunächst auf kostengünstigeren Standorten umgesetzt würde und sich die Gesamtkosten der Maßnahme verringern. Diese Bewertung würde primär die Perspektive der THG-Vermeidungskosten einnehmen und berücksichtigt damit nur eingeschränkt die ökologische Bedeutung einer möglichst breiten und landschaftsbezogenen Etablierung von Gehölzstrukturen, etwa für Biodiversität, Biotopverbund und strukturelle Aufwertung der Agrarlandschaft.

3.5 Anpassung der Waldbewirtschaftung

3.5.1 Methodik

Die Anpassung der Waldbewirtschaftung in Abhängigkeit vom THG-Preis erfolgt zum einen für die Reduktion der Laubholzentnahme (Abschnitt 3.5.1.1) und zum anderen für die Erhöhung der Mortalitätsholzentnahme (Abschnitt 3.5.1.2). In den folgenden beiden Unterkapiteln wird für beide Maßnahmen das methodische Vorgehen zur Herleitung von THG-Vermeidungskostenkurven erläutert. Im Anschluss werden beide Maßnahmen zu einer gemeinsamen THG-Kostenkurve integriert.

3.5.1.1 Reduktion der Laubholzentnahme

Die Höhe der Senkenleistung im Wald steht in einem direkten Zusammenhang mit der Höhe der Holzentnahme: Wird gegenüber einer angenommenen Ausgangssituation weniger Holz entnommen, so steigt die Senkenleistung der lebenden Bäume an. Wird hingegen mehr Holz entnommen, nimmt die Senkenleistung ab (siehe Hennenberg, Pfeiffer et al., 2024; Soimakallio et al., 2022). Um die Höhe der Holzentnahme und damit die mögliche Senkenleistung im Wald in Deutschland an einen THG-Preis zu koppeln, wird angenommen, dass die Waldbesitzenden die Bildung einer natürlichen Senke im Holzvorrat des Walds vergütet bekommen und dieser Mechanismus somit in Konkurrenz zur Ernte und kurzlebigen Nutzung des Holzes tritt. Bei der Erstellung einer THG-Kostenkurve für Waldholz liegt der Fokus aus den folgenden Gründen auf energetisch genutztem Laubholz:

1. Bei dieser Nutzungsart können nur geringe bis keine THG-Vermeidungen erwartet werden, wenn Dynamiken der Kohlenstoffspeicherung der Waldfläche in den THG-Berechnungen berücksichtigt werden (Fehrenbach et al., 2022; Hennenberg, Pfeiffer et al., 2024). D. h., dass die Summe der Kohlenstoffverluste durch die Brennholzernte im Wald plus die eingesparten CO_2-Emissionen einer Gasheizung entspricht, etwa dem Vergleichsfall der Summe der Emissionen der Gasheizung plus dem CO_2-Senkenerhalt im Wald durch die unterlassene Holzernte.
2. Außerdem bieten Laubholzbestände das Potenzial, mit vertretbarem Risiko Vorräte im Wald aufzubauen (Reise et al., 2024; Wissenschaftlicher Beirat für Waldpolitik [WBW], 2021, siehe auch Kehl & Revermann, 2024): Die Ergebnisse der 4. Bundeswaldinventur zeigen, dass in den Extremjahren 2018 bis 2022 Fichten sehr stark an Vorrat verloren haben und für andere Nadelbäume der Vorrat lediglich stabil blieb. Laubbaumbestände hingegen konnten in dieser Periode weiterhin Vorrat aufbauen, wenn auch nur auf halb so hohem Niveau wie in den Jahren 2013 bis 2017 mit günstigen Wuchsbedingungen (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft [BMEL], 2024; Hennenberg, Böttcher et al., 2024).
3. Zudem werden positive Effekte für die biologische Vielfalt für Laubmischbestände besonders hoch eingeschätzt (Luick et al., 2021).

Die THG-Kostenkurve für nicht geerntetes Laubholz wird in Konkurrenz zur Energieholznutzung entwickelt, denn in diesem Szenario soll die energetische Nutzung zugunsten der Bildung der natürlichen Senke (Holzvorrat im Wald) sowie zum Aufbau des Holzproduktespeichers in langlebigen Holzprodukten aufgegeben werden. Daher werden zunächst einige Überlegungen zur Entwicklung der stofflichen Nutzung gegenüber heute angestellt. In Deutschland wurden in den Jahren 2013 bis 2022 durchschnittlich 18,6 Mio. m^3 Laubholz jährlich aus dem Wald entnommen. Davon fanden 13,5 Mio. m^3 an Laubholz eine direkte energetische Verwendung, während 5,1 Mio. m^3 in der ersten Verarbeitungsstufe stofflich genutzt wurden (Jochem, 2025). Es ist aber davon auszugehen, dass bei der stofflichen Nutzung in den nachfolgenden Verarbeitungsstufen Sägenebenprodukte anfielen, die ebenfalls energetisch genutzt oder für

kurzlebige Holzprodukte verwendet wurden. Für die zukünftige Entwicklung der stofflichen Holznutzung wird auf den Ausbau des Holzproduktspeichers im UBA-Szenario CARETarget (Harthan et al., 2026) zurückgegriffen. Dort wird bis zum Jahr 2045 angenommen, dass 2,7 Mio. m^3 an Laubenergieholz und/oder Laubsägerestholz zusätzlich stofflich genutzt wird (siehe auch Abschnitt 3.7). In dem vorliegenden Szenario wird die Reduktion der Laubholzentnahme auf 10 Mio. m^3 begrenzt[15], um den Anstieg der stofflichen Laubholznutzung sicherzustellen.

Die Entwicklung der THG-Kostenkurve für das im Wald verbleibende Holzvolumen erfolgt in einem heuristischen Verfahren. Hierfür werden die Untergrenze und die oberen 90 % der Vermeidungskosten bestimmt und der Verlauf der Kurve zwischen diesen beiden Punkten anhand von Überlegungen zur Zahlungsbereitschaft für Brennholz mit einem CO_2-Preis abgeleitet:

- Untergrenze für die CO_2-Vermeidungskosten:
  Hierzu werden – wie in Hennenberg et al. (2026)[16] – der erntekostenfreie Erlös[9, 17] und die Menge an CO_2, die im Holz gespeichert ist, herangezogen. Zwischen 2011 und 2018 betrug der erntekostenfreie Erlös im Privatwald für Buche und Eiche durchschnittlich 46,61 Euro/m^3 und im Körperschaftswald 31,61 Euro/m^3.[18] In den Jahren 2019 bis 2021 brachen die Werte im Mittel auf 29,00 Euro/m^3im Privatwald und 17,62 Euro/m^3 im Körperschaftswald ein. Im Jahr 2023 wurden für Buche und Eiche aber wieder hohe erntekostenfreie Erlöse von 61,30 Euro/m^3 im Privatwald und 40,06 Euro/m^3 im Körperschaftswald erzielt (Mittelwert: 50,68 Euro/m^3). Diese hohen erntekostenfreien Erlöse werden im Folgenden als Berechnungsgrundlage genutzt, da generell eine Preissteigerung erwartet werden kann und da diese Annahme zuungunsten einer unterlassenen Holznutzung ist.
  Im Holz, das aus dem Wald geerntet wird, ist Kohlenstoff gespeichert. Lufttrockenes Laubholz speichert etwa 1,0 t CO_2/m^3 (vgl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe [FNR], 2023). Die oben genannten erntekostenfreien Erlöse beziehen sich auf Derbholz ohne Rinde (Erntefestmeter). Daher ist bei der Berechnung des THG-Preises ein Rindenaufschlag von 12 % für Laubholz zu berücksichtigen, denn mit dem Holz verbleibt auch die Rinde im Wald:

$$THG_{Preis_{Laubholz}} = \frac{58{,}68\ \left[\frac{€}{m^3}\right]}{1{,}0\ \left[\frac{tCO2}{m^3}\right] \times 1{,}12} = 45{,}25 \left[\frac{€}{tCO2}\right]$$

  Dieser aus aktuellen Zahlen ermittelte THG-Preis für Holz von 45,25 Euro/t CO_2-Äq. basiert auf der Annahme, dass zukünftig eine ähnliche Energieholzentnahme wie im Jahr 2023 auftritt. Wird Laubholz im Wald belassen, um dort die Senke zu erhöhen, sind eine Feuerholzknappheit und Preissteigerungen zu erwarten.

- Obere 90 % der THG-Vermeidungskosten
  Dieser angenommene Wert repräsentiert für die THG-Kostenkurve denjenigen Punkt, ab dem das heutige Feuerholz abzüglich zukünftiger stofflicher Nutzung zu 90 % im Wald belassen wird.
  Um dies abzubilden, werden die Kosten für grünen Wasserstoff als teure Energiequelle

[15] Zum Vergleich: Im Szenario CARETarget (Harthan et al. 2026) wurde die Reduktion der Laubholzentnahme für das Jahr 2045 mit 5 Mio. m^3 als fixer Wert angenommen.

[16] Die hier erläuterte Methode ist ein Update der Methode in Hennenberg et al. (2026).

[17] Werte zu erntekostenfreien Erlösen liegen für Deutschland als Mittelwert für Baumartengruppen ohne Differenzierung nach Holzsortimenten vor.

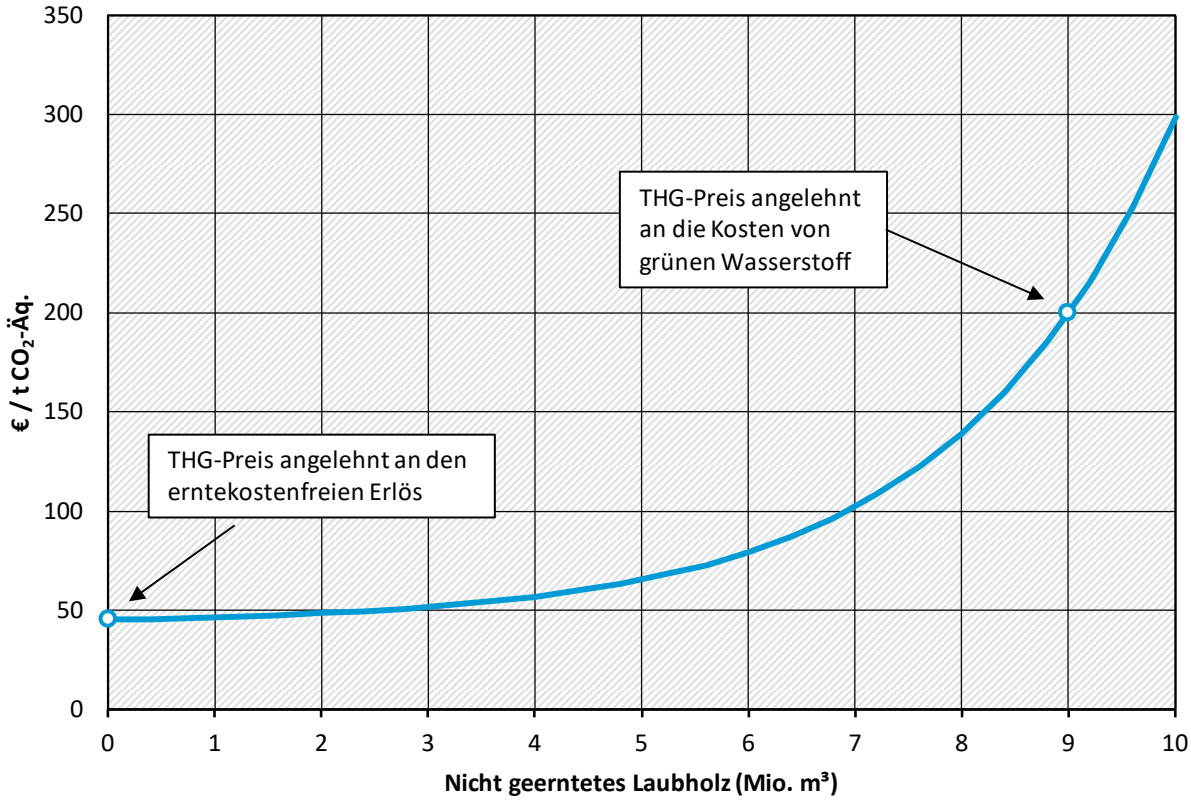
[18] Testbetriebsnetz Forst: https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/testbetriebsnetz/testbetriebsnetz-forst-buchfuehrungsergebnisse

herangezogen, denn es wird davon ausgegangen, dass die Bereitschaft für Holz mehr als für Wasserstoff zu zahlen, nur für 10 % der Energieholznutzer gegeben ist. In den 2040er Jahren werden Kosten für grünen Wasserstoff von über 25 Euro/GJ erwartet[19]. Für den Preisvergleich von Holz und Wasserstoff wird der THG-Preis für einen Kubikmeter lufttrockenes Laubholz dem Wasserstoffpreis für den Energiegehalt von lufttrockenem Laubholz (15 % Wassergehalt) gegenübergestellt. Dieser enthält 2.550 kWh/m^3 bzw. 9,182 GJ/m^3 (Förster et al., 2025). Bei dem oben genannten Rindenfaktor von 1,12 t CO_2/m^3 und dem gespeicherten CO_2 im Holz von 1,0 t CO_2/m^3 entspricht dies 8,198 GJ/t CO_2. Mit dem genannten Preis für grünen Wasserstoff ergibt sich für Holz ein vergleichbarer THG-Preis von 204,96 Euro/ t CO_2. Ab diesem THG-Preis von gerundet 200 Euro/t CO_2-Äq. ist Holz der teuerste Energieträger im System.

- Verlauf der Kurve:
  Es wird angenommen, dass nur 10 % der Feuerholzkunden bereit sind, einen Preis wie für Wasserstoff zu bezahlen (THG-Preis von 200,00 Euro/t CO_2-Äq.). Die übrigen Kunden wechseln zu alternativen Energieträgern, vorwiegend zu Wärmepumpen und in selteneren Fällen zu Wasserstoff. Dabei wird davon ausgegangen, dass bereits bei einem moderaten THG-Preis die Holzheizung an Attraktivität verliert und ein Großteil der Haushalte auf andere Systeme, insbesondere die Wärmepumpe, wechseln. Der Preisanstieg für Feuerholz, verursacht durch die Kombination aus THG-Preis und Verknappung an Feuerholz, ist in Abbildung 6 daher als exponentieller Zusammenhang dargestellt. Dabei wird das Potenzial an Laubholz, das im Wald verbleiben könnte, mit 10 Mio. m^3 angesetzt (vgl. oben genannte energetische Laubholznutzung). Der Preisanstieg für die letzten 10 % des nicht geernteten Holzes wird auf 300 Euro/t CO_2-Äq. gedeckelt (das 1,5-fache des THG-Preises für Wasserstoff).

[19] Z. B. https://www.chemietechnik.de/energie-umwelt/was-kostet-wasserstoff-jetzt-und-in-zukunft/1937648

Abbildung 6: Menge an nicht geerntetem Laubholz in Abhängigkeit vom THG-Preis



Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

Als Ausgangssituation für die Waldentwicklung wird das FABio-Forest Ohne-Maßnahmen-Szenario „OMS (03-22, BWI3, F2.4)“ verwendet (siehe Details in Pfeiffer et al., 2026). Wichtige Annahmen für die Modellierung ab dem Jahr 2024 sind:

- Die Witterungsbedingungen werden wie in den Jahren 2003 bis 2022 zyklisch wiederholt (bei zufälliger Veränderung des räumlichen Musters).
- Die Mortalitätsrate der Baumartengruppen wird auf Basis der Ergebnisse der Waldzustandserhebung den fortgeschriebenen Jahren zugewiesen.
- Die Holznachfrage lehnt sich an die Waldmodellierung im Projektionsbericht 2025 an (Rock et al., 2025, Förster et al., 2025; siehe Detailzusammenstellung in Pfeiffer et al., 2026).

Beim OMS handelt es sich um einen Modelllauf ohne Reduktion der Laubholzernte. In 11 weiteren Modellläufen wird die Laubholzernte ab dem Jahr 2031 bis zu einem Zielwert im Jahr 2045 linear reduziert. Die Reduktion der Laubholzernte im Jahr 2045 variiert von 1,3 bis 10 Mio. m^3/Jahr in Schritten von 0,7 bis 1,3 Mio. m^3. Für jeden Modelllauf wird eine jahresgenaue Zeitreihe der Emissionskoeffizienten für die lebenden Bäume der Waldfläche an FABio-Land (LULUCF-Modell) übergeben. Jedem der 12 Modellläufe kann nach Abbildung 6 ein THG-Preis zugewiesen werden. In FABio-Land kann ein THG-Preis für das Jahr 2045 eingestellt werden. Modellintern wird ermittelt, zwischen welchen der Modellläufe der THG-Preis liegt. Z. B. befindet sich 90 Euro/t CO_2 zwischen einer Laubholzreduktion von 6,0 Mio. m^3 (80 Euro/t CO_2-Äq.) und 6,9 Mio. m^3 (100 Euro/t CO_2-Äq.; siehe Abbildung 6). Für die Emissionsfaktoren der beiden ermittelten Modellläufe wird ein gewichteter Mittelwert errechnet, wodurch für jeden beliebigen THG-Preis eine Zeitreihe der Emissionsfaktoren für die

lebenden Bäume der Waldfläche in FABio-Land dargestellt werden kann, ohne neue Modellläufe in FABio-Forest berechnen zu müssen.

3.5.1.2 Erhöhung der Mortalitätsholzentnahme

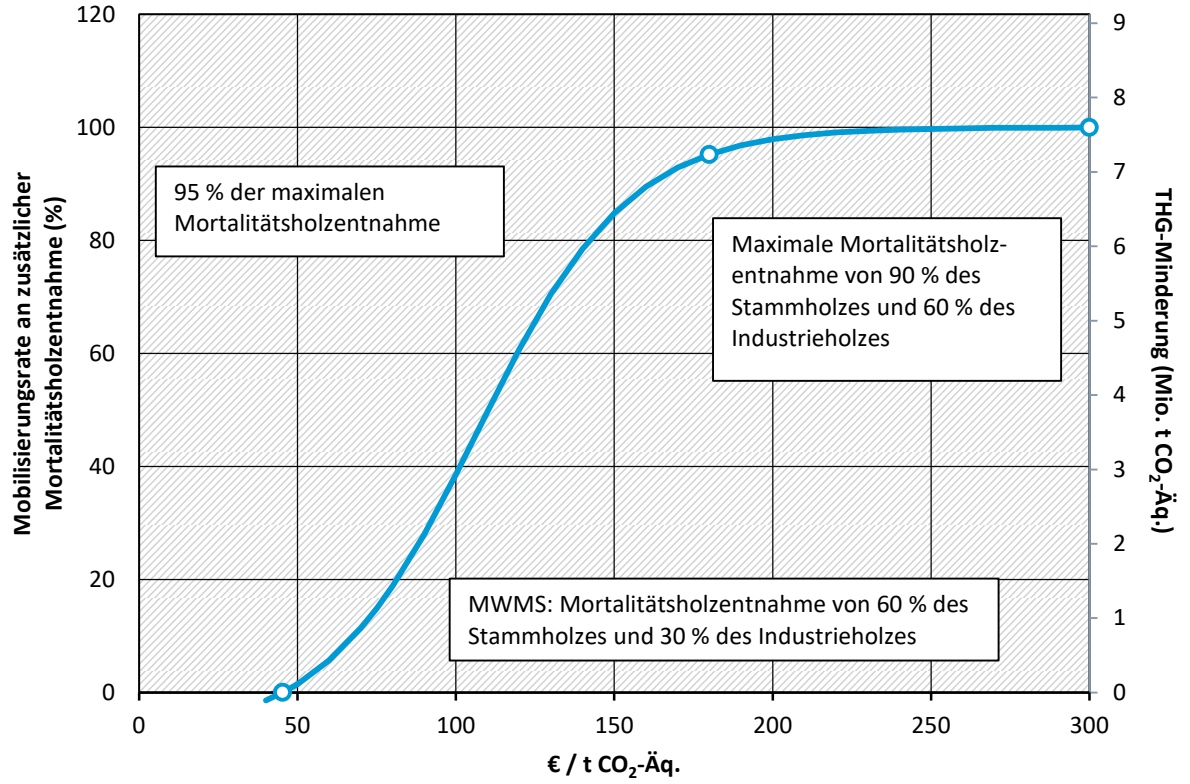
In Pfeiffer et al. (2026) wird die Waldentwicklung in Deutschland in FABio-Forest für das Ohne-Maßnahmen-Szenario (OMS) abgebildet. In Anlehnung an die 4. Bundeswaldinventur und die Höhe der Entnahme an Mortalitätsholz als Teil des Schadholzholzes (vgl. Destatis[20]) wurde für das OMS angenommen, dass von frisch abgestorbenen Bäumen 60 % des Stammholzes und 30 % des Industrieholzes entnommen und einer Nutzung zugeführt wird. Diese Annahme wird ebenfalls im Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)-FABio getroffen (siehe Abschnitt B.1.1). In FABio-Forest wird das entnommene Mortalitätsholz auf die Holznachfrage angerechnet und entlastet den Einschlagsbedarf an lebende, vitale Bäume auf anderen Waldflächen. Dies führt in Summe zu einer Erhöhung des Vorrats an lebenden Bäumen.[21]

Im Ziel-Szenario CARETarget wurde für die Mortalitätsholzentnahme angenommen, dass 90 % des Stammholzes und 60 % des Industrieholzes entnommen wird. Zur Abbildung einer Kostenkurve wird angenommen, dass diese hohe Mortalitätsholzentnahme zu 95 % bei einem THG-Preis von 180 Euro/t CO_2-Äq. – etwa dem 4-fachen des heutigen THG-Preises für Laubwaldholz von 45,25 Euro/t CO_2-Äq. (vgl. Abbildung 6) – erreicht wird (siehe Abbildung 7).

[20] https://genesis.destatis.de/datenbank/online/statistic/41261/details

[21] Da zum Zeitpunkt der Modellierung für die Traktecken der 4. Bundeswaldinventur die abgeleiteten Parameter zu Totholz noch nicht verfügbar waren, wurde der Totholzpool – wie auch in CARETarget – nicht modelliert, so dass eine zeitliche Verzögerung der Kohlenstofffreisetzung aus Totholz nicht abgebildet werden konnte. Als Vereinfachung wird hier angenommen, dass das Totholz zeitnah zersetzt wird. In zukünftigen Analysen sollten Effekte einer zeitversetzten Kohlenstofffreisetzung aus Totholz einfließen.

Abbildung 7: Höhe der Mobilisierungsrate und der THG-Vermeidung für eine zusätzliche Mortalitätsholzentnahme in Abhängigkeit vom THG-Preis



Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

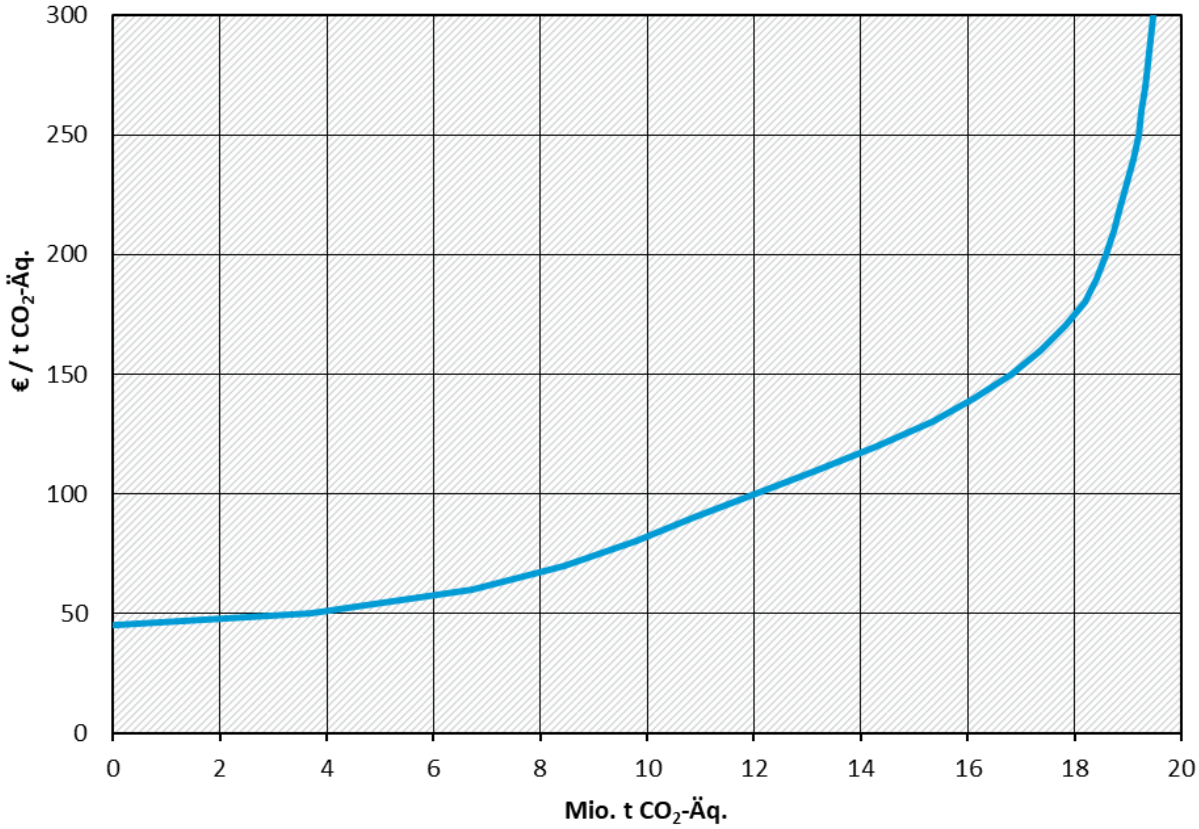
Um einzuschätzen, wie hoch die THG-Vermeidung durch eine Steigerung der Mortalitätsholzentnahme ausfällt, wurde der Waldmodelllauf mit einer Reduktion der Laubholzentnahme um 8,7 Mio. m^3 ausgewählt (THG-Preis von 180 Euro/t CO_2-Äq., siehe Abbildung 6), und es wurden zwei Varianten modelliert: (1) niedrige Mortalitätsholzentnahme von 60 % des Stammholzes und 30 % des Industrieholzes und (2) hohe Mortalitätsholzentnahme von 90 % des Stammholzes und 60 % des Industrieholzes. Alle übrigen Annahmen wie Witterung und Holznachfrage blieben in den beiden Waldmodellläufen konstant. Die Differenzbetrachtung dieser beiden Varianten zeigt, dass bei der Annahme einer hohen Mortalitätsholzentnahme im Jahr 2045 mit einer THG-Vermeidung von -7,6 Mio. t CO_2-Äq. gerechnet werden kann. Dieser Wert wird als Basis verwendet, um der Mobilisierungsrate eine THG-Vermeidung zuzuweisen (siehe Abbildung 7).

3.5.2 Ergebnisse

Für das Jahr 2045 wurde in FABio-Land eine THG-Kostenkurve für die angepasste Waldbewirtschaftung berechnet, die sowohl die Reduktion der Laubholzentnahme als auch die Erhöhung der Mortalitätsholzentnahme berücksichtigt. Dazu wurde der THG-Preis in Schritten von 10 Euro/t CO_2-Äq. kontinuierlich erhöht und in FABio-Land die Auswirkungen auf die THG-Bilanz der Waldfläche modelliert (Abbildung 8). Eine THG-Vermeidung von -6 Mio. t CO_2-Äq. wird bei einem THG-Preis von 58 Euro/t CO_2-Äq. erreicht. Für eine THG-Vermeidung von -12 Mio. t CO_2-Äq. bzw. -18 Mio. t CO_2-Äq. ist ein THG-Preis von ca. 100 Euro/t CO_2-Äq. bzw. 175 Euro/t CO_2-Äq. nötig. Oberhalb von -18 Mio. t CO_2-Äq. steigt der THG-Preis, der zur Mobilisierung einer weiteren THG-Vermeidung benötigt wird, in der Kostenkurve sehr stark an, so dass die maximal mögliche THG-Vermeidung von ca. -19,5 Mio. t CO_2-Äq. ein THG-Preis von

300 Euro/t CO_2-Äq. gegenübersteht (Abbildung 8). Diese Kostenkurve fließt als Entscheidungsgrundlage in die Ausgestaltung des THG-Preisszenarios in Abschnitt 4 ein.

Abbildung 8: Kostenkurve für angepasstes Waldmanagement im Jahr 2045



Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

Da für diese Maßnahme ein anderes methodisches Vorgehen gewählt wurde als für die übrigen Maßnahmen, ist die Ableitung der Gesamtkosten mit größeren Unsicherheiten verbunden. Die Berechnung der THG-Vermeidungskosten dieser Maßnahme basiert nicht auf real ermittelten Kosten, sondern auf angenommenen THG-Preisen. Zur exemplarischen Abschätzung wurden die Gesamtkosten dennoch analog zu den anderen Maßnahmen berechnet. Dabei wurde unterstellt, dass die angesetzten THG-Preise den tatsächlichen THG-Vermeidungskosten entsprechen und für das jeweils in einem Jahr erreichte THG-Vermeidungspotenzial über einen Förderzeitraum von 20 Jahren gezahlt werden.[22] Unter diesen Annahmen ergeben sich Gesamtkosten von rund 38,9 Mrd. Euro.

3.5.3 Diskussion der Ergebnisse

Die abgeleitete Kostenkurve ermöglicht es einzuschätzen, ob es aus Sicht der Vermeidungskosten für die Zielerreichung im LULUCF-Sektor von Vorteil ist, weniger Laubholz bzw. mehr Mortalitätsholz aus dem Wald zu entnehmen, oder stattdessen andere Maßnahmen zur THG-Vermeidung im LULUCF-Sektor zu nutzen. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht ist zu

[22] Beispiele für die Kostenabschätzung für ein angepasstes Waldmanagement:
Bei einem THG-Preis von 50 Euro/t CO_2-Äq. und einem THG-Minderungspotenzial von -3,7 Mio. t CO_2-Äq. zu diesem Preis ergeben sich bei einem angenommenen Wirkungs- und Förderzeitraum von 20 Jahren Gesamtkosten von etwa 3,7 Mrd. Euro (50 Euro/ t CO_2-Äq. x 3,7 Mio. t CO_2-Äq. x 20 Jahre). Die Gesamtkosten werden berechnet, indem die für die einzelnen THG-Preisstufen ermittelten Kosten aufaddiert werden.

betonen, dass der THG-Preis von 45,25 Euro/t CO_2-Äq. dem Erlös entspricht, den Waldbesitzende nach dem aktuellen erntekostenfreien Erlös durch den Holzverkauf an der Waldstraße erwirtschaften. Mit steigendem THG-Preis steigen direkt die Erlöse für die Waldbesitzenden, entweder wenn sie Holz nicht ernten und dafür eine Vergütung erhalten oder wenn sie höhere Holzpreise bei Kunden erwirtschaften.

Informationen, um die entwickelte Kostenfunktion auszugestalten, liegen nur sehr eingeschränkt vor. Der erntekostenfreie Erlös ist die einzige dem Autoren- und Autorinnenteam vorliegende, deutschlandweit verfügbare Kenngröße, die einen zu erwartenden Deckungsbeitrag für Forstbetriebe zum heutigen Zeitpunkt abbildet. Verfügbare Werte für Laubbäume decken Buche und Eiche ab, und zwar als Mittelwert für alle Holzsortimente. Die Reduzierung der Laubholzentnahme soll vorrangig in Beständen erfolgen, die aufgrund der Holzqualität zum Großteil nur für Feuerholz genutzt werden. Damit kann erwartet werden, dass der angenommene THG-Preis von 45,25 Euro/t CO_2-Äq. eine hohe Einschätzung darstellt und Forstbetriebe bei bereits niedrigeren THG-Preisen bereit sind, die Holzentnahme bestimmter Qualitäten auszusetzen.

Auch der angenommene Wasserstoffpreis unterliegt Unsicherheiten, da die Geschwindigkeit eines Markthochlaufs stark von den politischen Weichenstellungen der nächsten 15 Jahre abhängen wird. Auch kann in Frage gestellt werden, ob der Wasserstoffpreis die am besten geeignete Referenz darstellt, denn die Kosten für Raumwärme aus Wärmepumpen wird sehr wahrscheinlich im Jahr 2045 niedriger liegen als Raumwärme aus Wasserstoff.

Auch die Ermittlung der Kostenkurve zur erhöhten Mortalitätsholzentnahme hängt sehr stark von den getroffenen Annahmen ab. Zudem wurde die Höhe der THG-Vermeidung in einem Szenarien-Vergleich ermittelt und kann nicht mit empirischen Daten hinterlegt werden.

In Summe bestehen deutliche Unsicherheit bei der Herleitung der Kostenkurve für die Anpassungen der Waldbewirtschaftung. Dies ist bei der Interpretation der Ergebnisse zum THG-Kosten-Szenario zu berücksichtigen.

Auf der Waldfläche führen die Änderungen der Waldbewirtschaftung zu älteren Laubwaldbeständen.[23] Je älter die Bestände werden, desto höher wird das Risiko, dass sie unkontrolliert absterben. Bis zum Jahr 2045 spielen diese Auswirkungen eine nur untergeordnete Rolle, kommen aber voraussichtlich nach 2070 zum Tragen. Laufende und zukünftige Studien wie das BMFTR-Projekt Forest-Overshoot[24] sollten kritisch prüfen, wie klimastabil Laubmischwälder in Zukunft sein werden und bis zu welchem Zeitpunkt ein Vorratsaufbau in diesen Beständen vorteilhaft für den Klimaschutz ist.

3.6 Schaffung zusätzlicher Waldflächen

3.6.1 Methodik

Gemäß dem ANK und dem KSP2026 soll auch die Waldmehrung zur Erreichung des LULUCF-Ziels beitragen. Bis 2045 sollen über die Schaffung zusätzlicher Waldflächen 3 Mio. t CO_2 eingebunden werden. Zentrale Kostenfaktoren bei der Waldmehrung sind die Investitionen für die Pflanzung und der Wertverlust der Fläche, abhängig von ihrem bisherigen Nutzungsstatus. Erlöse aus der Durchforstung wurden nicht berücksichtigt. Zugleich wurden jedoch auch keine Pflegekosten angesetzt, da vereinfachend angenommen wurde, dass sich beide Größen über den

[23] Der Fokus in diesem Bericht liegt auf Analysen zur THG-Bilanz. Positive und negative Effekte auf andere Schutzgüter wie Biodiversität, Boden und Wasser wurden in diesem Bericht nicht analysiert. Mögliche Synergien und Trade-offs wurden im Projekt in dem Bericht „Synergien zwischen Renaturierung und natürlichem Klimaschutz“ betrachtet (Böttcher et al., 2026).

[24] https://cdrterra.de/consortia/forestovershoot/

Betrachtungszeitraum weitgehend ausgleichen können. Es wird angenommen, dass die Aufforstung durch eine Umwandlung von Ackerland mit einem festgelegten Flächenanteil pro Bundesland erfolgt und der daraus resultierende Wertverlust kompensiert wird (siehe Tabelle 7). Diese Annahme stellt eine methodische Vereinfachung dar und führt zu vergleichsweise hohen THG-Vermeidungskosten. Alternative Aufforstungsflächen, wie beispielsweise Bergbaufolgelandschaften wurden aus Kapazitätsgründen und wegen zusätzlichem Rechercheaufwand nicht in die Berechnung einbezogen.

Tabelle 7: Überblick über wesentliche Parameter für die THG-Vermeidungskostenkurve der Schaffung zusätzlicher Waldflächen

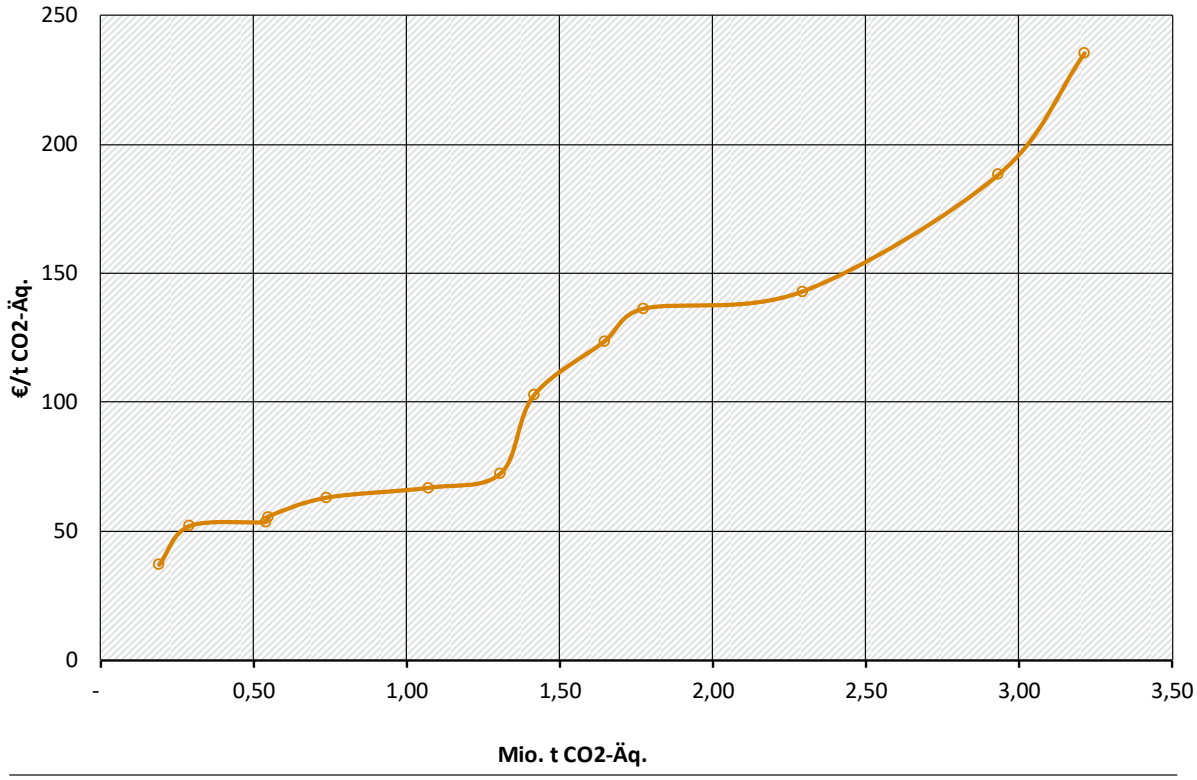
	Beschreibung	Annahme	Quelle
Wirkungszeitraum	Zeitraum, auf den die anfallenden Kosten der Schaffung zusätzlicher Waldflächen verteilt werden	50 Jahre	Eigene Annahme
CO_2-Senkenaufbau Ackerland	C-Faktor aus THG-Inventar 2023 für Aufforstung von Ackerland, regionale Differenzierung über Skalierung der Zuwachsraten pro Bundesland auf Basis Bundeswaldinventur	-16,4 t CO_2-Äq./ha/a plus regionale Skalierung	THG-Inventar 2023 (UBA, 2025b), Bundeswaldinventur (siehe Tabelle 28 im Anhang)
Flächenanteil	Anteil der Fläche auf Ackerland die zur Aufforstung verwendet wird	1,6 %	Eigene Annahme auf Basis KSP2026/ANK
Förderung für die Pflanzung	Mittelwert Pflanzkosten Baumschule und Wildlinge bei 3.000 Bäumen pro Hektar	9.450 Euro/ha Aufforstung	Förderung der Aufforstung neuer Wälder - WALDFÖPR - Waldbesitzer-Portal Bayern (Waldbesitzer-Portal Bayern, 2026)
Kompensation Wertverlust	Ausgleich des Wertverlusts durch Zahlung der Bodenwertdifferenz zwischen Ackerland/Grünland zu Forst	Bundesland-spezifisch auf Basis BORIS-Portal	BORIS (siehe Tabelle 2 im Anhang)

Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

3.6.2 Ergebnisse

Durch die Schaffung von zusätzlichen Waldflächen auf Ackerstandorten auf einer Fläche von 0,187 Mio. Hektar Ackerstandorte auf mineralischen Böden lassen sich rund -3,2 Mio. t CO_2-Äq. jährlich vermeiden, davon werden -3,0 Mio. t CO_2-Äq. (95 %) im LULUCF-Sektor und -0,16 Mio. t CO_2-Äq. durch eine Verringerung der Düngung im Landwirtschaftssektor erzielt. Nur ein geringer Teil des THG-Vermeidungspotenzials kann zu geringen Kosten erschlossen werden. Rund -0,2 Mio. t CO_2-Äq. jährlich lassen sich nach den Berechnungen für unter 50 Euro vermeiden, weitere etwa -1,1 Mio. t CO_2-Äq. zu Kosten zwischen 50 und 100 Euro/t CO_2-Äq.. Der Großteil des Vermeidungspotenzials in Höhe von -1,9 Mio. t CO_2-Äq. jährlich liegt bei THG-Kosten zwischen 100 und 235 Euro/t CO_2-Äq. (siehe Abbildung 9). Die Gesamtkosten dieser Maßnahme liegen bei 9,3 Mrd. Euro.

Abbildung 9 THG-Vermeidungskostenkurve Jahr 2045 für die Schaffung zusätzlicher Waldflächen



Anmerkung: Die einzelnen Punkte repräsentieren die verschiedenen Bundesländer.
Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

Die THG-Vermeidungskostenkurve wird für alle Bundesländer erzeugt. Damit entspricht jeder Punkt in der Abbildung einem Bundesland. Die Unterschiede in den THG-Kosten ergeben sich vor allem aus den unterschiedlichen Bodenrichtwerten für die Differenz zwischen Ackerland und Forst, aber auch durch unterschiedliche THG-Vermeidungspotenziale pro Hektar in Abhängigkeit von den Zuwachsraten nach der Bundeswaldinventar. Für alle Regionen werden die gleichen Pflanzkosten angesetzt. THG-Vermeidungskosten von unter 50 Euro können durch geringere Bodenrichtwerte für Forst nur in Thüringen erreicht werden. Zwischen 50 und 100 Euro/t CO_2-Äq. liegen Maßnahmen in den Bundesländern RP, BB, SL, SN, MV, ST. Bei über 100 Euro/t CO_2-Äq. Vermeidungskosten liegen die Maßnahmen in den Bundesländern HE, BW, SH, NI, BY und NW. Die höchsten THG-Vermeidungskosten sind für die Schaffung von zusätzlichen Waldflächen in NW zu verzeichnen.

3.6.3 Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass die Schaffung zusätzlicher Waldflächen eine teure Maßnahme ist, da der Großteil der THG-Vermeidungskosten bei über 100 Euro/t CO_2-Äq. liegt. Die Form der THG-Vermeidungskostenkurve wird dabei stark durch die Annahme zum verfügbaren Potenzial in den einzelnen Bundesländern bestimmt. So ergeben sich beispielsweise in Thüringen geringere Vermeidungskosten. Würde dort theoretisch ein größerer Anteil der Ackerfläche aufgeforstet, könnte ein erheblicher Teil des Potenzials zu niedrigen Kosten realisiert werden. Diese Annahme wäre jedoch wenig realistisch, weshalb die Begrenzung auf 1,6 % der Ackerfläche in jedem Bundesland eine plausiblere Einschränkung darstellt, gleichzeitig aber dazu führt, dass zusätzliche Potenziale in teureren Regionen erschlossen werden müssen.

3.7 Exkurs zum Holzproduktspeicher

Im Hinblick auf eine Steuerung des Zuflusses in den Holzproduktspeicher (HWP-Speicher) über den THG-Preis ist festzustellen, dass der Unterschied der Gewinnmargen von Energieholz und stofflichen Holzprodukten im Holzwerkstoffsegment nur sehr gering ist, obwohl die Holzenergie gefördert wird. Eine Steuerung des Zuflusses über den THG-Preis – zusammen mit dem Aussetzen der Holzenergieförderung – würde dazu führen, dass bereits bei sehr geringen Preisen große Anteile an Holz von der energetischen in die stoffliche Nutzung überführt würden (siehe Textbox 1). Diese sprunghafte Entwicklung ist sehr unrealistisch, denn der Engpass liegt vielmehr im zeitlichen Hochlauf stofflicher Produktionspfade. Daher wird angenommen, dass bereits geringe THG-Preise zu einem ambitionierten Pfad einer zusätzlichen stofflichen Nutzung führen. Um dies abzubilden, wird die Entwicklung des Holzproduktspeichers aus dem Szenario CARETarget übernommen (Harthan et al., 2026). Dabei werden die steigenden Holzbedarfe für die stoffliche Holznutzung mit den Annahmen zur Reduktion der Laubholzentnahme aus dem Wald rückgekoppelt (Abschnitt 3.5.1.1).

Textbox 1 Vergleich der Preise von Holzpellets und Spanplatten

Ob Holz in einem energetischen oder in einem stofflichen Pfad verwendet wird, hängt insbesondere von der Gewinnmarge für die konkurrierenden Produkte ab. Verbessert der THG-Preis die Gewinnmarge eines stofflichen Pfads gegenüber einem energetischen Pfad, sollte es zu einem Wechsel in der Produktion kommen. Auskünfte von Unternehmen zu Gewinnmargen, die sie bei Holzprodukten erwirtschaften, fallen unter das Betriebsgeheimnis und sind nicht frei verfügbar. Da kein Zugriff auf nötige Daten besteht, wird eine vereinfachte Berechnung vorgenommen. Der Verkaufspreis liegt bei ca. 1.000 Euro/t Spanplatte. Bei Annahme von 30 % an Kosten für Vertrieb, Gemeinkosten und Steuern liegt der Erlös des Herstellers bei 700 Euro/t Spanplatte. Mit einer Gewinnmarge von 3-5 %[25] am Erlös beträgt der Gewinn des Herstellers 21-35 Euro/t. Bei einem Holzanteil in Spanplatten von 90 % und 50 % Kohlenstoffanteil im Holz sind in einer t Spanplatte 1,62 t an CO_2 gespeichert. Wird für diese CO_2-Menge ein niedriger THG-Preis von 20 Euro/t CO_2-Äq. angesetzt, entspricht dies einem Wert von 32 Euro/t Spanplatte, und bei dem heutigen CO_2-Preis für Heizöl von bis zu 65 Euro/t CO_2-Äq. hat die in einer Spanplatte gespeicherte CO_2-Menge einen Wert von 105 Euro/t Spanplatte. Diese zusätzlich möglichen Erlöse über einen THG-Preis für Spanplatten sind gegenüber einem Verkaufspreis von ca. 400 Euro/t Holzpellets sehr hoch.

Dieser einfache Vergleich zeigt, dass die Inwertsetzung des gespeicherten CO_2 in Holzprodukten wie Spanplatten oder anderen Holzwerkstoffen bereits bei niedrigen THG-Preisen sehr stark die Gewinnmarge beeinflussen und eine starke Lenkungswirkung hin zur stofflichen Nutzung erwartet werden kann. Eine umfassende Marktmodellierung war im Rahmen dieser Studie nicht möglich und sollte in Folgestudien betrachtet werden.

3.8 THG-Vermeidungskostenkurve für den LULUCF-Sektor

3.8.1 Allgemein

Auf Basis der vorangegangenen Analyse zu den THG-Vermeidungskosten der wirkungsvollen Maßnahmen erfolgt eine Integration zu einer Vermeidungskostenkurve für den LULUCF-Sektor. Mit deren Hilfe lassen sich die kostengünstigsten Maßnahmen für die notwendige Vermeidung

[25] Die Gewinnmarge bei Spanplatten kann in einem kleinen einstelligen %-Bereich angenommen werden (mündliche Mitteilung Prof. Dr. Andreas Krause).

identifizieren, und es ergibt sich in der Theorie eine ideale Reihenfolge für deren regionale Umsetzung.

Zur Schließung der Lücke zwischen dem MMS und dem LULUCF-Ziel gemäß § 3a KSG müssen die zusätzlichen LULUCF-Maßnahmen bis 2040 Vermeidungen bzw. Senkenleistungen in Höhe von -71 Mio. t CO_2-Äq. und bis 2045 von -77 Mio. t CO_2-Äq. erbringen. Über die Festlegung von Kohlenstoff im Holzproduktespeicher kann ein Teil der Lücke geschlossen werden und nach den Annahmen CO_2-Festlegungen in Höhe von -16 Mio. t CO_2-Äq. im Jahr 2040 und -18 Mio. t CO_2-Äq. im Jahr 2045 erzielt werden (siehe Tabelle 10). Diese Maßnahme wurde jedoch nicht direkt bei der Berechnung der Vermeidungskostenkurve berücksichtigt (siehe Erläuterung in Kapitel 3.7), sondern nur vereinfacht hergeleitet und dargestellt. Die Abschätzung deutet jedoch auf vergleichsweise geringe Kosten hin, sodass das Potenzial der Kostenklasse von unter 60 Euro/t CO_2-Äq. zugeordnet wurde. Daher wird der Holzproduktespeicher im Folgenden auch nur informative ausgewiesen und nicht bei allen Betrachtungen berücksichtigt. Die verbleibende Lücke wird in dieser Analyse durch die Einbeziehung der mit THG-Kosten bewerteten Maßnahmen geschlossen. Die berechnete THG-Vermeidungskostenkurve bildet das gesamte THG-Vermeidungspotenzial entsprechend der getroffenen Annahmen für die Maßnahmen Moorwiedervernässung, Etablierung Gehölzstrukturen, Schaffung zusätzlicher Waldflächen und die Anpassung der Waldbewirtschaftung ab und zeigt ein THG-Vermeidungspotenzial im LULUCF-Sektor in Höhe von -66,2 Mio. t CO_2-Äq.. Zur Schließung der verbleibenden Lücke unter Berücksichtigung des Holzproduktespeichers muss damit nicht das gesamte THG-Vermeidungspotenzial der Maßnahmen ausgeschöpft werden.

Im MMS des Projektionsberichts 2025 wurden bereits Maßnahmen zur Wiedervernässung der Moorstandorte und der Etablierung von Agroforstsystemen zu einem geringen Umfang berücksichtigt. Unklar ist jedoch, an welcher Stelle diese Maßnahmen in der Kostenkurve einzuordnen wären. Da die zugrunde gelegten Annahmen nicht das gesamte Flächenpotenzial abdecken (z. B. nur 75 % der Moorflächen, nur 50 % der Betriebe bei Agroforst), wird vereinfachend angenommen, dass diese Maßnahmen zusätzlich zu dem hier ausgewiesenen Potenzial umgesetzt werden.

3.8.2 Ergebnisse

Durch die Umsetzung der betrachteten LULUCF-Maßnahmen (ohne den Holzproduktespeicher) kann bis zum Jahr 2045 eine jährliche THG-Vermeidung von bis zu -71,8 Mio.t CO_2-Äq. erreicht werden. Davon werden rund -66,2 Mio. t CO_2-Äq. (92 %) im LULUCF-Sektor und -5,6 Mio. t CO_2-Äq. durch den Wegfall der Düngung, den Stopp der Mineralisierung der Böden, aber auch durch eine Reduktion der Rinderbestände in Betrieben auf Moorstandorten mit mehr als 1,3 GVE/ha Betriebsfläche im Landwirtschaftssektor erzielt. Unter Einbeziehung des Ausbaus des Holzproduktespeichers mit einem zusätzlichen Potenzial von bis zu -18 Mio. t CO_2-Äq. bis 2045 ergibt sich für den LULUCF-Sektor ein Gesamtpotenzial von rund -84 Mio. t CO_2-Äq.. Die größten Beiträge leisten die Wiedervernässung landwirtschaftlich genutzter Moorstandorte, die Anpassung der Waldbewirtschaftung und der Ausbau des Holzproduktespeichers.

Die THG-Vermeidungskosten aller betrachteten Maßnahmen liegen zwischen 10,4 und 300 Euro/t CO_2-Äq., wenn die THG-Vermeidung im LULUCF- und im Landwirtschaftssektor berücksichtigt wird. Für unter 30 Euro/ t CO_2-Äq. lassen sich rund -13,4 Mio. t CO_2-Äq. vermeiden und damit ca. 19 % des gesamten Potenzials in Höhe von -71,8 Mio. t CO_2-Äq. (ohne Holzprodukte). Das größte THG-Vermeidungspotenzial liegt mit -34 Mio. t CO_2-Äq. zwischen 30 und 60 Euro/t CO_2-Äq.. Für THG-Kosten zwischen 60 und 100 Euro/t CO_2-Äq. liegt das Vermeidungspotenzial bei ca. -13,9 Mio. t CO_2-Äq. und beträgt damit 19 % des gesamten Vermeidungspotenzials. Die letzten verbleibenden 15 % der THG-Einsparungen in Höhe von

-10,5 Mio. t CO_2-Äq. verursachen höhere Kosten zwischen 100 und 300 Euro/t CO_2-Äq. (siehe Abbildung 10). Die Gesamtkosten zur Umsetzung aller Maßnahmen liegen inklusive der Anpassung der Waldbewirtschaftung (ohne Holzproduktespeicher) bei rund 109 Mrd. Euro. Die folgende Tabelle bietet eine Übersicht über die einzelnen Maßnahmen einschließlich Flächenbedarf, THG-Vermeidungspotenzial, THG-Vermeidungskosten und Gesamtkosten.

Tabelle 8: Überblick über die Ergebnisse der THG-Vermeidungskosten der einzelnen Maßnahmen für das ermittelte Gesamtpotenzial bis 2045

	THG-Vermeidungspotenzial	Fläche	THG-Vermeidungskosten	THG-Kosten gesamt
	Mio. t CO_2-Äq.	Mio. ha	Euro/t CO_2-Äq.	Mrd. Euro
Wiedervernässung landwirtschaftlich genutzter Moorstandorte	Gesamt: -29,4 davon LULUCF: -24,95 davon Lawi: -4,5	1,01	10,4 bis 88,5	40,5
Wiedervernässung forstwirtschaftlich genutzter Moorstandorte	Gesamt: -3,0 davon LULUCF: -3,0	0,227	12,0 bis 72,0	3,8
Etablierung von Gehölzstrukturen/Agroforst	Gesamt: -16,7 davon LULUCF: -15,7 davon Lawi: -0,9	1,16	29,6 bis 93,8	16,9
Anpassung der Waldbewirtschaftung	Gesamt: -19,5 davon LULUCF: -19,5	-	50 bis 300	38,9
Schaffung zusätzlicher Waldflächen	Gesamt: -3,2 davon LULUCF: -3,1 davon Lawi: -0,16	0,19	36,7 bis 235,4	9,1
Ausbau des Holzproduktespeichers (HWP)	Gesamt: -18 davon LULUCF: -18	-	Kosten nicht quantifizierbar, grobe Abschätzung deutet auf geringe Kosten von < 60 Euro/t CO2-Äq. hin	k.A.
Gesamt ohne Holzproduktespeicher	**Gesamt: -71,8 davon LULUCF: -66,2 davon Lawi: -5,6**	**2,6**	**10,4 bis 300**	**109,1**
Gesamt inkl. Holzproduktespeicher	**Gesamt: -89,8 davon LULUCF: -84,2 davon Lawi: -5,6**	**2,6**	**10,4 bis 300**	**Nicht vollständig quantifzierbar**

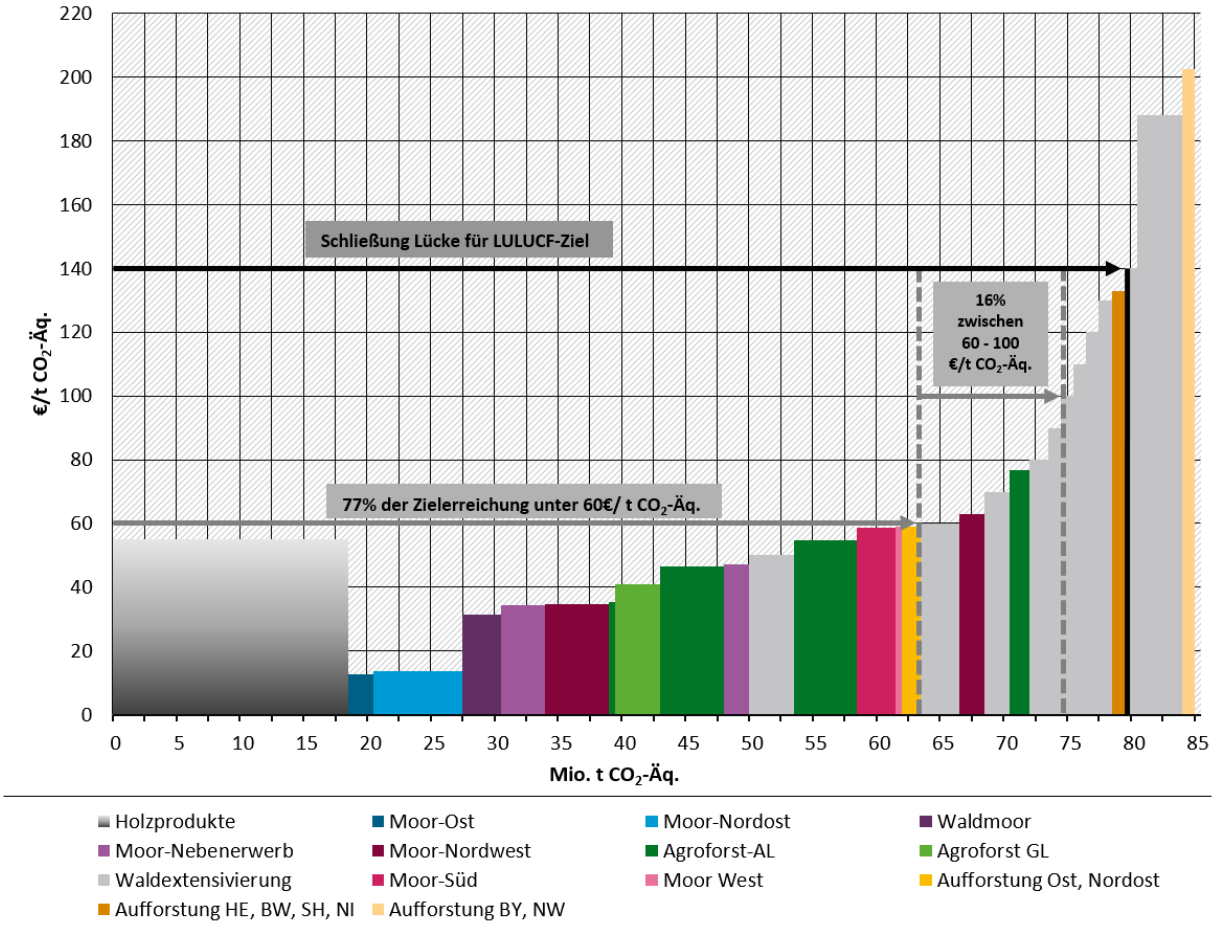
Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

Das ermittelte THG-Vermeidungspotenzial für den LULUCF-Sektor übersteigt mit -84 Mio. t CO_2-Äq. den zur Schließung der LULUCF-Ziellücke erforderlichen Umfang. Für die Zielerreichung muss daher nicht das gesamte Potenzial ausgeschöpft werden, weshalb auch nicht die vollständigen Kosten anfallen. Die Erreichung des LULUCF-Ziels bis zum Jahr 2040 ist nach den getroffenen Annahmen zu THG-Vermeidungskosten von 94 Euro/t CO_2-Äq. möglich. Dafür müssten rund 85 % des gesamten THG-Vermeidungspotenzials erschlossen werden. Die Kosten bis 2040 betragen insgesamt 76,7 Mrd. Euro. Für die Zielerreichung bis 2045 ist eine

zusätzliche THG-Vermeidung in Höhe von rund -6 Mio.t CO_2-Äq. erforderlich. Eine Bewertung der zeitlichen Umsetzbarkeit der Maßnahmen ist darin nicht enthalten. Dadurch steigen die THG-Vermeidungskosten auf 143 Euro/t CO_2-Äq. an. In diesem Fall wären rund 94 % des gesamten THG-Vermeidungspotenzials ausgeschöpft und die Kosten lägen bei 92,2 Mrd. Euro. Für die Umsetzung der Maßnahmen werden insgesamt ca. 2,3 Mio. Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche benötigt, auf denen eine Änderung der Flächennutzung erfolgt.

Die Abbildung 10 stellt nur das THG-Vermeidungspotenzial des LULUCF-Sektors inkl. dem Holzproduktespeicher dar und ordnet die THG-Vermeidungskosten in Bezug auf die LULUCF-Ziellücke ein. Etwa 77 % der LULUCF-Ziellücke kann zu Kosten von unter 60 Euro/t CO_2-Äq. erschlossen werden. Für rund 16 % der notwendigen THG-Vermeidung zur Zielerreichung liegen die Kosten zwischen 60 und 100 Euro/ t CO_2-Äq..

Abbildung 10: LULUCF-Maßnahmen zur Schließung der LULUCF-Ziellücke* in 2045 und Darstellung der THG-Vermeidungskosten



Anmerkung: Als Grundlage der Berechnungen wurde das MMS des Projektionsberichts 2025 in FABio-Land und FABio-Forest nachgebildet. Für 2045 weicht dieses Szenario um rund 2 Mio. t CO2-Äq. vom Projektionsbericht ab. Aufgrund dieser Abweichungen bei der Modellierung beträgt die erforderliche THG-Minderung zur Schließung der LULULCF-Lücke daher -79 Mio. t CO_2-Äq. statt -77 Mio. t CO_2-Äq. wie im Projektionsbericht.
Für die Darstellung wurden die insgesamt 340 Datenpunkte der THG-Vermeidungskurve anhand ihrer THG-Vermeidungskosten gewichtet und zu den einzelnen Balken zusammengefasst.
* Vergleich UBA-Projektionen 2025 gegenüber dem LULUCF-Ziel in 2045 lt. KSG
Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

Lediglich 7 % der erforderlichen THG-Vermeidung zur Zielerreichung sind mit vergleichsweise hohen THG-Vermeidungskosten zwischen 100 und 143 Euro/t CO_2-Äq. verbunden (Abbildung 10). Darüber hinaus besteht unter den getroffenen Annahmen weiteres Potenzial zur THG-Vermeidung im LULUCF-Sektor, insbesondere im Bereich der Waldbewirtschaftung. Diese sind jedoch mit höheren Kosten von bis zu 300 Euro/t CO_2-Äq. verbunden und stellen daher keine kostengünstige Option zur Zielerreichung dar.

Die Abbildung 10 bietet einen Überblick über die Potenziale in den jeweiligen Kostenspannen. Ein relevantes und kostengünstiges THG-Vermeidungspotenzial für den LULUCF-Sektor liegt mit rund -8,3 Mio. t CO_2-Äq. und THG-Vermeidungskosten unter 15 Euro/t CO_2-Äq. bei der Moorwiedervernässung von Grünlandstandorten in Betrieben im Osten und im Nordosten Deutschlands. Mit Kosten zwischen 15 und 30 Euro/t CO_2-Äq. können ca. -4 Mio. t CO_2-Äq. durch die Wiedervernässung von Waldmooren und die Wiedervernässung bewirtschafteter Moore auf Ackerland im Osten und Nordwesten erschlossen werden. Gehölzstrukturen auf Grünland und Ackerland, die Wiedervernässung von landwirtschaftlichen Moorstandorten in Nebenerwerbsbetrieben, im Nordwesten und den südlichen und westlichen Bundesländern, die Aufforstung von Ackerland im Osten und Nordosten, aber auch günstige Maßnahmen zur Waldextensivierung liefern weiteres relevantes THG-Vermeidungspotenzial in Höhe von rund -30 Mio. t CO_2-Äq. zu Kosten zwischen 30 und 60 Euro/t CO_2-Äq..

Auch der Aufbau des Holzproduktespeichers mit einem THG-Vermeidungspotenzial von bis zu -18 Mio. t CO_2-Äq. wurde der Kostenklasse von unter 60 Euro/t CO_2-Äq. zugeordnet. Für diese Maßnahmen konnten aus methodischen Gründen allerdings keine THG-Vermeidungskosten berechnet werden (siehe Kapitel 3.7), sondern es wurde nur eine grobe Abschätzung erstellt. Die Abschätzung deutet jedoch auf vergleichsweise geringe Kosten hin, sodass das Potenzial der Kostenklasse von unter 60 Euro/t CO_2-Äq. zugeordnet wurde.

Im Bereich zwischen 60 und 100 Euro/t CO_2-Äq. THG-Vermeidungskosten entfallen vor allem Maßnahmen zur Anpassung der Waldbewirtschaftung. Dazu kommen Maßnahmen zur Moorwiedervernässung in Betrieben in SH, NI, BY und NW, sowie die Etablierung von Gehölzstrukturen in eingen Betriebstypen auf Ackerland in NW, NI, BY und BW. Insgesamt liegt das THG-Vermeidungspotenzial für den LULUCF-Sektor in diesem Bereich bei -13 Mio. t CO_2-Äq..

Im Kostenbereich von über 100 Euro pro Tonne CO_2-Äq. verbleiben kostenintensive Maßnahmen bzw. Maßnahmen mit einer geringen THG-Einsparung. Dazu zählen insbesondere die Aufforstung von Ackerflächen auf teuren Standorten wie z. B. in HE, BW, SH, NI und BY, sowie Maßnahmen zur Anpassung der Waldbewirtschaftung. Das jährliche THG-Vermeidungspotenzial im LULUCF-Sektor in diesem Bereich beträgt rund -10 Mio. t CO_2-Äq.. Für die Erreichung des LULUCF-Ziels im Jahr 2045 muss allerdings nicht das gesamte Potenzial erschlossen werden. Maßnahmen mit höheren Kosten werden für die Zielerreichung daher nicht mehr benötigt, dazu zählen insbesondere Teile der Waldbewirtschaftungsmaßnahmen, sowie die Aufforstung von Ackerflächen in NW und BY.

Die Betrachtung aller Maßnahmen basiert ausschließlich auf den THG-Vermeidungskosten und berücksichtigt nicht zusätzliche Nutzen, die sich beispielsweise für die Biodiversität, den Wasserhaushalt oder andere Ökosystemleistungen ergeben können.

3.8.3 Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen das Potenzial der THG-Vermeidung durch THG-Vermeidung und den Aufbau von Senken. Ein großer Teil des THG-Potenzials kann zu Kosten von unter 60 Euro/t CO_2-Äq. erschlossen werden. Die THG-Vermeidung wird überwiegend dem LULUCF-Sektor zugerechnet (92 % der Gesamt-Vermeidung), ihre Umsetzung erfolgt jedoch zu großen

Teilen auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Damit spielt die Landwirtschaft eine zentrale Rolle für die Erreichung des LULUCF-Ziels.

Die Erschließung der THG-Vermeidungspotenziale ist mit einem hohen Finanzierungsbedarf verbunden, obwohl ein Großteil des Potenzials zu Kosten von unter 60 Euro/t CO_2-Äq. erschlossen werden kann. Werden alle betrachteten Vermeidungsoptionen attraktiv finanziert, ergibt sich ein Finanzmittelbedarf von 92 Mrd. Euro für die Zielerreichung. Ein Grund dafür ist unter anderem, dass sich die hohen THG-Vermeidungspotenziale aus der über viele Jahre hinweg kumulierten Wirkung von Senkenaufbau und vermiedenen Emissionen ergeben, während die dafür notwendigen Investitionen häufig bereits zu Beginn anfallen. Werden die Kosten der Moorwiedervernässung beispielsweise über den gesamten Wirkungszeitraum von 40 Jahren verteilt, ergeben sich jährliche Kosten in Höhe von einer Milliarde Euro pro Jahr.

Ein großer Kostenanteil entfällt auf die Kompensation von Wertverlusten durch Flächennutzungsänderungen. Betroffen wären rund 2,4 Mio. ha wovon etwa 2,3 Mio. ha landwirtschaftlicher Nutzfläche (LF) und damit in etwa 14 % der gesamten Acker- und Grünlandfläche für die LULUCF-Zielerreichung erforderlich sind. Zusätzlich spielen Ausgleichszahlungen für entgangene Nutzungserträge eine Rolle, die sich an regional und betriebsspezifischen Standarddeckungsbeiträgen orientieren. Direkte Investitionen, etwa in Moorvernässung, Aufforstung und Gehölzstrukturen, machen dagegen nur einen kleineren Teil der Gesamtkosten aus.

Insgesamt stellt die Analyse einen theoretischen THG-Vermeidungskostenpfad dar. Ob die angesetzten Preise attraktiv genug sind oder die tatsächlichen Kosten sogar überkompensieren, kann sich erst bei der praktischen Umsetzung[26] zeigen. Neben den Kosten bestimmen betriebliche Faktoren und Umsetzungshürden die Teilnahmebereitschaft. Ein schneller Hochlauf der Maßnahmen (insbesondere der Moorvernässung und der Etablierung von Gehölzstrukturen) ist daher nicht allein durch günstige THG-Vermeidungskosten gesichert. Die Ergebnisse liefern eine erste Orientierung zur Höhe der erforderlichen Finanzmittel bzw. dem Marktvolumen und den THG-Preisen, wenn freiwillige Kohlenstoffmärkte stärker etabliert werden.

[26] Z. B. durch Nachfrage nach Fördermitteln aus der Palu-Richtlinie.

4 Kostenbasiertes LULUCF-Zielszenario

4.1 Allgemein

In diesem Kapitel wird auf Grundlage der maßnahmenspezifischen THG-Vermeidungskostenkurven ein kostenbasiertes LULUCF-Zielszenario (im folgenden THG-Kosten-Szenario) für LULUCF-Maßnahmen abgeleitet. Das Szenario dient dazu, die oben abgeleiteten Ergebnisse nochmal in ein geschlossenes Szenario zu integrieren. Damit soll unter anderem geprüft werden, ob die Kenntnis über maßnahmenspezifische THG-Vermeidungskosten zu Verschiebungen in der Auswahl und Gewichtung der Maßnahmenoptionen zur Zielerreichung im LULUCF-Sektor führt und ob sich dadurch Unterschiede ggü. anderen Zielerreichungsszenarien wie beispielsweise dem CARETarget-Szenario (Harthan et al. 2026) ergeben. Für den Landwirtschaftssektor kann über das Szenario der Einfluss der LULUCF-Maßnahmen auf die Zielerreichung des Landwirtschaftssektors ermittelt werden und es können die Auswirkungen auf die Entwicklung der Aktivitätsdaten (z. B. Stickstoffeinsätze und Tierbestände) abgebildet werden. Den Rahmen des Szenarios bildet die Erfüllung des LULUCF-Ziels aus dem § 3a des KSG für die Jahre 2040 und 2045. Bis zum Jahr 2030 orientiert sich das Szenario an den Ergebnissen des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios (MWMS) des Projektionsberichts 2025 (Förster et al., 2025) und übernimmt die dort hinterlegten Maßnahmen und Instrumente. Für die Jahre nach 2030 wird der Großteil der Annahmen und Instrumente wie im MWMS fortgeschrieben. Abweichend davon wird die Umsetzung der in den THG-Vermeidungskosten berücksichtigten LULUCF-Maßnahmen wie Moorvernässung, Waldbewirtschaftung etc. über einen attraktiven THG-Preis abgebildet. Dieser THG-Preis entspricht den zuvor berechneten maßnahmenspezifischen THG-Vermeidungskosten. Das MWMS berücksichtigt bereits Maßnahmen zur Moorvernässung, Etablierung von Agroforst und weitere LULUCF-Maßnahmen. Diese reichen jedoch nicht aus, um die LULUCF-Ziele zu erreichen und es verbleibt weiterhin eine erhebliche Ziellücke.

Für die Berechnung des Szenarios wurde das MWMS mit den Öko-Institut-Modellen LiSE, FABio-Forest und FABio-Land nachgebildet, welches im Projektionsbericht 2025 das Thünen-Institut für beide Landsektoren erstellt hat. Durch die Verwendung unterschiedlicher Modelle in dieser Analyse und im Projektionsbericht gibt es leichte Unterschiede zwischen den Ergebnissen des MWMS in den beiden Studien[27] (siehe für LULUCF Kapitel B.1.1 im Anhang).

Das kostenbasierte LULUCF-Zielszenario verfolgt den Grundgedanken, die kostengünstigsten und leistungsfähigsten Maßnahmen in den Landsektoren umzusetzen. Hierfür baut das Szenario auf den zuvor berechneten THG-Vermeidungskostenkurven auf. Der Fokus liegt auf dem LULUCF-Sektor und dessen Zielerreichung für die Jahre 2040 und 2045. Da ein Großteil der Maßnahmen aber auf der landwirtschaftlichen Fläche umgesetzt wird, ist auch der Landwirtschaftssektor betroffen. Daher werden auch die Auswirkungen der LULUCF-Maßnahmen auf die THG-Emissionen, die Tierbestände und die Stickstoffeinsätze im Landwirtschaftssektor modelliert.

[27] Für den Landwirtschaftssektor sind die Unterschiede zwischen den Modellergebnissen gering. Für das Jahr 2045 liegen die THG-Emissionen für das MWMS des LISE-Modells 0,1 Mio.t CO_2-Äq. über dem des Projektionsberichts, was einer Abweichung von 1 % entspricht.

Da nur ein Teil der LULUCF-Quellgruppen über die THG-Vermeidungskosten modelliert wird, werden für alle weiteren Quellgruppen die Einstellungen[28] aus der Modellierung des MWMS in FABio-Land übernommen (siehe Abschnitt B.1.1). Dazu zählen:

- Waldboden (mineralisch und organisch), Totholz und Streu im Wald
- Acker- und Grünland auf mineralischen Böden
- Gehölze als Teil des Grünlands
- Feuchtgebiete ohne die wiedervernässten Flächen
- Siedlungen

Für diese Quellgruppen wird die Flächendynamik aus dem Jahr 2023 fortgeschrieben und als Emissionsfaktor der Mittelwert der Jahre 2014 bis 2023 angenommen (siehe CRT-Tabellen zum THG-Inventar).

Nur die Entwicklung des Holzproduktespeichers wird auf Grund seiner Relevanz in Bezug auf die LULUCF-Ziele aus dem CARETarget-Szenario fortgeschrieben. Diese Abbildung wurde gewählt, da die THG-Vermeidungskosten für Holzprodukte sehr niedrig sind und weniger der THG-Preis, sondern deutlich stärker der zeitliche Hochlauf stofflicher Produktionspfade die Entwicklung beeinflussen (siehe Kapitel 3.7).

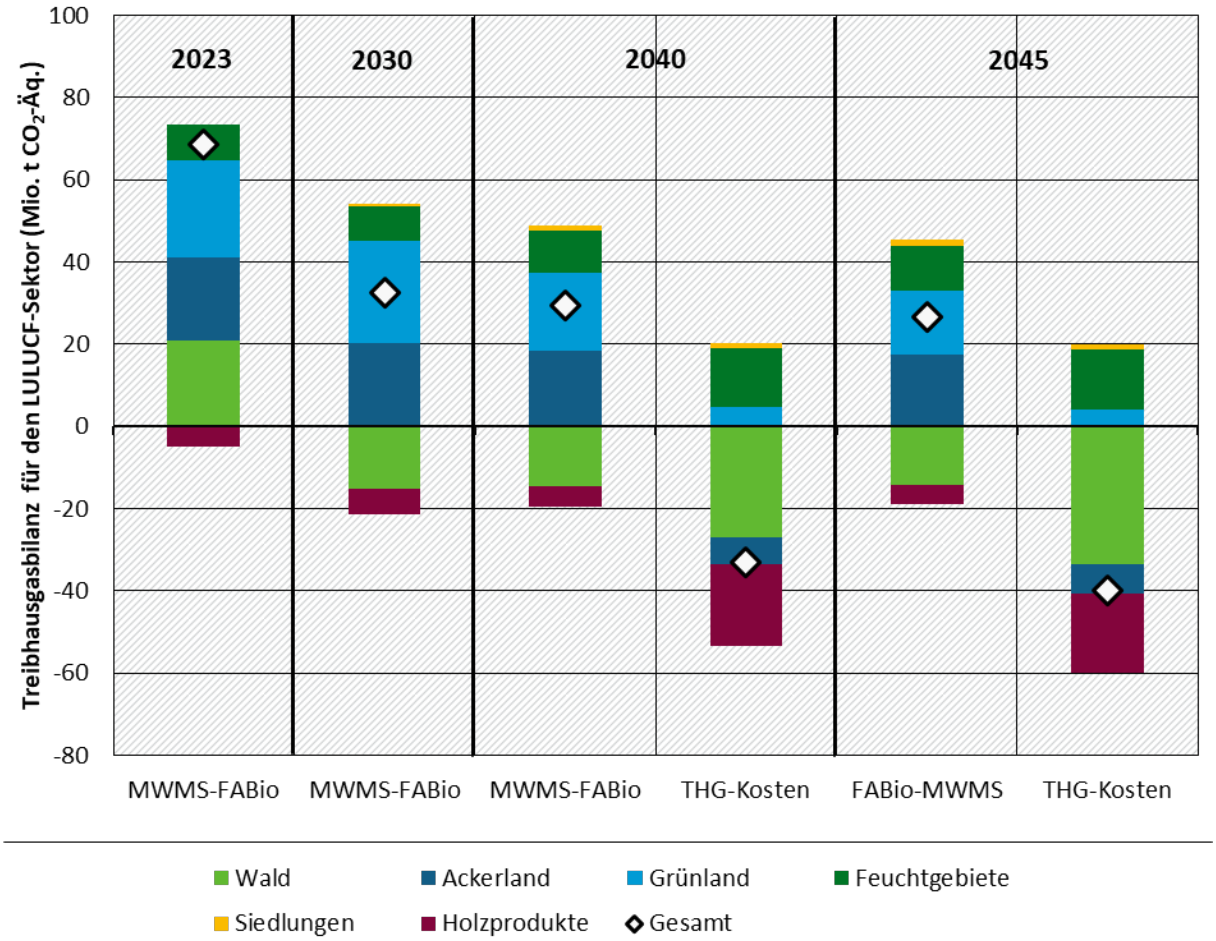
4.2 LULUCF

4.2.1 Ergebnisse

Im KSG wird verlangt, dass die THG-Bilanz für den LULUCF-Sektor im Jahr 2030 mindestens -25 Mio. t CO_2-Äq., im Jahr 2040 -35 Mio. t CO_2-Äq. und im Jahr 2045 -40 Mio. t CO_2-Äq. erreicht. Mit den im MWMS angenommenen LULUCF-Maßnahmen wird aber eine THG-Bilanz für den LULUCF-Sektor von knapp 30 Mio. t CO_2-Äq. im Jahr 2045 in FABio-Land modelliert (Abbildung 11 und Tabelle 9, siehe auch Abschnitt B.1.1). Damit wird im Jahr 2045 das Klimaschutzziel um -70 Mio. t CO_2-Äq. verfehlt.

[28] Trotz gleicher Einstellungen für diese Quellgruppen entwickeln sich aber im THG-Kostenszenario gegenüber dem MMS aufgrund der dynamischen Wechselwirkungen zwischen den unterschiedlichen Landnutzungstypen abweichende Flächenkulissen und THG-Bilanzen.

Abbildung 11: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor LULUCF im THG-Kosten-Szenario und dem Szenario MWMS, 2023-2045



PB25 = Projektionsbericht 2025, MWMS (2025) = Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario, mit dem FABio-Modell nachgebildet
Quelle: Förster et al. (2025), Modellrechnungen Öko-Institut

Tabelle 9: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im LULUCF-Sektor im THG-Kosten-Szenario, 2023-2045, in Mio. t CO_2-Äq.

Kategorie	2023	2030	2040	2045
Wald	20,9	-15,2	-27,1	-33,5
Ackerland	20,0	20,4	-6,4	-7,1
Grünland	23,7	24,6	4,6	4,1
Feuchtgebiete	8,8	8,5	14,3	14,6
Siedlungen	-0,2	0,5	1,3	1,4
Holzprodukte	-4,6	-6,2	-19,8	-19,3
LULUCF Gesamt	**68,7**	**32,6**	**-33,0**	**-39,8**

Quelle: Förster et al. (2025), Modellrechnungen Öko-Institut

Unter Annahme eines Anstiegs der THG-Vermeidungskosten im Jahr 2045 auf bis zu 143 Euro/t CO_2-Äq. wird im THG-Kostenszenario eine umfangreiche THG-Vermeidung angereizt,

die ausreicht, um das LULUCF-Ziel nach KSG zu erfüllen. Der größte Anteil der THG-Vermeidung wird im THG-Kosten-Szenario auf landwirtschaftlichen Flächen erreicht (Tabelle 9 und Tabelle 10). So werden durch die Wiedervernässung von Moorstandorten unter Acker- und Grünland auf 1,01 Mio. ha die THG-Emissionen ab dem Jahr 2040 um -24,9 Mio. t CO_2-Äq. gemindert. Mit der Anlage von Agroforst auf Acker- und Grünland auf 1,16 Mio. ha wird eine Senkenleistung von -15,7 Mio. t CO_2-Äq. erzielt. Auf den bestehenden Waldflächen wird die Senkenleistung durch die Anpassung des Waldmanagements bis zum Jahr 2045 um -16,2 Mio. t CO_2-Äq. erhöht. Dazu wird die Laubholzentnahme um 8 Mio. m^3 reduziert. Hinzu kommt eine CO_2-Einbindung von -1,5 Mio. t CO_2-Äq. auf neuen Waldflächen (0,09 Mio. Hektar) und eine THG-Vermeidung von -3 Mio. t CO_2-Äq. durch die Wiedervernässung von Moorstandorten unter Wald (0,23 Mio. Hektar). Zudem wird bis zum Jahr 2045 eine deutliche Steigerung des Zuflusses in den Holzproduktspeicher um 22,65 Mio. m^3 gegenüber historischen Werten in Anlehnung an das Szenario CARETarget abgebildet und eine THG-Vermeidung um -17,9 Mio. t CO_2-Äq. erreicht. Mit diesen THG-Vermeidungskosten-getriebenen Maßnahmen beläuft sich die THG-Vermeidung im THG-Kosten-Szenario in Summe auf -71,0 Mio. t CO_2-Äq. im Jahr 2040 und auf -79,3 Mio. t CO_2-Äq. im Jahr 2045 (Tabelle 9 und Tabelle 10).

Tabelle 10: THG-Vermeidung im LULUCF-Sektor im THG-Kosten-Szenario, 2040 und 2045, in Mio.t CO_2-Äq.

Kategorie		2040	2045
Wiedervernässung von Moorstandorten unter…	…Ackerland	-7,4	-7,4
	…Grünland	-17,6	-17,6
	…Wald	-3,0	-3,0
Etablierung von Agroforst/Gehölzstreifen auf…	…Ackerland	-12,2	-12,2
	…Grünland	-3,5	-3,5
Anpassung der Waldbewirtschaftung…	…Reduzierung der Laubholzentnahme	-7,8	-10,2
	…Erhöhung der Mortalitätsholzentnahme	-2,13	-6,0
Schaffung zusätzlicher Waldflächen		-1,1	-1,5
Entwicklung des Holzproduktspeichers*		-16,3	-17,9
Summe		**-71,0**	**-79,3**

*Annahmen und Berechnungen wurden aus dem Szenario CARETarget übernommen (Harthan et al. 2026, siehe Abschnitt 3.7). Für die Berechnungen wurde in FABio-Land das MMS nachgestellt, gegenüber dem die nötige THG-Minderung bilanziert wurde. Das MMS-FABio zeigt gegenüber den Berechnungen im Projektionsbericht eine Abweichung von ca. 2 Mio. t CO_2-Äq. im Jahr 2045, so dass zum Erreichen des THG-Ziels von -40 Mio. t CO_2-Äq. im Jahr 2045 im THG-Kosten-Szenario eine THG-Minderung von -79 Mio. t CO_2-Äq. benötigt wird. Entsprechend weicht dieser Wert vom THG-Minderungsziel im KSPr-2026 von -77 Mio. t CO_2-Äq. ab.

Quelle: UBA (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut

Tabelle 11: Entwicklung von Flächen und Holzentnahme/-verwendung, THG-Kosten-Szenario, 2040 und 2045,

Kategorie		2040	2045
Wiedervernässung von Moorstandorten unter…	…Ackerland (ha)	287.147	287.147
	…Grünland (ha)	727.277	727.277
	…Wald (ha)	227.275	227.275
Etablierung von Agroforst/Gehölzstreifen auf…	…Ackerland (ha)	838.297	838.297
	…Grünland (ha)	318.164	318.164
Anpassung der Waldbewirtschaftung…	…Reduzierung der Laubholzentnahme (Mio. m³)	5,3	8,0
	…Erhöhung der Mortalitäts-holzentnahme	Steigerung um 33 %	Steigerung um 80 %
Schaffung zusätzlicher Waldflächen (ha)		61.628	92.337
Zusätzlicher Zufluss in den Holzproduktspeicher* (Mio. m³)		18,75	22,65

Anmerkungen: *Annahmen und Berechnungen wurden aus den Szenario CARETarget übernommen (Harthan et al. 2026, siehe Abschnitt 3.7).
Quelle: Modellrechnungen Öko-Institut

4.2.2 Diskussion

Die Ergebnisse des kostenbasierten LULUCF-Zielszenarios zeigen, dass mit einem moderaten Anstieg des THG-Vermeidungspreises für LULUCF-Maßnahmen für das Jahr 2045 auf 143 Euro/t CO_2-Äq. die LULUCF-Ziele des KSG erreicht werden können. Zudem werden kostenbedingte Verschiebungen in der Maßnahmenauswahl gegenüber anderen Zielerreichungs-Szenarien deutlich und im Folgenden dargestellt. Im Projektionsbericht 2026 (Förster et al., 2026) wird für Emissionsberechtigungen im Europäischen Emissionshandelssystem für Treibhausgase (EU-ETS1) im Jahr 2045 ein THG-Preis von 187 Euro/t CO_2-Äq. angenommen. Für die Entwicklung der THG-Bepreisung in den Sektoren Wärme und Verkehr wird im Jahr 2045 ein Wert von 224 Euro/t CO_2-Äq. hinterlegt. Dieser Vergleich zeigt, dass die THG-Vermeidungskosten für Maßnahmen im Natürlichen Klimaschutz vergleichsweise kostengünstig sind, insbesondere dann, wenn deren positive Synergieeffekte auf die Schutzgüter wie Biodiversität, Boden und Wasser mitberücksichtigt werden (Böttcher et al., 2026; BMUKN, 2025).

Im MWMS sind die Sektoren Landwirtschaft und LULUCF nicht an eine THG-Bepreisung gekoppelt, da ein derartiger Mechanismus nicht implementiert und nicht in Planung ist. Um aber einen kosteneffizienten Klimaschutz und gleichzeitig das LULUCF-Ziel im KSG zu erreichen, erscheint eine Vergütung/Honorierung der THG-Vermeidung bzw. Senkenleistung oder eine THG-Bepreisung sinnvoll. Für die Wiedervernässung von Moorböden liegen z. B. mit dem Zertifikatesystem MoorFutures[29] Erfahrungen mit der CO_2-Vergütung vor. Herausforderungen in der Umsetzung können aber bei anderen Maßnahmen auftreten wie z. B. bei der Messung von CO_2-Einbindung auf Waldflächen durch die Reduktion der Holzentnahme (Böttcher et al., 2022) oder bei der Etablierung von ökonomischen Steuerinstrumenten im verwobenen Holzmarkt, die vorteilhaft auf eine stoffliche Holznutzung und nachteilig auf eine Energieholznutzung wirken.

[29] https://www.moorfutures.de/

Das Zielszenario CARETarget (Harthan et al. 2026) erreicht eine hohe THG-Vermeidung im LULUCF-Sektor, ohne die Maßnahmen mit THG-Kosten zu verknüpfen. Vielmehr liegt dem Umsetzungsumfang der Maßnahmen eine Expertenschätzung zugrunde. Da die Sektoren Landwirtschaft und LULUCF in CARETarget ebenfalls mit dem FABio-Modellverbund gerechnet wurden, kann sehr gut verglichen werden, in welchem Umfang Maßnahmen in den beiden Szenarien zur Zielerreichung beitragen:

- Wiedervernässung:
  - In CARETarget wurden im Jahr 2045 1,10 Mio. ha an Acker- und Grünland auf organischen Böden wiedervernässt. Dieser Wert ist sehr vergleichbar zu der wiedervernässten Fläche im THG-Kosten-Szenario von 1,01 Mio. ha. Im THG-Kosten-Szenario wurden aber höhere Wasserstände angenommen, so dass die THG-Vermeidung mit -24,9 Mio. t CO_2-Äq. etwas höher ausfällt als in CARETarget mit -23,2 Mio. t CO_2-Äq..
  - In CARETarget wurden keine Waldflächen auf organischen Böden vernässt.
- Anlage von Agroforst/Gehölzstreifen: In CARETarget wurde mit dieser Maßnahme auf 1,06 Mio. ha eine Senkenleistung von -14,8 Mio. t CO_2-Äq. modelliert. Im THG-Kosten-Szenario lagen die Werte mit 1,16 Mio. ha und -15,7 Mio. t CO_2-Äq. leicht höher.
- Änderung der Waldbewirtschaftung: In CARETarget wurde die Laubholzentnahme bis zum Jahr 2045 um 4,2 Mio. m^3 reduziert und die Entnahmerate für Mortalitätsholz wurde von 60 % für Stammholz und 30 % für Industrieholz auf 90 % für Stammholz und 60 % für Industrieholz erhöht. Damit wurde die Senkenleistung der Waldfläche um -13,6 Mio. t CO_2-Äq. verbessert. Im THG-Kosten-Szenario wurde die Entnahmerate für Mortalitätsholz gegenüber CARETarget nur um 80 % erhöht. Die Laubholzentnahme wurde bis zum Jahr 2045 um 8,0 Mio. m^3 reduziert. In Summe wird im THG-Kosten-Szenario für die Änderung der Waldbewirtschaftung eine zusätzliche Senkenleistung von -16,2 Mio. t CO_2-Äq. erreicht.
- Schaffung zusätzlicher Waldflächen: In CARETarget wurde bis zum Jahr 2045 mit der Waldmehrung auf 160.000 ha eine Senkenleistung von -2,7 Mio. t CO_2-Äq. modelliert. Im THG-Kosten-Szenario fiel die zusätzliche Waldfläche mit 92.337 ha sowie die Senkenleistung von -1,5 Mio. t CO_2-Äq. niedriger aus.
- Holzproduktspeicher: An dieser Stelle wurden die Werte aus CARETarget in das THG-Kosten-Szenario übernommen.

Der Vergleich der beiden Zielszenarien CARETarget und THG-Kosten-Szenario zeigt, dass für die Maßnahmen Wiedervernässung und Anlage von Agroforst vergleichbare Flächenkulissen und THG-Vermeidung erreicht werden. Für die Änderung der Waldbewirtschaftung erscheint es im THG-Kosten-Szenario aber kostengünstiger, mehr Laubholz im Wald zu belassen, um die Waldsenke aufzubauen, und dafür weniger zusätzliche Waldfläche auf Ackerflächen zu schaffen.

4.3 Landwirtschaft

4.3.1 THG-Emissionen

Für den Landwirtschaftssektor bildet das kostenbasierte LULUCF-Zielszenario Auswirkungen der LULUCF-Maßnahmen auf Zielerreichungen und Aktivitätsdaten ab. Im Szenario sinken die Treibhausgasemissionen im Sektor Landwirtschaft von 54,8 Mio. t CO_2-Äq. im Jahr 2023 auf 43,0 Mio. t CO_2-Äq. im Jahr 2045 (Abbildung 12). Das entspricht einem Rückgang von -22 % ggü.

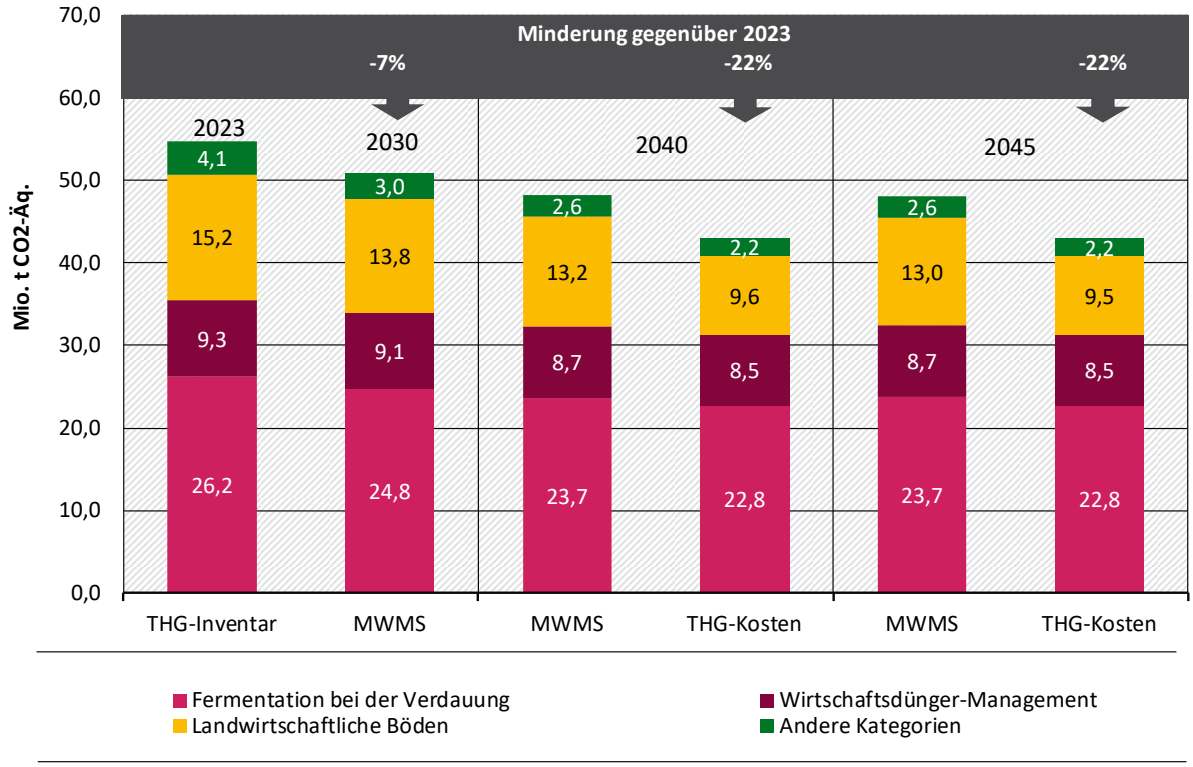
2023, ggü. 1990 liegt der Rückgang der Treibhausgasemissionen bei -41 %. Für das Jahr 2040 liegen die Emissionen in gleicher Höhe, da die LULUCF-Maßnahmen, die auf landwirtschaftlichen Flächen umgesetzt werden, zu den günstigen Maßnahmen zählen und damit bereits bis 2040 umgesetzt sein müssen, um das KSG-Ziel zu erreichen. Ein Großteil des Rückgangs von rund -6,7 Mio. t CO_2-Äq. ergibt sich bereits aus den Annahmen des MWMS 2025, insbesondere aus sinkenden Tierbeständen, einem geringeren Energiepflanzeneinsatz, der Ausweitung des Ökolandbaus sowie einem reduzierten Düngemitteleinsatz infolge höherer Düngemittelpreise durch den CO_2-Grenzausgleichsmechanismus (CBAM). Zusätzlich berücksichtigt das MWMS die THG-Vermeidung durch die Wiedervernässung von Moorstandorten.

Im THG-Kosten-Szenario liegen die THG-Emissionen der Landwirtschaft im Jahr 2045 um rund -5,1 Mio.t CO_2-Äq. unter dem Niveau des MWMS. Dies entspricht einer Minderung von ca. 11 % und ist auf die zusätzlich umgesetzten Maßnahmen zur Erreichung des LULUCF-Ziels zurückführen. Für das Jahr 2040 fällt der Rückgang ggü. dem MWMS mit -5,2 Mio. t CO_2-Äq. etwas höher aus, da die THG-Emissionen im MWMS noch über dem Niveau von 2040 liegen. Im THG-Kosten-Szenario ist die zusätzliche THG-Vermeidung nahezu vollständig bis 2040 erreicht.

Der Rückgang gegenüber dem MWMS ist auf die THG-Vermeidungswirkungen zurückzuführen, die durch die Umsetzung weiterer LULUCF-Maßnahmen auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche entstehen. Landwirtschaftliche Nutzfläche wird vor allem für die Wiedervernässung der Moorstandorte, die Etablierung von Gehölzstrukturen/Agroforstsystemen, aber auch die Aufforstung von landwirtschaftlicher Nutzfläche benötigt. Auf diesen Flächen werden die THG-Emissionen aus unterschiedlichen Quellkategorien eingespart. Dazu zählen die N_2O-Emissionen aus trockengelegten Moorstandorten, die N_2O-Emissionen aus der Düngung sowie die CO_2-Emissionen aus der Kalkung und aus der Aufbringung von Harnstoffdünger. Daneben wird auch der Rückgang der Tierbestände in den Moorregionen in Betrieben mit > 1,3 GVE pro Hektar (ha) um 1 GVE/ha berücksichtigt. Damit sinken auch die THG-Emissionen aus der enterischen Verdauung, dem Wirtschaftsdüngermanagement, sowie die N_2O-Emissionen aus der Wirtschaftsdüngerausbringung und dem Weidegang.

Durch den Einsatz von Minderungstechnologien wie der Wirtschaftsdüngervergärung oder Zusatzstoffen im Tierfutter und in Düngemitteln können die Treibhausgasemissionen der landwirtschaftlichen Produktion weiter gesenkt werden. Diese sind in dieser Darstellung allerdings nicht berücksichtigt, werden aber in Kapitel 4.3.5 dargestellt.

Abbildung 12: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Landwirtschaft im THG-Kosten-Szenario und dem Szenario MWMS, 2023-2045



Quelle: UBA (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut

Tabelle 12 zeigt eine detaillierte Entwicklung der Emissionen für das THG-Kosten-Szenario. Den stärksten Rückgang verzeichnen die N_2O-Emissionen aus den landwirtschaftlichen Böden. Bis zum Jahr 2045 sinken diese Emissionen um -5,6 Mio. t CO_2-Äq. Diese sind zum einen auf die im MWMS hinterlegten Annahmen zu Düngemittelpreisen und den Ausbau des Ökolandbaus zurückzuführen, aber auch auf die weitere Reduktion der Düngemittel und der N_2O-Emissionen aus Moorstandorten durch die Umsetzung der LULUCF-Maßnahmen. Die direkten Emissionen aus der Tierhaltung sinken um -4,3 Mio. t CO_2-Äq. bis 2045 vor allem durch die im MWMS des Projektionsberichts 2025 hinterlegten Annahmen zur Entwicklung der Tierbestände (-3,2 Mio. t CO_2-Äq.), aber auch durch die Abstockung von Tierbeständen in Moorregionen (-1,1 Mio. t CO_2-Äq., siehe Tabelle 12).

Tabelle 12: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Landwirtschaft im THG-Kosten-Szenario, 2023-2045, in Mio.t CO_2-Äq.

Kategorie	2023	2030	2040	2045
Fermentation bei der Verdauung	26,2	24,8	22,8	22,8
Wirtschaftsdünger-Lagerung ("Düngerwirtschaft")	9,3	9,1	8,5	8,5
Landwirtschaftliche Böden	15,2	13,8	9,6	9,5
Kalkung	2,0	1,9	1,5	1,5
Harnstoffanwendung	0,4	0,4	0,2	0,2
Andere kohlenstoffhaltige Dünger	0,1	0,2	0,1	0,1

Kategorie	2023	2030	2040	2045
Andere (Emissionen aus Biogas-Gärresten)	1,6	6,4	0,3	0,3
Gesamt	**54,8**	**50,9**	**43,0**	**43,0**
Minderung gegenüber 1990	*-25 %*	*-31 %*	*-41 %*	*-41 %*

Quelle: UBA (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut

Die folgende Tabelle 13 zeigt die THG-Vermeidungswirkungen, die im Landwirtschaftssektor resultieren und auf die Umsetzung von LULUCF-Maßnahmen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen zurückzuführen sind. Die Darstellung enthält auch die im MWMS nach 2030 berücksichtigten LULUCF-Maßnahmen wie die Moorvernässung. Die größte THG-Vermeidungswirkung ist mit -2,7 Mio. t CO_2-Äq. auf die Einsparung der N_2O-Emissionen der drainierten Moorstandorte durch die Wiedervernässung zurückzuführen. Weitere wesentliche THG-Minderungen in Höhe von -2,5 Mio. t CO_2-Äq. resultieren aus der Einsparung von Düngemitteln und der Reduktion der Tierbestände.

Tabelle 13: THG-Minderung im Landwirtschaftssektor durch die Umsetzung der LULUCF-Maßnahmen im Jahr 2045 in Mio. t CO_2-Äq.

	THG-Vermeidung
Gesamt	**-5,6**
Reduktion Tierbestände (CH_4, N_2O aus Verdauung und Wirtschaftsdüngermanagement)	-1,1
N_2O-Emissionen aus Moorstandorten	-2,7
N_2O-Emissionen aus der Düngung	-1,4
CO_2-Emissionen aus Harnstoffausbringung und Kalkung	-0,5

Anmerkung: THG-Vermeidungen aus der Reduktion von Wirtschaftsdüngern und Weide in Folge reduzierter Tierbestände sind unter N_2O-Emissionen aus der Düngung berücksichtigt.
Quelle: Modellrechnungen Öko-Institut

4.3.2 Flächenentwicklung

Tabelle 14 zeigt die Entwicklung der Flächennutzung für die extensiven Bewirtschaftungsformen im THG-Kosten-Szenario. Die Ökolandbau- und Brachflächen wurden aus dem MWMS des Projektionsberichts 2025 übernommen. Auch die Entwicklung der Gehölzflächen und der wiedervernässten Moorstandorte bis zum Jahr 2030 wurden aus den Angaben des MWMS abgeleitet. Für die Jahre 2040 und 2045 werden zusätzliche Flächen für die Etablierung der Gehölzstreifen, die Wiedervernässung der Moorstandorte sowie Flächen für die Aufforstung benötigt, um das LULUCF-Ziel zu erreichen. Zur Umsetzung des LULUCF-Ziels werden ca. 2,3 Mio. ha landwirtschaftliche Nutzfläche benötigt. Das entspricht einem Anteil von 14 % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche (LF). Auf diesen Flächen ist die landwirtschaftliche Nutzung in der bisherigen Form nicht mehr möglich. Allerdings können neue Bewirtschaftungsformen wie die Etablierung von Paludikulturen für die energetische und stoffliche Nutzung oder die Anlage von Werthölzern oder Obstbäumen und Sträuchern zur Diversifizierung der Produktion beitragen. Gleichzeitig tragen sie zur Sicherung der Biodiversität bei und fördern die Anpassung an den Klimawandel, etwa durch verbesserten Wasserrückhalt oder mikroklimatische Effekte.

Tabelle 14: Entwicklung der Flächennutzung im THG-Kosten-Szenario, 2023-2045, in Mio. ha

	2023	2030	2040	2045
Landwirtschaftliche Nutzfläche	**16,5**	**16,4**	**16,2**	**16,2**
Ökolandbau	1,9	2,9	2,9	2,9
Brachfläche etc.	0,4	0,5	0,6	0,6
Gehölzstreifen/Agroforst	k. A.	0,02	1,16	1,16
Wiedervernässte Moore	k. A.	0,1	1,01	1,01
Fläche für Aufforstung	k. A.	k. A.	0,08	0,14
Fläche LULUCF-Maßnahmen	**k. A.**	**0,12**	**2,25**	**2,31**

k. A. = keine Angabe

Quelle: Statistisches Bundesamt (2025), Modellrechnungen Öko-Institut

4.3.3 Tierbestände

Die Entwicklung der Tierbestände im THG-Kosten-Szenario erfolgt in Anlehnung an das MWMS des Projektionsberichts 2025. Für Schweine- und Geflügelbestände werden die Tierzahlen für die gesamte Zeitreihe aus dem MWMS übernommen. Das THG-Kosten-Szenario berücksichtigt nach 2030 die Abstockung von Milchkühen und sonstigen Rindern in Moorregionen in Betrieben mit mehr als 1,3 GVE pro Hektar.

Nach der Zuordnung der Betriebstypen zu Moorstandorten (siehe Methodik im Anhang A.1.1) werden ca. 25 % des gesamten Rinderbestandes (inkl. Milchkühe) in den Moorregionen gehalten. Durch die Annahme zur Abstockung der Tierbestände (siehe Kapitel 3.2) werden ca. 180.000 Milchkühe und ca. 164.000 sonstige Rinder abgestockt. Das entspricht einem GVE pro Hektar wiedervernässter Fläche in Betrieben mit mehr als 1,3 GVE pro Hektar. Bezogen auf den gesamten heutigen Milchvieh- und Rinderbestand entspricht die Abstockung der Milchkühe und sonstigen Rinder in den Moorgebieten 5 % bzw. 2 %. Berücksichtigt man lediglich den Tierbestand in den Moorregionen, entspricht die Abstockung ca. 13 % des gesamten Rinderbestands in den Moorgebieten. Durch die großflächige Wiedervernässung geht allerdings mehr Futterfläche verloren, als durch die Reduktion des Tierbestands frei wird. Diese muss durch Importe aus anderen Regionen ersetzt werden. Damit können auch Verlagerungseffekte (Leckage-Effekte) verbunden sein, wenn die Produktion an anderer Stelle intensiviert wird. Da der Fokus der Analyse auf der Ermittlung der THG-Vermeidungskosten lag, konnten die Leckage-Effekte im Rahmen der Analyse nicht näher berücksichtigt werden.

Tabelle 15: Entwicklung der Tierbestände im THG-Kosten-Szenario, 2023-2045, in 1000 Stk.

	2023	2030	2040	2045
Milchkühe	3.713	3.432	3.143	3.143
Sonstige Rinder	7.123	6.582	5.950	5.950
Schweine	17.525	16.757	15.852	15.848
Geflügel	169.530	167.991	172.569	175.831

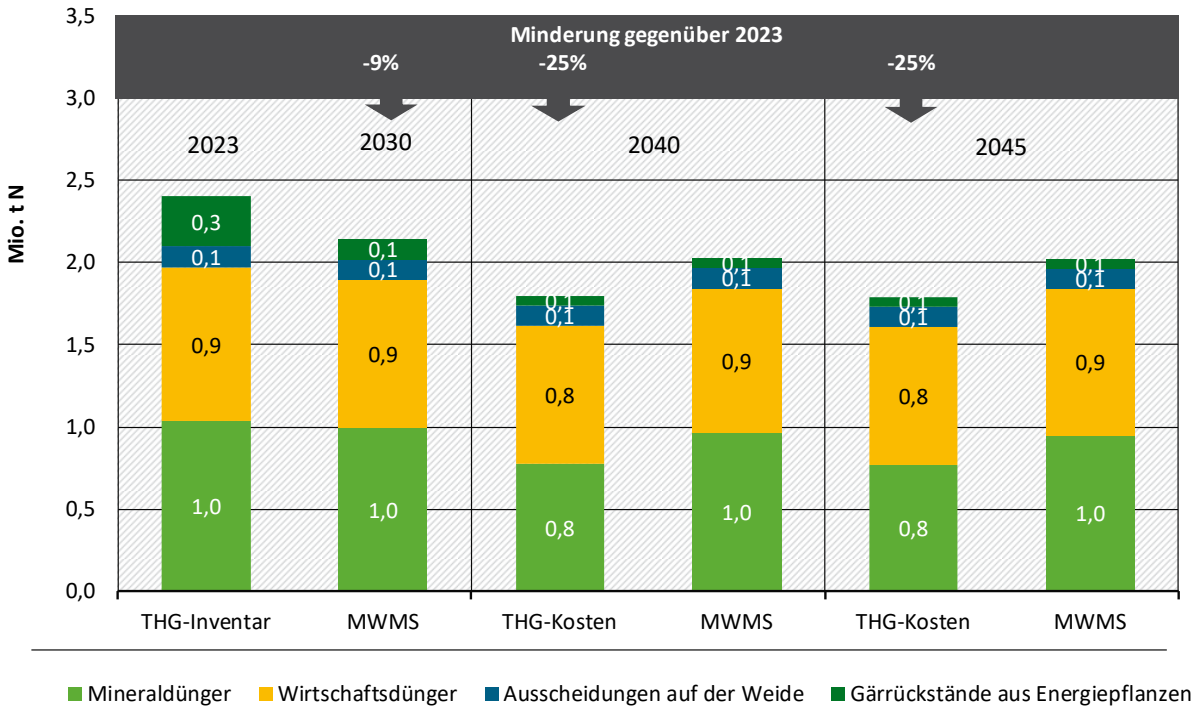
Quelle: UBA (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut

4.3.4 Stickstoff

Bis zum Jahr 2040 sinkt der Stickstoffeinsatz aus Mineraldünger, Wirtschaftsdünger, Energiepflanzen-Gärresten und der Weidehaltung um 25 % ggü. 2023. Ein Teil der Reduktion ist auf die Annahmen im MWMS des Projektionsberichts 2025 zurückzuführen und durch den Rückgang der Tierbestände und der Vergärung von Energiepflanzen, der Ausweitung des Ökolandbaus als auch gestiegene Düngerkosten und die Steigerung der Stickstoffeffizienz erklärbar.

Gegenüber dem MWMS des Projektionsberichts sinken die Stickstoffeinsätze durch die Umsetzung der LULUCF-Maßnahmen auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche um 11 %. Der Großteil ist auf die Reduktion des Mineraldüngereinsatzes zurückzuführen, da die Flächen auf Grund der geänderten Bewirtschaftung nicht mehr gedüngt werden müssen. Damit sinkt der Mineraldüngereinsatz um 0,2 Mio. t N (siehe Abbildung 13). Da nur ein kleiner Teil der Tierbestände reduziert wird, geht der N-Input aus Wirtschaftsdünger und Weide nur um 0,02 Mio. t N und damit 3 % gegenüber dem MWMS zurück. Die Energiepflanzengärreste bleiben auf dem Niveau des MWMS und entsprechen den Annahmen des MWMS des Projektionsberichts 2025 (Förster et al., 2025).

Abbildung 13: Entwicklung der Stickstoffeinsätze, THG-Kosten-Szenario und MWMS, 2023-2045



Quelle: UBA (2025a), Förster et al. (2025), Modellrechnungen Öko-Institut

4.3.5 Weitere THG-Minderungsoptionen

Neben den THG-Minderungen, die durch die Änderung der Flächennutzung entstehen, bestehen noch weitere THG-Minderungsoptionen im Landwirtschaftssektor. Dies sind vor allem technische Maßnahmen, die keine Auswirkungen auf den Produktionsumfang haben. Dazu zählen beispielsweise die Steigerung der Wirtschaftsdüngervergärung oder die Zugabe von Futterzusatzstoffen zur Reduktion der Methanemissionen aus der Verdauung. Darüber hinaus können durch die Gabe von weiteren Zusatzstoffen bei der Lagerung und Ausbringung des Wirtschaftsdüngers und bei der Ausbringung des Mineraldüngers THG-Emissionen eingespart

werden. Bisher werden über die Zertifizierungsmethoden für Carbon Farming nur Maßnahmen berücksichtigt, die direkt oder indirekt zur Reduktion der N_2O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden beitragen (EC, 2026). Dazu zählen:

- Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren
- Precision Farming
- Leguminosen-Anbau
- Änderung der Düngemittelart

Derzeit wird diskutiert, inwieweit die Emissionsreduktion aus der Tierhaltung, die bisher in der Inventarkategorie 3.A und 3.B berichtet wird, auch im Rahmen der CRCF-Verordnung berücksichtigt werden kann. Eine offizielle Methode und damit die Informationen, welche THG-Vermeidungsmaßnahmen berücksichtigt werden sollen, liegen bisher nicht vor. Es gibt einige Analysen, die sich mit dem Thema beschäftigen (CO_2news, 2026). Danach werden die größten landwirtschaftlichen THG-Vermeidungspotenziale durch die Wirtschaftsdüngervergärung und die Gabe von Futterzusatzstoffen zur Reduktion der Methanemissionen erwartet. Dieses Potenzial belegen auch andere Studien zur THG-Vermeidung im Landwirtschaftssektor (Dreisbach et al., 2025; Harthan et al., 2026). Darüber hinaus gibt es weitere THG-Vermeidungsmaßnahmen im Landwirtschaftssektor, die in Dreisbach et al. (2025) ausführlich beschrieben und quantifiziert werden.

Für die THG-Vermeidungskosten der Maßnahmen im Landwirtschaftssektor wird auf die Studie von Dreisbach et al. (2025) aus dem E-Moll Projekt zurückgegriffen. In diesem Projekt wurde ein Modell zur Bewertung von THG-Vermeidungsmaßnahmen inklusive THG-Vermeidungskosten für den Landwirtschaftssektor entwickelt. Ein Großteil der Vermeidungskosten für die THG-Vermeidungsmaßnahmen im Landwirtschaftssektor liegt in der Größenordnung der für das LULUCF-Ziel berechneten Vermeidungskosten. Im Folgenden werden daher die innerhalb dieses Kostenrahmens realisierbaren THG-Vermeidungspotenziale quantifiziert.

Die folgende Tabelle 16 zeigt die THG-Vermeidungskosten und das Potenzial der einzelnen Maßnahmen aus diesem Projekt, sowie das THG-Vermeidungspotenzial, welches in dem hier erstellten THG-Kosten-Szenario (NatKat) gemäß der hier erstellten Szenarioanalyse erschlossen werden kann. Alle THG-Vermeidungskosten fallen in den Bereich von bis zu 100 Euro pro Tonne und werden daher berücksichtigt.

Das THG-Vermeidungspotenzial beider Studien unterscheidet sich geringfügig, was verschiedene Gründe hat: Zum einen repräsentieren die Berechnungen verschiedene Basisjahre und damit unterschiedliche Ausgangsniveaus (z. B. Höhe des Mineraldüngereinsatzes, Tierbestände etc.). Zusätzlich wurden unterschiedliche Annahmen zur Durchdringung (z. B. Anteil der Wirtschaftsdüngervergärung) sowie hinsichtlich der Vermeidungswirkung (z. B. Vermeidungswirkung von Futterzusatzstoffen) getroffen. Trotz der unterschiedlichen Ausgangsbedingungen liegen die Größenordnungen in einem ähnlichen Rahmen.

Insgesamt liegt das ermittelte THG-Vermeidungspotenzial im Landwirtschaftssektor für die hier berücksichtigten Maßnahmen Nitrifikationsinhibitoren, Precision Farming, Leguminosenanbau, Zusatzstoffe in der Fütterung, Wirtschaftsdüngervergärung mit Vermeidungskosten von unter 100 Euro pro t CO_2-Äq. bei -6 Mio. t CO_2-Äq.. Damit ließen sich die THG-Emissionen des Landwirtschaftssektors im THG-Kosten-Szenario um weitere 14 % reduzieren.

Tabelle 16: THG-Vermeidungskosten im Landwirtschaftssektor und THG-Vermeidungspotenzial im THG-Kosten-Szenario für ausgewählte Maßnahmen

	THG-Vermeidungs-kosten Euro/t CO_2-Äq.	THG-Vermeidungs-potenzial – THG-Kosten-Szenario Mio. t CO_2-Äq.	THG-Vermeidungs-potenzial – E-Moll* Mio. t CO_2-Äq.	Annahme zu Durchdringung und THG-Vermeidung
Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren – N_2O	84-89	-0,7	-1,05	100 % Mineraldünger, 50 % Wirtschaftsdünger, 20 % Minderungspotenzial nach Dreisbach et al. (2025)
Precision Farming (20 % Fläche)	100	-0,06	-0,06	Übernahme Wert aus Dreisbach et al. (2025)
Leguminosen in der Fruchtfolge	75	-0,6	-0,6	Steigerung der Anbaufläche um 20 % ggü. IST
Zusatzstoffe in der Fütterung – CH_4	72	-1,9	-1,3	70 % Milchkühe, 50 % sonstige Rinder, THG-Minderungspotenzial 15 % nach Kuhla (2025)
Erhöhung der Wi-Dü-Vergärung	75	-2,7	-2,4	60 % Milchkühe, 50 % sonst. Rinder, 80 % Schweine
Gesamt		-6,0	-5,4	

Anmerkung: Das THG-Vermeidungspotenzial E-Moll wurde von Dreisbach et al. (2025) quantifiziert.
Quelle: Dreisbach et al. (2025), Kuhla (2025) Modellrechnungen Öko-Institut

Werden die THG-Minderungen aus den technischen Maßnahmen bei den Gesamtemissionen bis zum Jahr 2040 berücksichtigt, sinken die Gesamtemissionen auf 37 Mio.t CO_2-Äq.

Tabelle 17: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Landwirtschaft im THG-Kosten-Szenario, 2023-2045, in Mio. t CO_2-Äq.

Kategorie	2023	2030	2040	2045
Fermentation bei der Verdauung	26,2	24,8	20,9	20,9
Wirtschaftsdünger-Lagerung ("Düngerwirtschaft")	9,3	9,1	5,8	5,8
Landwirtschaftliche Böden	15,2	13,8	8,2	8,2
Kalkung	2,0	1,9	1,5	1,5
Harnstoffanwendung	0,4	0,4	0,2	0,2
Andere kohlenstoffhaltige Dünger	0,1	0,2	0,1	0,1
Andere (Emissionen aus Biogas-Gärresten)	1,6	6,4	0,3	0,3
Gesamt	**54,8**	**50,9**	**37,0**	**37,0**

Kategorie	2023	2030	2040	2045
Minderung gegenüber 1990	*-25 %*	*-31 %*	*-49 %*	*-50 %*

Quelle: UBA (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut

In der Analyse werden drei Beiträge zur THG-Minderung berücksichtigt: die aus dem MWMS übernommenen Minderungen, die über den Kosten- bzw. Marktansatz zusätzlich eingeführten LULUCF-Maßnahmen mit Wirkung auf landwirtschaftliche Emissionen sowie die im vorherigen Kapitel identifizierten technischen Minderungsoptionen. Alle drei Beiträge wirken sich in ähnlichem Umfang auf das Gesamtergebnis aus (siehe Tabelle 18). Zusätzlich werden noch die THG-Emissionen aus dem landwirtschaftlichen Energieverbrauch aus dem MWMS ausgewiesen. Nach der Zuordnung des KSG werden im Landwirtschaftssektor neben den hier betrachteten Emissionen aus der Inventarkategorie 3 auch die Emissionen aus dem Energieverbrauch der Landwirtschaft für den Wärme- und Kraftstoffeinsatz berücksichtigt. Diese belaufen sich im MWMS für das Jahr 2045 auf rund 4,9 Mio. t CO_2-Äq.

Tabelle 18: Ausgangsniveau 2023 und THG-Minderungen aus MWMS, technischen Maßnahmen und LULUCF-Maßnahmen bis 2045 in Mio. t CO_2-Äq.

	Emissionen bzw. Minderung (Mio. t CO2-Äq.)
Ausgangsniveau 2023	**54,8**
Minderung aus dem MWMS	-6,7
Landwirtschaftliche Minderung infolge zusätzlicher LULUCF-Maßnahmen (wegen der THG-Kosten/-Vergütung)	-5,1
THG-Kosten-Szenario (2040/45)	**43,0**
technische Minderung	-6,0
THG-Kosten-Szenario inkl. technischer Minderungen (2040/45)	**37,0**
Energiebedingte Emissionen aus der Landwirtschaft im MWMS	**2040: 5,6 2045: 4,9**
THG-Kosten-Szenario inkl. Energie	**2040: 42,6 2045: 41,9**

Quelle: UBA (2025a), Modellrechnungen Öko-Institut

4.3.6 Diskussion

Durch die Umsetzung zusätzlicher LULUCF-Maßnahmen können die Emissionen des Landwirtschaftssektors bis 2040 auf 43 Mio. t CO_2-Äq. gesenkt werden. Vor allem LULUCF-Maßnahmen auf landwirtschaftlichen Flächen (Moorwiedervernässung, Anlage von Agroforst) werden aufgrund ihrer niedrigen THG-Vermeidungskosten frühzeitig umgesetzt und bis 2040 nahezu ausgeschöpft.

Durch technische Maßnahmen besteht weiteres Potenzial zur THG-Vermeidung (vgl. Kapitel 4.3.5). Insgesamt könnten die THG-Emissionen um zusätzlich rund -6 Mio. t CO_2-Äq. reduziert werden. Die Vermeidungskosten der technischen Vermeidungsmaßnahmen liegen mit 70 und 100 Euro/t CO_2-Äq. in derselben Größenordnung wie die berechneten THG-Vermeidungskosten der LULUCF-Maßnahmen.

Werden die energiebedingten Emissionen einbezogen, liegen die Emissionen des Landwirtschaftssektors im Jahr 2040 bei rund 42,6 Mio. t CO_2-Äq. (siehe Tabelle 18). Der Wert liegt damit unter dem im KSP 2026 ausgewiesenen Zielwert von 44 Mio. t CO_2-Äq., sodass das Sektorziel durch die Umsetzung der technischen und der LULUCF-Maßnahmen erreicht werden kann.

5 Sensitivitäten

Das vorhergehende Kapitel zum THG-Kosten-Szenario ist durch eine Vielzahl von Annahmen gekennzeichnet. Für einige Annahmen bestehen dabei große Unsicherheiten, da es mit den Maßnahmen nur wenige Erfahrungen in der Fläche bzw. in der Praxisumsetzung gibt. Für einige besonders einflussstarke Größen können durch geänderte Nutzungen, andere Preise etc. auch andere Entwicklungen als die bisher gewählten eintreten. Aus diesem Grund werden im Folgenden Sensitivitäten für diese Größen gerechnet. Das THG-Kosten-Szenario wird dabei in diesem Kapitel als „Basisszenario“ bezeichnet.

5.1 Etablierung von Paludikulturen

5.1.1 Methodik

Die nasse Bewirtschaftung der Moore in Form von Paludikulturen ermöglicht eine Fortführung der Flächennutzung und ist damit aus Sicht von Landwirtbewirtschaftenden eine attraktive Option, wenn damit langfristig auch ein Einkommen erzielt werden kann. Aber auch aus Klimasicht könnte diese Nutzungsform besonders attraktiv sein: Pilotversuche zeigen, dass durch die Anlage von Schilf, Seggen oder Rohrkolben eine zusätzliche CO_2-Speicherung gegenüber der einfachen Wiedervernässung mit Nutzungsaufgabe möglich ist. Für Deutschland liefert die Studie von Bockermann et al. (2025) konkrete Ergebnisse für verschiedene Standorte und unterschiedliche Anbaukulturen, die in diese Sensitivitätsbetrachtung einfließen.

Gegenüber dem Basisszenario wird eine höhere THG-Vermeidung durch die zusätzliche Einbindung von Kohlenstoff über die Paludikulturen berücksichtigt. Gleichzeitig entstehen höhere Kosten für die Anlage und Etablierung. Die dazu getroffenen Annahmen sind in Tabelle 19 dargestellt. Alle anderen Annahmen werden aus dem Kapitel 3.2.1 übernommen.

Tabelle 19: Überblick über wesentliche Parameter für die THG-Vermeidungskostenkurve zur Etablierung von Paludikulturen für die Moorvernässung

	Annahme	Quelle
Emissionsfaktoren für Wiedervernässung von Niedermooren plus Paludikultur	Reduktion der Emissionen aus der Wiedervernässung plus Einbindung von Kohlenstoff in Paludikulturen: -12,0 t CO_2-Äq.	Bockermann et al. (2025)
Etablierungskosten von Paludikulturen	Kosten für Anlage/Pflanzung von Paludikulturen: 10.000 Euro pro Hektar	Wichmann et al. (2022)
Wirkungszeitraum für die Anlagekosten	Paludikulturen sind Dauerkulturen, für deren langjährigen Bestand es bisher keine Erfahrungen gibt. Aus diesem Grund werden die reinen Pflanzkosten und die THG-Einbindung auf die gesamte Wirkungsdauer von 40 Jahren gerechnet und keine weiteren Annahmen im Rahmen dieser Sensitivitätsbetrachtung getroffen.	Eigene Annahme

Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

Die Emissionsfaktoren für Ackerland und Grünland sind bundeslandspezifisch, während für die angenommenen Restemissionen im „Basisszenario“ und für die THG-Einbindungen durch die Anlage von Paludikulturen für alle Standorte und Bundesländer ein einheitlicher Faktor angenommen wird. Die folgende Tabelle 20 zeigt die Annahmen für den durchschnittlichen Emissionsfaktor.

Tabelle 20: Vergleich Emissionsfaktoren und Nutzung für die Wiedervernässung von Moorstandorten

	bisherige Nutzung	einfache Vernässung	Paludikulturen
Ackerland	31,8 Mio.t CO_2-Äq./ha		
Grünland	30,7 Mio.t CO_2-Äq./ha		
Restemissionen	Ackerland	6,4 Mio.t CO_2 Äq./ha	-12 Mio.t CO_2-Äq./ha
Restemissionen	Grünland	6,4 Mio.t CO_2-Äq./ha	-12 Mio.t CO_2-Äq./ha
Einsparungen Paludi	Ackerland	25,4 Mio.t CO_2-Äq./ha	43,8 Mio.t CO_2-Äq./ha
Einsparungen Paludi	Grünland	24,3 Mio.t CO_2-Äq./ha	42,7 Mio.t CO_2-Äq./ha

Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

Durch die Ernte der Paludikulturen können weitere Einnahmen erzielt werden. Dafür ist die zusätzliche Investition in spezialisierte Erntemaschinen notwendig. Bisher liegen wenig Daten zu Kosten und Deckungsbeiträgen für den Verkauf von Paludikultur-Produkten vor, da ein Markt für diese Biomasse erst in der Entwicklung ist. Daher werden diese Positionen in der Sensitivität nicht berücksichtigt. In Bezug auf die Kohlenstoffeinbindung bleibt auch bei regelmäßiger Ernte die CO_2-Einbindung hoch, da ein Großteil des Kohlenstoffs unterirdisch in Wurzeln und Rhizomen gebunden ist (Nielsen et al., 2021). Durch die stoffliche Nutzung z. B. in Spanplatten oder anderen Produkten könnten damit weitere CO_2-Einsparungen gegenüber einer Nutzung als kurzlebiges Pflanzsubstrat oder Bioenergie erfolgen.

5.1.2 Ergebnisse

Die Sensitivitätsbetrachtung verdeutlicht, dass die Anlage von Paludikulturen die THG-Vermeidungskosten zusätzlich reduziert und diese im Vergleich zum „Basisszenario“ niedriger ausfallen. Gleichzeitig steigt durch die höhere THG-Vermeidung pro Hektar das THG-Vermeidungspotenzial deutlich an. Die THG-Vermeidung im „Basisszenario“ für den LULUCF-Sektor in Höhe von -24,9 Mio. t CO_2-Äq.. Gesamt-Vermeidung durch die Wiedervernässung landwirtschaftlich genutzter Böden ließe sich durch die höhere THG-Einbindung pro Hektar mit 620.000 Hektar erreichen. Damit wären nur 59 % der Fläche ggü. dem „Basisszenario“ notwendig, in dem darüber hinaus noch Waldmoore wiedervernässt werden.

Bei Ausnutzung der gesamten Fläche des „Basisszenarios“ von einer Million Hektar liegt das THG-Vermeidungspotenzial dieser Maßnahmen für den LULUCF-Sektor bei -43,6 Mio. t CO_2-Äq. und bei -48,1 Mio. t CO_2-Äq. insgesamt. Die THG-Vermeidungskosten liegen für das gesamte Potenzial bei maximal 62 Euro/ t CO_2-Äq. (siehe Abbildung 14). Das KSP2026-Ziel könnte bei THG-Vermeidungskosten von 27,3 Euro/t CO_2-Äq. erreicht werden. Im „Basisszenario“ liegen die THG-Vermeidungskosten zur Erschließung des Gesamtpotenzials bei 88,5 Euro/t CO_2-Äq. ohne Berücksichtigung der Waldmoore.

Durch die zusätzlichen Kosten für die Etablierung von Paludikulturen steigen die Gesamtkosten der Maßnahme bei Etablierung der Paludikulturen auf der Gesamtfläche von 1,01 Mio. Hektar von 40,5 Mrd. Euro im „Basisszenario“ auf 50,6 Mrd. Euro in der Sensitivität. Um die gleiche THG-Einsparung wie im „Basisszenario“ zu erreichen, liegen die Kosten allerdings nur bei 22,2 Mrd. Euro (siehe Tabelle 21).

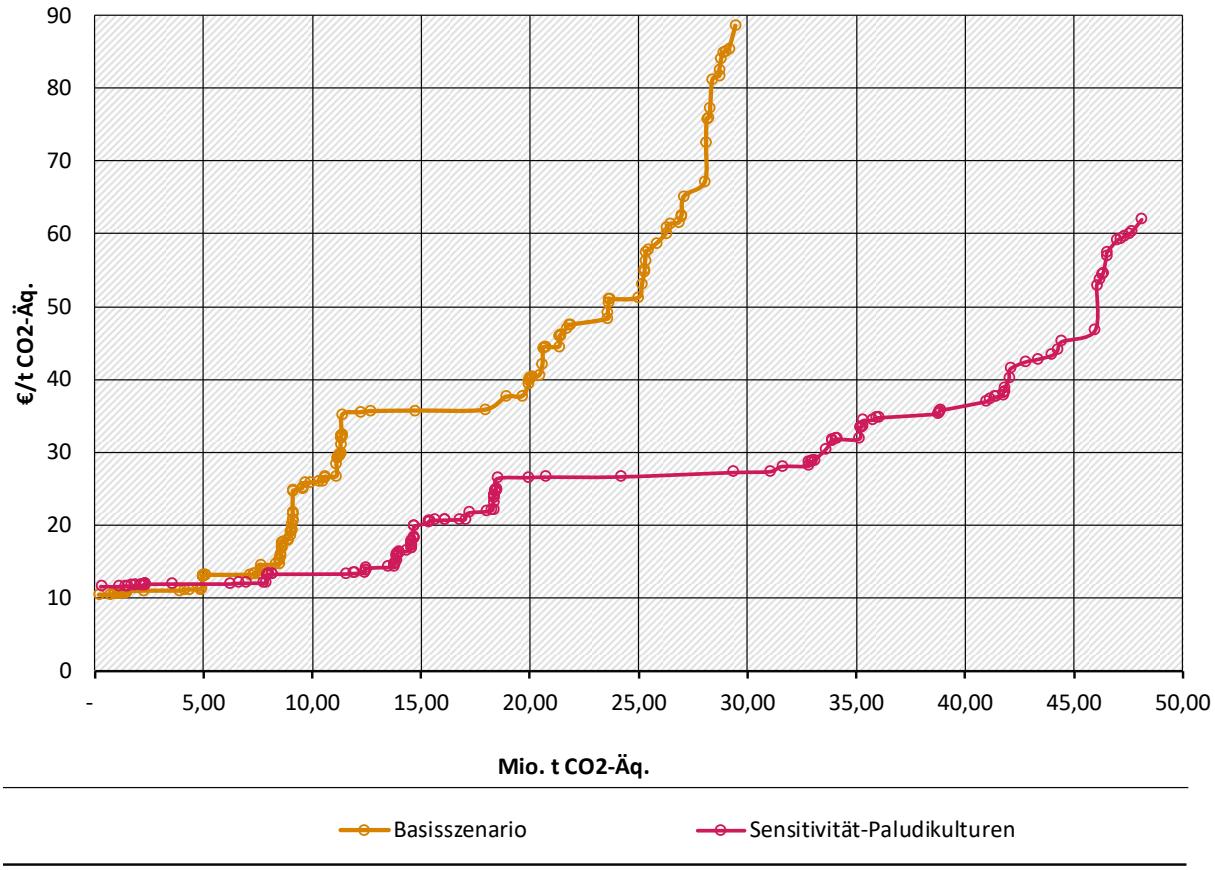
Tabelle 21: Unterschiede zwischen der Sensitivität „Paludikultur“ und dem „Basisszenario“ in Bezug auf Flächenumfang, Vermeidungs- und Gesamtkosten

	Paludikultur	„Basisszenario“
Erschließung des Gesamtpotenzials der landwirtschaftlichen Flächen		
Gesamtfläche	1,01 Mio. ha	1,01 Mio. ha
Vermeidungskosten (ohne Waldmoore)	62,00 Euro/ha	88,50 Euro/ha
Gesamtkosten	50,6 Mrd. Euro	40,5 Mrd. Euro
THG-Einsparung LULUCF	-43,6 Mio. t CO_2-Äq.	-24,95 Mio. t CO_2-Äq.
THG-Einsparung Landwirtschaft	-4,5 Mio. t CO_2-Äq.	-4,5 Mio. t CO_2-Äq.
THG-Einsparung Waldmoore	zusätzlich -3 Mio. t CO_2-Äq.*	zusätzlich -3 Mio. t CO_2-Äq.*
Erreichung KSP2026-Ziel mit Paludikulturen		
Flächenbedarf	620.000 ha	Siehe oben – Erschließung des Gesamtpotenzials notwendig
Vermeidungskosten	27,40 Euro/ha	
Gesamtkosten	22,2 Mrd. Euro	
THG-Einsparung LULUCF	-24,9 Mio. t CO_2-Äq.	
THG-Einsparung Landwirtschaft	-2,3 Mio. t CO_2-Äq.	
THG-Einsparung Waldmoore	zusätzlich -3 Mio. t CO_2-Äq.*	

*Die Vermeidung durch Waldmoore wird für alle betrachteten Fälle beibehalten, denn es kann davon ausgegangen werden, dass mit einer Wiedervernässung dieser Flächen zusätzliche Ziele wie die Sicherung der Biodiversität oder die Klimawandelanpassung durch die Schaffung von Retentionsflächen für den Hochwasserschutz oder für den Wasserrückhalt verfolgt werden können.

Quelle: Eigene Berechnung, Öko-Institut

Abbildung 14: Sensitivität der Vermeidungskostenkurve für Paludikulturen gegenüber dem „Basisszenario“



Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

5.1.3 Diskussion der Ergebnisse

Durch die Anlage von Paludikulturen kann eine hohe zusätzliche THG-Vermeidung pro Hektar gegenüber der einfachen Wiedervernässung erzielt werden. Die THG-Einsparung pro Hektar Ackerland liegt im Mittel bei -43,8 t CO_2-Äq. und für Grünland bei -42,7 t CO_2-Äq. pro Hektar im LULUCF-Sektor. Allerdings handelt es sich um einen vorläufigen Emissionsfaktor, da bisher wenige Studien dazu verfügbar sind.

Die Anlage von Paludikulturen kann eine attraktive Maßnahme für den freiwilligen Kohlenstoffmarkt darstellen, da sie ein hohes THG-Vermeidungspotenzial bei vergleichsweise geringen Vermeidungskosten bietet. Die tatsächliche Umsetzung hängt jedoch von mehreren Voraussetzungen ab, insbesondere von der Bereitschaft der Landbewirtschaftenden zur nassen Bewirtschaftung, praktikablen Genehmigungs- und Förderverfahren sowie der Verfügbarkeit von Pflanzgut, geeigneter Technik und Know-how.

Die weitere Nutzung von Paludikulturen wurde auch in dieser Sensitivität nicht betrachtet. Inwieweit Paludikulturen unter heutigen Rahmenbedingungen wirtschaftlich betrieben werden können, ist bislang noch nicht abschließend beurteilbar. Insbesondere zu Erntekosten, Deckungsbeiträgen und langfristiger Nutzung liegen bisher nur begrenzte Praxisdaten vor. Geeignete Erntetechnik für nasse Moorstandorte ist bisher noch in der Erprobungsphase und tragfähige Vermarktungswege für die erzeugte Biomasse – etwa für Baustoffe, Energie oder andere Nutzungen – noch nicht etabliert. Außerdem hängt die Konkurrenzfähigkeit der Produkte maßgeblich von den zukünftigen Kosten der Substitute ab. Werden diese durch hohe

THG-Kosten teuer, haben die biogenen Alternativen gute Etablierungschancen. Insbesondere dann, wenn durch die stoffliche Nutzung der Paludikultur-Biomasse der gebundene Kohlenstoff langfristig in Produkten wie Bau- und Dämmstoffen festgelegt wird und diese negativen Emissionen über den Holzproduktespeicher im Inventar angerechnet werden und auch Bestandteil der freiwilligen Kohlenstoffmärkte werden können.

5.2 Abstockung von Tierbeständen in Moorregionen bei anderen Kompensationskriterien

5.2.1 Methodik

Das Moorgrünland wird heute zu großen Teilen für die Fütterung von Milchkühen und sonstigen Rindern verwendet. Durch die Vernässung stehen diese Flächen nicht mehr mit den gewohnten Futterqualitäten zur Deckung des Futterbedarfs zur Verfügung. Als Ausgleichsreaktion kommen der Zukauf von Futter oder die Abstockung der Tierbestände in Frage. Nach den Annahmen im „Basisszenario“ werden in Betrieben mit mehr als 1,3 GVE/ha LF die Rinderbestände um ein GVE/ha LF abgestockt – d. h. die gesamte Betriebsfläche wird zugrunde gelegt. Werden die Wiederkäuer jedoch ackerfutterbetont gehalten und haben die Betriebe einen hohen Ackerflächenanteil, kann diese Annahme dazu führen, dass Betriebe mit teilweise sehr hohen Tierbestandsdichten auf dem Grünland nicht berücksichtigt werden. Da die grünlandbasierte Rinderhaltung jedoch aus ökologischen und Tierwohlgründen zu bevorzugen ist, soll mit dieser Sensitivität geprüft werden, welche zusätzliche THG-Vermeidung im Landwirtschaftssektor durch eine weitere Abstockung der Tierbestände in Moorregionen erzielt wird, wenn Tierbestandsdichten auf dem Grünland berücksichtigt werden. Zudem werden die Auswirkungen auf die THG-Vermeidungskosten aufgezeigt.

In der Sensitivität wird angenommen, dass Betriebe mit mehr als 1,3 GVE/ha Dauergrünland und einem Futterflächenanteil von über 60 % an der gesamten LF des Betriebes die Rinderbestände (Milchkühe und sonst. Rinder) proportional zum Anteil der durch Wiedervernässung reduzierten Futterfläche verringern. Damit ist ein Großteil der Milchviehbetriebe, aber auch der Futterbaubetriebe und ein Teil der Ökobetriebe betroffen (siehe Tabelle 29 im Anhang). Weitere Annahmen zur Wiedervernässung etc. wurden aus Tabelle 6 und Tabelle 7 übernommen.

5.2.2 Ergebnisse

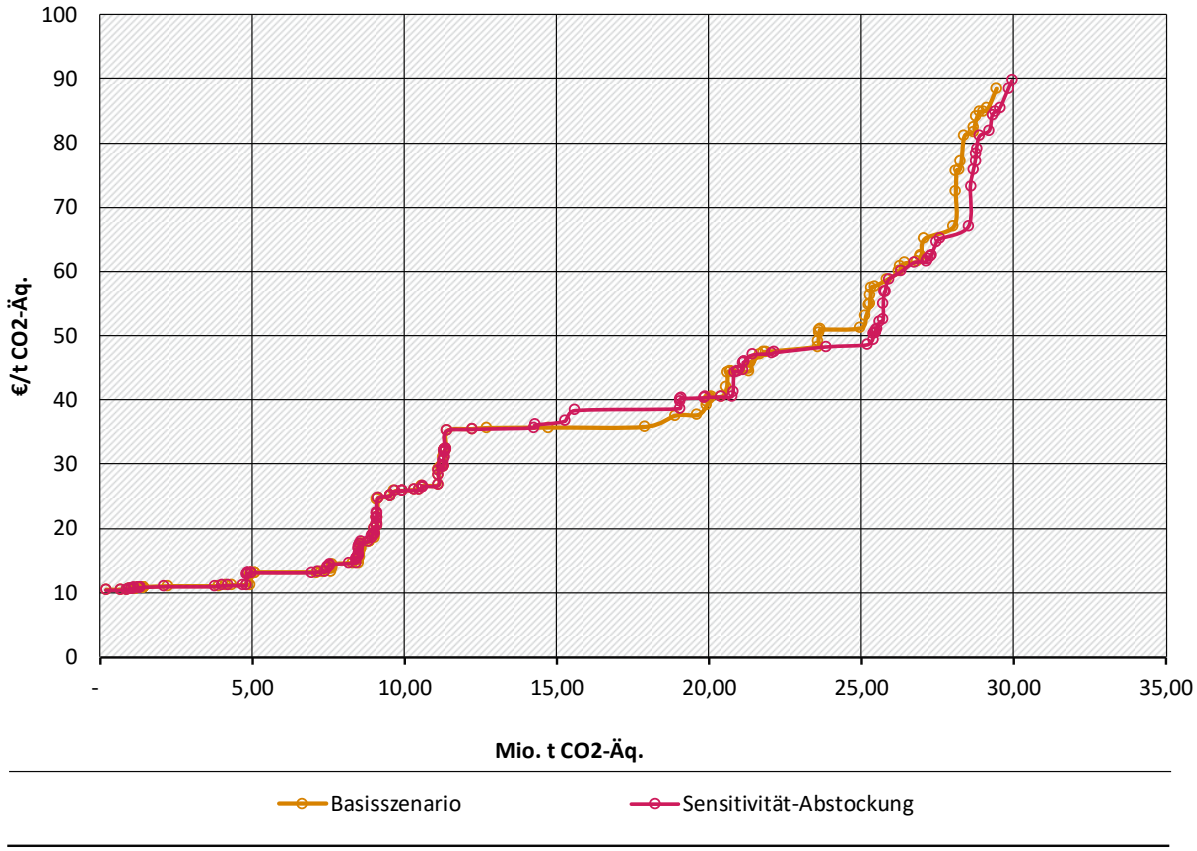
Durch die getroffenen Annahmen sinken die Milchviehbestände in der Sensitivität gegenüber dem „Basisszenario“ um knapp 30 % (zusätzlich 51.000 Stk. zu 180.000 Stk. im „Basisszenario“), während sich der Rückgang der sonstigen Rinderbestände fast verdoppelt (-135.000 Stk. zu 164.000 Stk. im „Basisszenario“). Durch diesen Rückgang werden die THG-Emissionen des Landwirtschaftssektors um weitere -0,5 Mio. t CO_2-Äq. gegenüber dem „Basisszenario“ reduziert. Dabei handelt es sich um die direkten Emissionen aus der Tierhaltung aus der enterischen Verdauung und dem Wirtschaftsdüngermanagement.

In der Sensitivität liegen die THG-Vermeidungskosten in etwa im Bereich des „Basisszenarios“. Durch die Abstockung der Tierbestände fallen höhere Kosten für die Kompensation, aber auch eine höhere THG-Vermeidung an. Je nach Umfang der Abstockung und der Deckungsbeiträge im jeweiligen Betrieb fallen die Werte in der Sensitivität durch die zusätzlichen Kosten für die Abstockung in einigen Betrieben bis zu 6 Euro (Grünland Milchvieh Rheinland-Pfalz) höher aus. Auf einigen Grünlandstandorten (z. B. BY, BW, SH) liegen die THG-Vermeidungskosten in der Sensitivität sogar niedriger als im „Basisszenario“. Hier werden die höheren Kosten durch die

höhere THG-Vermeidung kompensiert. Die höchsten Kosten liegen in der Sensitivität bei 89,7 Euro/t CO_2-Äq. im Gegensatz zu 88,5 Euro/t CO_2-Äq. im „Basisszenario“.

Durch die zusätzliche Abstockung der Tierbestände steigen die Gesamtkosten der Maßnahme von 40,5 Mrd. Euro im Basisszenario auf 42,5 Mrd. Euro in der Sensitivität.

Abbildung 15: Sensitivität der Vermeidungskostenkurve für weitere Abstockung von Tierbeständen gegenüber dem Basisszenario



Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

5.2.3 Diskussion der Ergebnisse

Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass je nach Reaktion der Betriebe auf sinkende Eigenfutterflächen eine zusätzliche Reduktion der Tierbestände in den Moorregionen möglich ist und damit ein geringes zusätzliches THG-Vermeidungspotenzial bietet. Neben einer Abstockung oder einem Ausstieg aus der Tierhaltung ist jedoch auch ein verstärkter Futterzukauf möglich. Dieser könnte die Emissionen aus dem Futteranbau im Landwirtschaftssektor v. a. räumlich verlagern. Die Ergebnisse werden maßgeblich durch die zugrunde gelegten Annahmen beeinflusst und sind daher entsprechend einzuordnen. Für diese Sensitivität, aber auch für das „Basisszenario“ ist zu berücksichtigen, dass die Kompensation der Standarddeckungsbeiträge nur über sieben Jahre erfolgt. Dadurch stehen langfristig hohe Minderungswirkungen (40 Jahre) vergleichsweise begrenzten Kosten gegenüber, was die THG-Vermeidungskosten rechnerisch senkt. Ob dieses Vergütungsmodell für tierhaltende Betriebe ausreichend attraktiv ist, bleibt jedoch fraglich. Insbesondere bei Betrieben, die kürzlich größere Investitionen in Stallneubauten, Melk- oder Kühlanlagen getätigt haben, kann die Abschreibungsdauer deutlich über den siebenjährigen Kompensationszeitraum hinausgehen.

Da diese Analyse auf statistischen Daten basiert, sind die Ergebnisse zusätzlich mit Unsicherheiten bezüglich der genauen Lage der Betriebe und dem konkreten Anteil an Moorflächen behaftet und nur als grobe Orientierung zu verstehen. Die tatsächliche Umsetzung ist jedoch von betrieblichen Anpassungsstrategien, Investitionszyklen und flankierenden Maßnahmen auf der Konsumseite abhängig.

5.3 Berücksichtigung von steigenden Umsetzungskosten für die Moorvernässung

5.3.1 Methodik

Neben den zuvor betrachteten technischen Unsicherheiten gibt es auch finanzielle Unsicherheiten, die auf die Umsetzung der Moorvernässung einwirken und die THG-Vermeidungskosten beeinflussen. In den vergangenen Jahren sind die Kauf- und Pachtpreise für landwirtschaftliche Flächen teilweise deutlich gestiegen. Dabei wirken Preissteigerungen für landwirtschaftliche Güter und Bodenpreise auf die anzusetzenden Kosten für Kompensationszahlungen für die landwirtschaftlichen Betriebe mit Flächen zur Wiedervernässung. Kostentreiber, die sich besonders auf die Landwirtschaft richten, sind beispielsweise die Verknappung der Agrarflächen (u. a. bis zu 1 Mio. ha wegen der Moorvernässung). Zusätzlich darf von einer langfristig steigenden Nachfrage nach biogenen Ressourcen ausgegangen werden: nach Lebens- und Futtermitteln durch den Anstieg der Weltbevölkerung und Wohlfahrtsgewinne in Transformationsländern sowie nach biogenen Ressourcen wegen der Dekarbonisierung von Rohstoffen. Aber auch der Klimawandel vergrößert Ernteausfallrisiken und damit Preisschwankungen. Auch internationale Krisen und gestörte Lieferketten für Stickstoff und Treibstoff wirken preistreibend. Im „Basisszenario“ wurden die Wertverluste auf Grundlage des Preis- bzw. Wertestandes des Jahres 2024 für die Berechnungen der Zieljahre 2040 und 2045 angesetzt. Werden zukünftige Wertsteigerungen landwirtschaftlicher Flächen berücksichtigt, erhöhen sich die Kompensationszahlungen und damit auch die THG-Vermeidungskosten. Neben möglichen Wertsteigerungen landwirtschaftlicher Flächen sind zudem Kostensteigerungen bei Planung, Genehmigung und technischen Maßnahmen zur Wiedervernässung zu erwarten. Daher werden im Folgenden die THG-Vermeidungskosten unter Berücksichtigung entsprechender Kostensteigerungen berechnet. Alle anderen Parameter z. B. zu THG-Vermeidung pro Hektar etc. bleiben unverändert und entsprechen den Annahmen in Tabelle 2 und Tabelle 3.

Tabelle 22: Überblick über wesentliche Parameter für die THG-Vermeidungskostenkurve von steigenden Umsetzungskosten für die Moorvernässung

	Annahme	Quelle
Wertsteigerung LF - Preissteigerung bei den Bodenrichtwerten zur Entschädigung der Wiedervernässung	Die Preissteigerung wird auf Basis der Pachtpreisentwicklung der letzten 10 Jahre für Grünland und Ackerland getrennt hergeleitet. Zwischen 2013 und 2023 lag die Preissteigerung für Pachtland bei 67 % für Ackerland und bei 32 % für Grünland. Damit wird eine jährliche Preissteigerung von 6,7 % für Ackerland und 3,2 % für Grünland angenommen. Für die Berechnungen wird ein Zeitraum von 15 Jahren angesetzt. Damit liegt die Preissteigerung des Bodenrichtwerts für Acker bis 2039 bei 100 % und für Grünland bei 48 %.	Statistisches Jahrbuch (BMEL, 2024), Tabelle 5040100-000 (III Grundstückspreise, 225. Pachtentgelte für landwirtschaftliche Einzelgrundstücke)

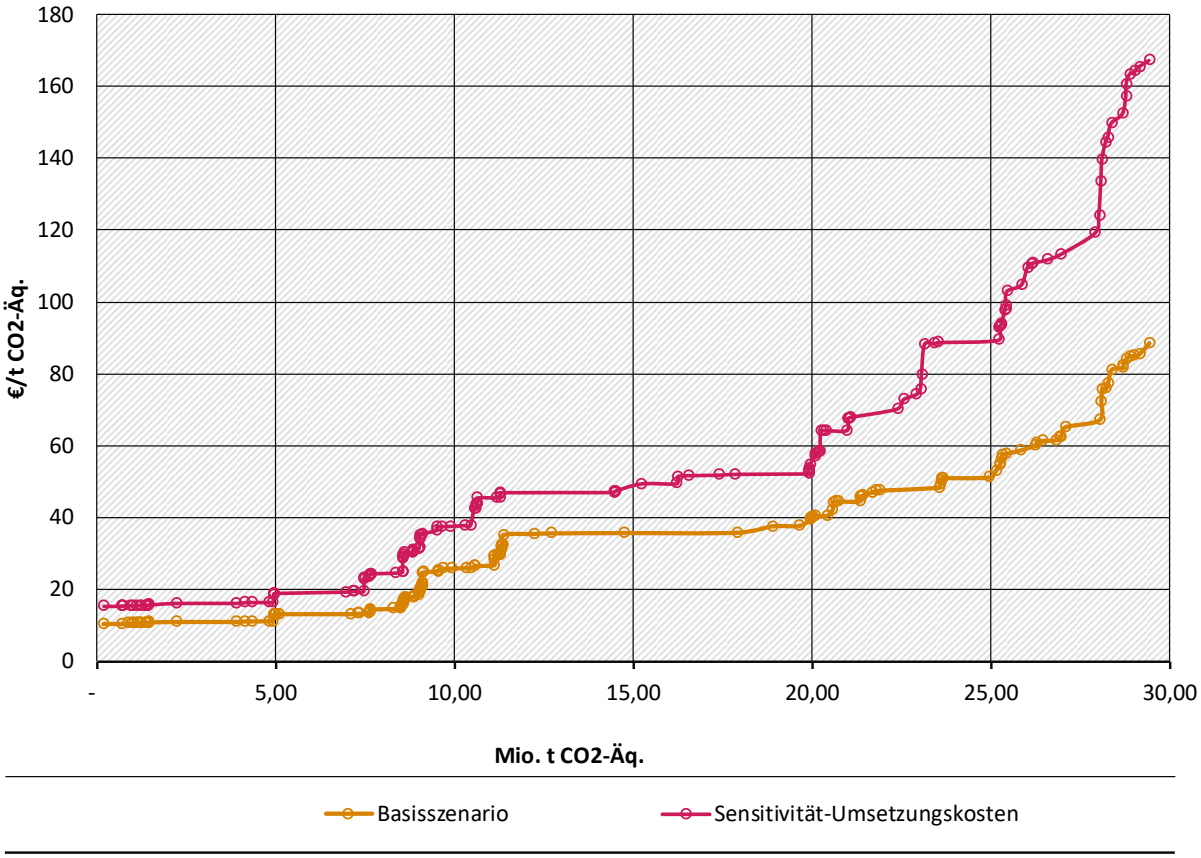
	Annahme	Quelle
Planungskosten	Steigerung von 2,5 % jährlich, analog zu Erzeugerpreisen für Dienstleistungen in den letzten Jahren. Für die Berechnungen wird ein Zeitraum von 15 Jahren angesetzt.	Destatis (2026b)
Kosten für technische Maßnahmen	Steigerung von 3,0 % jährlich analog zu Baupreisindizes für Ingenieurbau in den letzten Jahren. Für die Berechnungen wird ein Zeitraum von 15 Jahren angesetzt.	Destatis (2026a)

Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

5.3.2 Ergebnisse

Bei Berücksichtigung der steigenden Umsetzungskosten bis zum Jahr 2040 erhöhen sich auch die THG-Vermeidungskosten im Vergleich zum „Basisszenario“. Während im „Basisszenario“ rund -13,4 Mio.t CO_2-Äq. zu einem THG-Preis von unter 30 Euro pro Tonne CO_2-Äq. vermieden werden können, liegt das THG-Vermeidungspotenzial zu diesem Preis in der Sensitivität nur noch bei -8,6 Mio. t CO_2-Äq.. Die höchsten THG-Kosten liegen in der Sensitivität bei 167 Euro/t CO_2-Äq., im Basisszenario dagegen nur bei 88,5 Euro/t CO_2-Äq. (siehe Abbildung 16). Die Kosten für die teuersten Hektar steigen von 118.991 Euro/ha im Basis-Szenario auf 227.880 Euro/ha in der Sensitivität an. Insgesamt würden die Gesamtkosten auf 64,3 Mrd. Euro etwa um das 1,6-fache steigen, die bei steigenden Umsetzungskosten notwendig wären. Im „Basisszenario“ betrugen die Umsetzungskosten für eine vollständige THG-Vermeidung von -29,4 Mio. t CO_2-Äq. (LULUCF + Landwirtschaft) durch die Wiedervernässung von Acker- und Grünland insgesamt 40,5 Mrd. Euro. Hält man den Mitteleinsatz trotz steigender Kosten bei 40,5 Mrd. Euro, verringert sich die THG-Vermeidung um 15 % auf -25,2 Mio. t CO_2-Äq.. Die Vermeidung der letzten -4,2 Mio. t CO_2-Äq. verursacht bei steigenden Umsetzungskosten zusätzliche Kosten von 21,4 Mrd. Euro vor allem auf Grund der hohen Bodenrichtwerte.

Abbildung 16: Sensitivität der Vermeidungskostenkurve für steigende Umsetzungskosten bei der Moorwiedervernässung gegenüber dem „Basisszenario“



Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

5.3.3 Diskussion der Ergebnisse

Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass steigende Umsetzungskosten bis 2040 die Wirtschaftlichkeit der Wiedervernässung deutlich verschlechtern. Bei niedrigen THG-Kosten fällt das realisierbare Vermeidungspotenzial für die Moorwiedervernässung geringer aus als im „Basisszenario“, während die maximalen THG-Vermeidungskosten durch gestiegene Flächenkosten deutlich höher ausfallen. Insgesamt wären für eine vollständige Abschöpfung des THG-Vermeidungspotenzials erheblich höhere finanzielle Mittel erforderlich. Mit dem im „Basisszenario“ berechneten Mitteleinsatz könnte daher nur ein geringerer Teil der THG-Vermeidung erreicht werden. Besonders die letzten Vermeidungsmengen wären mit überproportional hohen Zusatzkosten verbunden, was vor allem auf hohe Bodenrichtwerte zurückzuführen ist.

Die Ergebnisse zeigen die Vorteile einer frühzeitigen Umsetzung von Wiedervernässungsmaßnahmen auf. Da die angenommene Wertsteigerung landwirtschaftlicher Flächen mit 6,7 % jährlich über den typischen Diskontraten von etwa 3 % liegt, steigen die künftigen Umsetzungskosten stärker an, als sie durch Diskontierung abgeschwächt werden. Insgesamt verdeutlichen die Ergebnisse, dass steigende Bodenpreise und Umsetzungskosten die Kosteneffizienz der Wiedervernässung verschlechtern können. Eine frühzeitige Flächensicherung und Umsetzung könnten daher Kostensteigerungen vermeiden. In der Praxis begrenzen jedoch lange Planungs- und Genehmigungsvorlaufzeiten sowie fehlendes Know-how und begrenzte personelle und technische Kapazitäten eine kurzfristige Umsetzung.

5.4 Nutzung der Gehölze/Agroforst für stoffliche oder energetische Nutzung

5.4.1 Methodik

In dieser Sensitivitätsanalyse werden die Kosten, Einnahmen und die THG-Vermeidungskosten berechnet, die sich im Falle einer Nutzung der Gehölze ergeben. Es wird angenommen, dass die Nutzung in Form von Hackschnitzeln erfolgt und für die stoffliche (Industrieholz/Spanplatten) oder auch für die energetische Nutzung verwendet werden kann. Die Berechnung des Standarddeckungsbeitrags erfolgt unter Verwendung des LfL-Rechners[30] für Kurzumtriebsplantagen (KUP). Dabei werden drei unterschiedliche Ertragsniveaus unterschieden (hoch, mittel, niedrig) und betriebsspezifisch zugeordnet. Die Zuordnung erfolgt nach Bundesländern und orientiert sich an den jeweiligen Standarderträgen für Getreide. Der LfL-Rechner unterscheidet nicht zwischen Ackerland und Grünland. Für Grünland werden daher die Standarddeckungsbeiträge für Kurzumtriebsplantagen auf Basis des jeweiligen Grünlandertrags gegenüber Ackerland verringert.

Für die Berechnung der THG-Vermeidungskosten werden die Einnahmen durch den Verkauf der Hackschnitzel von den derzeitigen Deckungsbeiträgen abgezogen. Damit werden die Kosten ermittelt, die über die Einnahme eines freiwilligen Kohlenstoffmarktes aufgebracht werden müssten, um die Maßnahme für die landwirtschaftlichen Betriebe attraktiv zu machen. Gegenüber dem „Basisszenario“ wird die CO_2-Bindung pro Hektar reduziert angesetzt, da bei der Ernte ein Großteil der oberirdischen Biomasse entnommen wird und vor allem die Wurzelbiomasse im Boden verbleibt. Die wirtschaftliche Betrachtung beschränkt sich auf die Phase bis zum Verkauf der Hackschnitzel. Eine mögliche zusätzliche, wenn auch eher kurzfristige Kohlenstoffspeicherung in Holzprodukten durch die stoffliche Nutzung (z. B. als Industrieholz, für Spanplatten oder in der Papierherstellung) wird in dieser Analyse nicht berücksichtigt, weil die Nutzung der Ernte in der Regel nicht in der Hand der landwirtschaftlichen Betriebe liegt. Die folgende Tabelle 23 zeigt die wesentlichen Annahmen. Weitere Annahmen zu Wirkungsdauer etc. werden aus Tabelle 6 übernommen.

Tabelle 23: Überblick über wesentliche Parameter für die THG-Vermeidungskostenkurve für die stoffliche oder energetische Nutzung der Gehölzflächen

	Beschreibung	Annahme	Quelle
Förderung für Anlage Gehölzstrukturen	GAK-Fördersatz für Anlage von Kurzumtriebsplantagen	1.566 Euro/ha Gehölzstreifen	GAK (BMLEH, 2026)
Beibehaltungskosten für Pflege von Gehölzstrukturen	Angaben aus GAP-Strategieplan verwendet	200 Euro/ha jährlich über 5 Jahre	GAP-Strategieplan 2026 (BMLEH, 2025)
CO_2 Senkenaufbau Ackerland und Grünland	C-Faktor Carbon Stocks in Soil aus Drexler et al. (2021) und aus THG-Inventar 2023 für mineralische Böden Umwandlung Ackerland in Hecken, keine regionale Differenzierung	-3,5 t CO_2-Äq./ha	THG-Inventar 2023 (UBA, 2025b) und Drexler et al. (2021)

[30] https://www.stmelf.bayern.de/idb/kurzumtriebsplantage.html

	Beschreibung	Annahme	Quelle
Marktpreise Hackschnitzel	Mittelwert 2023 bis 2026, bei 35 % Wassergehalt	99,7 Euro/t	C.A.R.M.E.N Datenportal[31]
Standarddeckungsbeitrag durch Verkauf von Hackschnitzeln	Berechnet aus Einnahmen aus Verkauf Hackschnitzel abzüglich der variablen Kosten (ohne Pflanzung) (LfL-Rechner)	Hoch: 868 (10,1 t atro/ha) Mittel: 551 (7,2 t atro/ha Niedrig: 398 (5,8 t atro/ha gezahlt über **10** Jahre	LfL-Rechner für Kurzumtriebsplantagen

Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

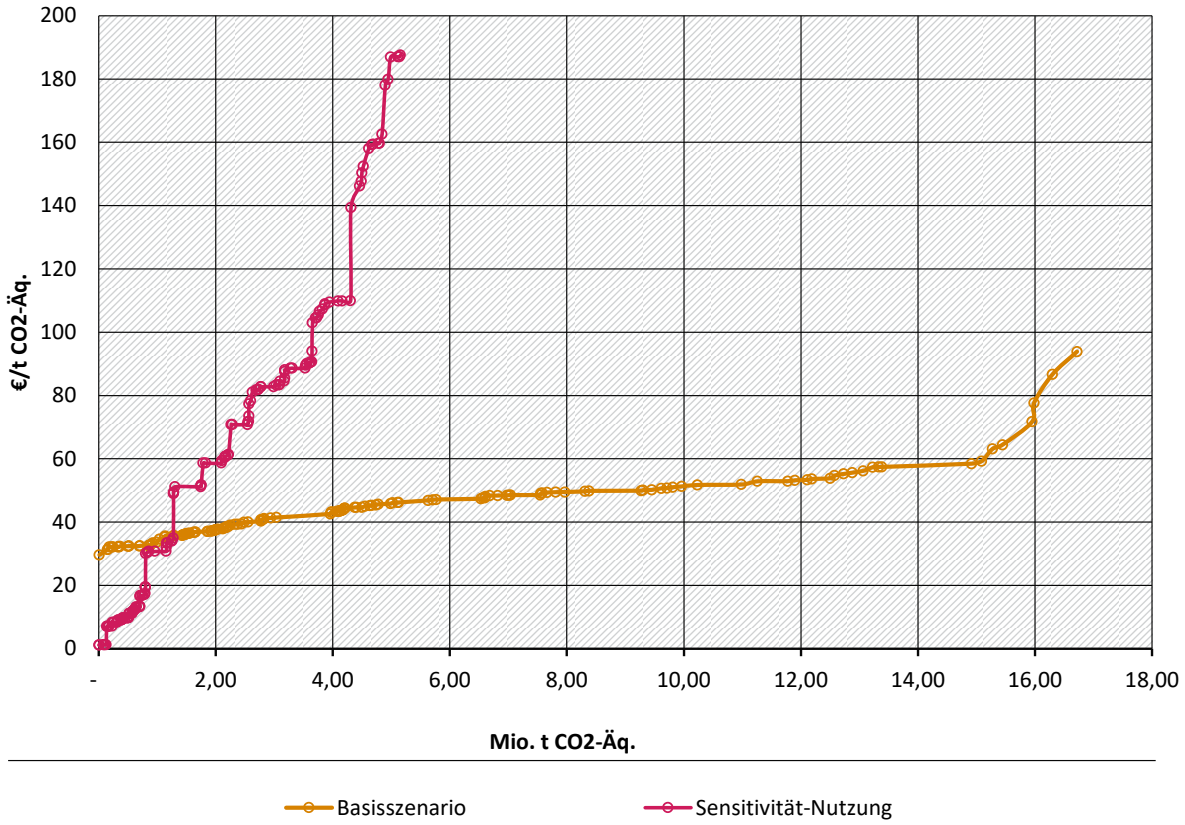
5.4.2 Ergebnisse

Für die Sensitivität ergeben sich THG-Vermeidungskosten in Höhe von 1,17 bis 188 Euro/t CO_2-Äq.. Damit liegt der Großteil der Vermeidung im Sensitivitätsszenario deutlich über den im „Basisszenario“ berechneten Kosten, die eine Spannbreite von 26 bis 91 Euro/t CO_2-Äq. aufweisen. Die geringeren THG-Vermeidungskosten in der Sensitivität entstehen, weil die Deckungsbeiträge der Holzhackschnitzel in einigen Regionen die heutigen Deckungsbeiträge von Grünland übersteigen. Für den überwiegenden Teil des THG-Vermeidungspotenzials steigen die Vermeidungskosten jedoch an. Diese Steigerung ist auf die verringerten THG-Einbindungen pro Hektar zurückzuführen, da die Ernte abgefahren wird und nicht auf der Fläche verbleibt. So wird trotz gleichbleibender Fläche bei den getroffenen Annahmen weniger CO_2 gebunden.

Trotz Ausnutzung der gesamten Fläche des „Basisszenarios“ von 1,15 Mio. Hektar liegt das THG-Vermeidungspotenzial dieser Maßnahme für den LULUCF-Sektor nur bei -4,1 Mio. t CO_2-Äq. und bei -5,1 Mio. t CO_2-Äq. insgesamt (siehe Abbildung 17). Die THG-Vermeidung im „Basisszenario“ liegt dagegen bei 16,7 Mio.t CO_2-Äq. insgesamt. Da ein Teil der Einnahmen über den Verkauf der Hackschnitzel erfolgt und nicht über einen freiwilligen Kohlenstoffmarkt kompensiert werden müssen, sinken die Kosten für die Umsetzung der Maßnahme von 16,9 Mrd. Euro im Basisszenario auf 8,0 Mrd. Euro in der Sensitivität.

[31] https://www.carmen-ev.de/service/marktueberblick-erneuerbare-energien/marktpreise-energieholz/marktpreise-hackschnitzel/

Abbildung 17: Sensitivität der Vermeidungskostenkurve für die Nutzung von Gehölzstrukturen gegenüber dem „Basisszenario“



Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

5.4.3 Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass der Beitrag zur Erreichung des LULUCF-Ziels stark von der jeweiligen Folgenutzung abhängt. Unter den getroffenen Annahmen werden lediglich 33 % des erforderlichen Vermeidungspotenzials dieser Maßnahme (-15 Mio. t CO_2-Äq. im LULUCF-Sektor) erreicht, sodass die Maßnahme allein nur begrenzt zur Zielerreichung beitragen kann. Allerdings ist zu beachten, dass die Betrachtung beim Verkauf der Hackschnitzel endet und die weitere Nutzung unberücksichtigt bleibt. Die Klimawirkung hängt aber maßgeblich davon ab, wie der geerntete Kohlenstoff anschließend genutzt wird und über welchen Zeitraum er gebunden bleibt. Erfolgt zunächst eine stoffliche Nutzung, könnte der Kohlenstoff langfristig in Holzprodukten gespeichert werden und eine Rückführung in die Atmosphäre verzögert werden. Dadurch können zusätzliche Beiträge zur Zielerreichung im LULUCF-Sektor über den Holzproduktespeicher entstehen.

Die hohen THG-Vermeidungskosten verringern zudem die Attraktivität dieser Maßnahme für einen freiwilligen Kohlenstoffmarkt, wenn die Zahlung sich nur auf die verbliebene Kohlenstoffspeicherung auf der Fläche bezieht und direkt bei den Landbewirtschaftenden erfolgt. Eine Marktintegration erscheint daher vor allem dann plausibel, wenn neben der Emissionsvermeidung auf der Fläche auch die zusätzliche Kohlenstoffbindung in stofflich genutzten Holzprodukten berücksichtigt und entsprechend vergütet wird.

5.5 Auswirkungen von Preisänderungen auf die Holzentnahme aus dem Wald

5.5.1 Methodik

Im „Basisszenario“ wird die reduzierte Laubholzentnahme mit einer Kostenkurve abgebildet, die auf den aktuellen erntekostenfreien Erlös und den zukünftigen Wasserstoffpreis aufbaut (siehe Details zur Methode in Abschnitt 3.5). Um die Auswirkungen von Preisänderungen auf die Holzentnahme im Wald zu analysieren, werden zwei Sensitivitäten zu diesen Preisen betrachtet:

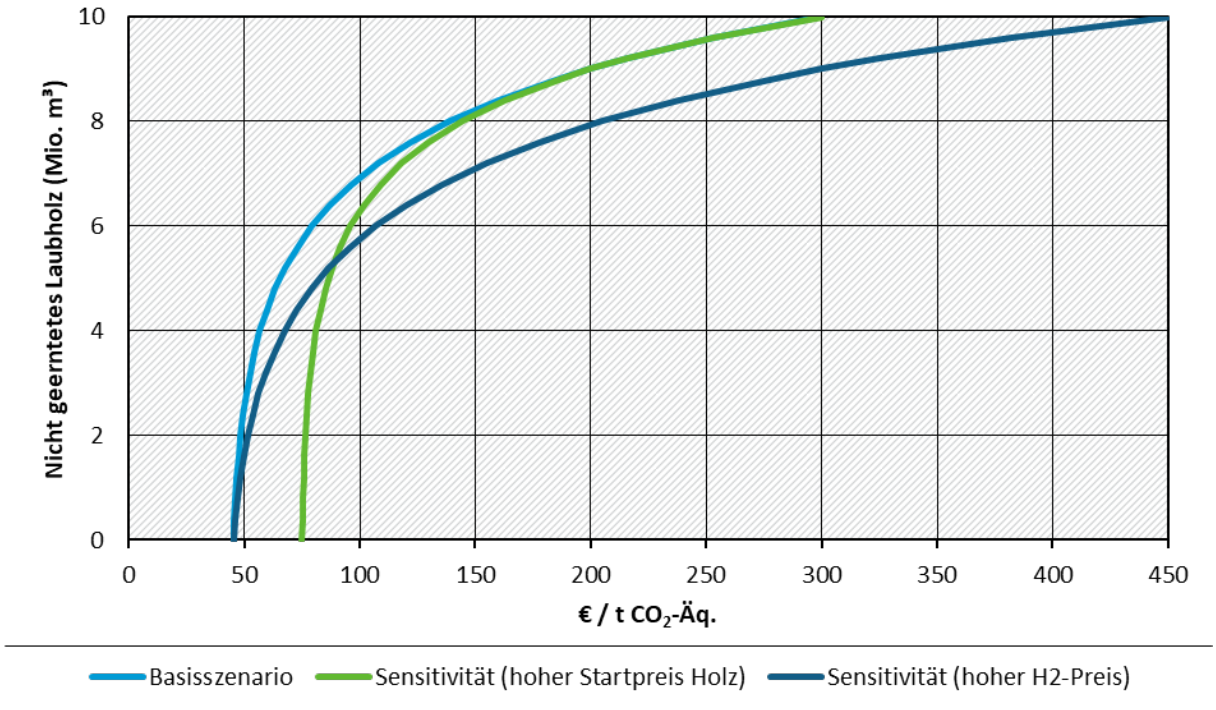
- „Basisszenario“: Dies sind die Annahmen im „Basisszenario“ mit 45,25 Euro/t CO_2-Äq. als Startwert, ab dem es für Waldbesitzende attraktiv wird, die Laubholzentnahme zu reduzieren, und einem Wasserstoffpreis umgerechnet in 200 Euro/t CO_2-Äq..
- Sensitivität (hoher Startpreis Holz): In dieser Variante wird der Startwert von 45,25 Euro/t CO_2-Äq. auf 75 Euro/t CO_2-Äq. angehoben. D. h., Waldbesitzende beginnen erst bei einem höheren THG-Preis, die Laubholzernte zu reduzieren. Der Wasserstoffpreis bleibt unverändert (200 Euro/t CO_2-Äq.).
- Sensitivität (hoher H_2-Preis): In dieser Variante wird der zukünftige Wasserstoffpreis von 25,00 Euro/GJ um 50 % auf 37,50 Euro/GJ erhöht, so dass 300 Euro/t CO_2-Äq. angesetzt werden. Der Startwert von 45,25 Euro/t CO_2-Äq. für Holz wird beibehalten.

Die Annahmen zur Mobilisierungsrate von Mortalitätsholzentnahme in Abhängigkeit vom THG-Preis bleiben in den beiden Varianten unverändert wie im Basisszenario.

5.5.2 Ergebnisse

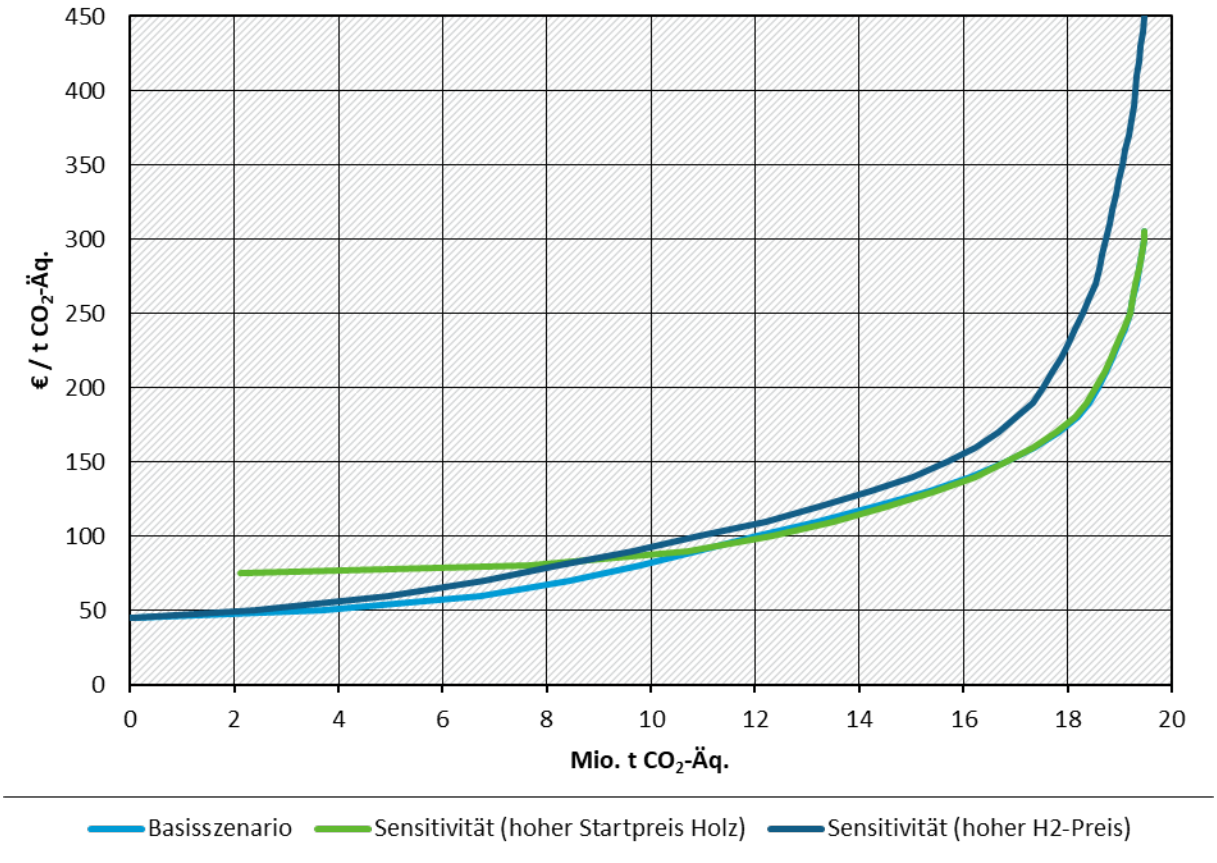
In der Sensitivität (hoher Startpreis Holz) führt die Annahme eines höheren Startwertes von 75 Euro/t CO_2-Äq. dazu, dass die Reduzierung der Laubholzentnahme erst bei einem höheren THG-Preis beginnt. Ab einem THG-Preis von ca. 150 Euro/t CO_2-Äq. entspricht diese Sensitivität dem Verlauf des „Basisszenarios“, da bei höheren THG-Preisen der Wasserstoffpreis den Verlauf der Kostenkurve dominiert (Abbildung 18 und Abbildung 19). In der Sensitivität (hoher H_2-Preis) verzögert sich durch den höheren Wasserstoffpreis die Reduktion der Holzentnahme gegenüber dem „Basisszenario“ deutlich, so dass z. B. bei einem THG-Preis von 150 Euro/t CO_2 nur noch ca. 7 Mio. m^3 statt ca. 8 Mio. m^3 weniger an Laubholz entnommen wird (Abbildung 18 und Abbildung 19).

Abbildung 18: Sensitivitäten zur Menge an nicht geerntetem Laubholz in Abhängigkeit vom THG-Preis



Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

Abbildung 19: Sensitivitäten zur Kostenkurve für angepasstes Waldmanagement im Jahr 2045



Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

5.5.3 Diskussion der Ergebnisse

Die Erhöhung des Startwertes in der Sensitivität (hoher Startpreis Holz) von 45,25 Euro/t CO_2 Äq. auf 75 Euro/t CO_2-Äq., bei dem es für Waldbesitzende attraktiv ist, Laubholz gegen eine Vergütung nicht zu ernten, verschiebt die Mobilisierung der Senkenleistung hin zu deutlich höheren THG-Preisen. In der THG-Vermeidungskostenkurve für das „Basisszenario" in Abbildung 10 steuert die Waldsenke ca. -25 Mio. t CO_2-Äq. zur THG-Vermeidung bei. Mit den Annahmen in der Sensitivität (hoher Startpreis Holz) kann ein Beitrag der Waldsenke erst erwartet werden, wenn zuvor ca. -55 Mio. t CO_2-Äq. durch andere Maßnahmen realisiert werden. Da die Vermeidungskostenkurven für ein angepasstes Waldmanagement im „Basisszenario" und in der Sensitivität (hoher Startpreis Holz) sich bei THG-Preisen über 100 Euro/t CO_2-Äq. stark annähern, werden in beiden Modellläufen in Summe ähnliche Senken auf der Waldfläche erreicht.

In der Sensitivität (hoher H2-Preis) führt der hohe Wasserstoffpreis dazu, dass für die ambitionierte Reduktion der Laubholzentnahme deutlich höhere THG-Vermeidungskosten entstehen. Im THG-Kosten-Szenario werden mit THG-Vermeidungskosten von 143 Euro/t CO_2-Äq. die KSG-Ziele im LULUCF-Sektor erreicht. Dabei werden die THG-Vermeidungskosten über 100 Euro/t CO_2-Äq. von den Maßnahmen „Anpassung der Waldbewirtschaftung" (Abbildung 9) und „Schaffung zusätzlicher Waldflächen" (Abbildung 8) geprägt. Der Anstieg der THG-Vermeidungskosten in der Sensitivität (hoher H_2-Preis) wirkt damit direkt auf das Kostenniveau am oberen Ende der Kostenkurve, und es kann mit einem THG-Preis von ca. 220 Euro/t CO_2-Äq. gerechnet werden, um die KSG-Ziele im LULUCF-Sektor zu erreichen.

5.6 Diskussion der Sensitivitäten

Die Sensitivitätsanalysen zeigen, dass Änderungen bei den zentralen Annahmen einen deutlichen Einfluss auf die Höhe der THG-Vermeidungskosten haben können. In den betrachteten Fällen führen die veränderten Annahmen überwiegend zu höheren THG-Vermeidungskosten. Damit verringert sich die wirtschaftliche Attraktivität der Maßnahmen für den freiwilligen Kohlenstoffmarkt, da höhere Kosten je vermiedener bzw. gebundener Tonne CO_2-Äq. die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber alternativen Senken- oder Vermeidungsmaßnahmen reduzieren. Dies zeigt sich besonders deutlich bei der Nutzung von Gehölzstrukturen in Form von Hackschnitzeln. Erfolgt keine stoffliche Nutzung und damit längere Festlegung in Form von Holzprodukten, können die THG-Vermeidungsziele des KSP2026 für diese Maßnahmen unter den getroffenen Annahmen nicht in vollem Umfang erreicht werden. Für Paludikulturen zeigt sich hingegen ein entgegengesetzter Effekt. Durch die Anlage und Etablierung der Kulturen können die Senkenleistung gegenüber dem „Basisszenario" erhöht und die THG-Vermeidungskosten gesenkt werden.

Insgesamt zeigen die Sensitivitätsanalysen, dass die Wirtschaftlichkeit und Klimawirkung der betrachteten Maßnahmen stark von den getroffenen Annahmen abhängen. Für die Einordnung im Kohlenstoffmarkt ist daher nicht allein das „Basisszenario" ausschlaggebend, sondern auch die Robustheit der Maßnahmen gegenüber veränderten Rahmenbedingungen.

6 Fazit und Diskussion

Die Analyse zeigt, dass im LULUCF-Sektor erhebliche Potenziale zur THG-Minderung und zum Aufbau zusätzlicher Senken bestehen. Für rund zwei Drittel des THG-Vermeidungspotenzials bis 2045 in Höhe von -71,8 Mio. t CO_2-Äq. liegen die THG-Vermeidungskosten zwischen 10 und 60 Euro/t CO_2-Äq.. Trotz der niedrigen spezifischen THG-Vermeidungskosten vieler Maßnahmen ist ihre Umsetzung mit hohen absoluten Finanzierungsbedarfen verbunden. Insgesamt ergibt sich bis 2045 ein Finanzmittelbedarf von etwa 92 Mrd. Euro für die Erreichung des LULUCF-Ziels. Ein wesentlicher Kostenanteil entfällt auf die Kompensation von Wertverlusten und entgangenen Nutzungserträgen, da viele Maßnahmen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen umgesetzt werden. Damit spielt die Landwirtschaft auch eine zentrale Rolle für die Erreichung des LULUCF-Ziels.

Besonders relevant sind die Wiedervernässung landwirtschaftlich genutzter Moorstandorte und die Etablierung von Gehölzstrukturen. Die Moorvernässung weist unter den getroffenen Annahmen ein sehr hohes THG-Vermeidungspotenzial von -29,4 Mio. t CO_2-Äq. jährlich bei niedrigen spezifischen Kosten auf, ist absolut jedoch mit hohen Finanzierungsbedarfen verbunden. Die Gesamtkosten liegen bei rund 40 Mrd. Euro bzw. etwa einer Milliarde Euro jährlich, wenn sie über den angenommenen Wirkungszeitraum von 40 Jahren verteilt werden. Die Ergebnisse hängen stark von Annahmen zu Wirkungsdauer, Bodenrichtwerten und Kompensationszahlungen ab. Auch Gehölzstrukturen können relevante Beiträge zur THG-Vermeidung leisten. Ihre Kosten werden vor allem durch die Kompensation von Ertragsverlusten bestimmt, die je nach Standort und Betriebsform stark variieren. Die Klimawirkung hängt zudem wesentlich von der späteren Nutzung der Gehölze ab. Eine energetische Nutzung verringert die langfristige Kohlenstoffbindung, während eine stoffliche Nutzung zusätzliche Speicherwirkungen ermöglichen kann. Bei der Anpassung der Waldbewirtschaftung bestehen ebenfalls relevante Potenziale, die jedoch mit Unsicherheiten verbunden sind und teilweise erst zu hohen Vermeidungskosten von über 100 Euro/t CO_2-Äq. wirtschaftlich werden. Auch ein Großteil des Potenzials für die Schaffung zusätzlicher Waldflächen auf Ackerland liegt in den westlichen und südlichen Bundesländern im Bereich von über 100 Euro/t CO_2-Äq.. Im kostenbasierten LULUCF-Zielszenario tragen diese beiden Maßnahmen daher nur zu einem geringen Teil zur Zielerreichung des LULUCF-Sektors bei. Allerdings berücksichtigt die THG-Vermeidungskostenkurve auch nicht die Co-Benefits für den natürlichen Klimaschutz z. B. mit Blick auf Biodiversität, Biotopverbund, Boden- und auch Gewässerschutz, die viele der LULUCF-Maßnahmen bei sachgerechter Umsetzung haben.

Die Sensitivitätsanalysen unterstreichen, dass Wirtschaftlichkeit und Klimawirkung der betrachteten Maßnahmen stark von zentralen Annahmen und Entwicklungen abhängen. Höhere Umsetzungskosten, kürzere Wirkungszeiträume, veränderte Folgenutzungen oder steigende Bodenpreise können die spezifischen THG-Vermeidungskosten deutlich erhöhen. Besonders bei der Moorwiedervernässung zeigen sich Vorteile einer frühzeitigen Umsetzung und Flächensicherung, da steigende Bodenpreise die künftigen Kosten erheblich erhöhen können. Gleichzeitig begrenzen lange Planungs- und Genehmigungsverfahren, fehlendes Know-how sowie begrenzte personelle und technische Kapazitäten eine kurzfristige Skalierung. Für Paludikulturen zeigen die Sensitivitäten dagegen, dass zusätzliche Senkenleistungen und geringere THG-Vermeidungskosten möglich sind, sofern geeignete Technik, Vermarktungswege und tragfähige Nutzungskonzepte entwickelt werden.

Für die Finanzierung ergibt sich daraus ein differenziertes Bild. Einerseits liegen die berechneten THG-Vermeidungskosten vieler LULUCF-Maßnahmen unter den für 2045 angenommenen CO_2-Preisen in anderen Sektoren. Im Vergleich zu den heutigen THG-Preisen auf

dem freiwilligen Kohlenstoffmärkten werden zukünftig deutlich höhere Preise für THG-Emissionen aus fossilen Quellen erwartet. Im Projektionsbericht 2026 (Förster et al., 2026) wird für Emissionsberechtigungen im Europäischen Emissionshandelssystem für Treibhausgase (EU-ETS1) im Jahr 2045 ein THG-Preis von 187 Euro/t CO_2-Äq. angenommen. Für die Entwicklung der THG-Bepreisung in den Sektoren Wärme und Verkehr wird im Jahr 2045 ein Wert von 224 Euro/t CO_2-Äq. hinterlegt. Damit erscheinen natürliche Klimaschutzmaßnahmen aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive grundsätzlich attraktiv. Andererseits ist fraglich, ob freiwillige Kohlenstoffmärkte die erforderlichen Finanzvolumina in der Größenordnung von 92 Mrd. Euro tatsächlich mobilisieren können. Hinzu kommen methodische und regulatorische Anforderungen, etwa zur Zusätzlichkeit, zur Absicherung nicht-permanenter Senkenleistungen und zur langfristigen Sicherung der Klimawirkung. Nur wenn sichergestellt wird, dass diese Anforderungen erfüllt sind, kann ein wirksamer Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden. Der mit der CRCF-Verordnung geschaffene europäische Zertifizierungsrahmen kann hierfür – sofern die bestehenden Bedenken adressiert werden – eine wichtige Grundlage schaffen, ersetzt jedoch nicht die Notwendigkeit stabiler Finanzierungs-, Förder- und Governance-Strukturen.

Insgesamt zeigt die Analyse, dass der Landnutzungssektor wesentlich zur Erreichung der Klimaziele beitragen kann, mit zentralen Potenzialen bei der Moorwiedervernässung, der Etablierung von Gehölzstrukturen und der Anpassung der Waldbewirtschaftung. Voraussetzung für die Umsetzung sind jedoch verlässliche Finanzierungsstrukturen, beschleunigte Planungs- und Genehmigungsprozesse, sowie langfristige Anreize für Betriebe. Freiwillige Kohlenstoffmärkte können eine ergänzende Finanzierungsquelle darstellen und dazu beitragen, zusätzlich private Mittel für Klimaschutz- und Senkenleistungen zu mobilisieren. Sie ersetzen jedoch nicht die Notwendigkeit verlässlicher öffentlicher Förderinstrumente.

7 Quellenverzeichnis

BMEL (Hrsg.) (2024). Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten: Tabelle 5040100-000 [III Grundstückspreise, 225. Pachtentgelte für landwirtschaftliche Einzelgrundstücke]. https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/landwirtschaftliche-betriebe/pachtpreise-und-kaufwerte (02.06.2026).

Bockermann, C., Eickenscheidt, T. & Drösler, M. (2025). Greenhouse Gas Mitigation Potential of Temperate Fen Paludicultures. Global Change Biology, 31(8). https://doi.org/10.1111/gcb.70385

Böhm, C., Kanzler, M. & Pecenka, R. (2020). Untersuchungen zur Ertragsleistung (Land Equivalent Ratio) von Agroforstsystemen. Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg & Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie (Hrsg.). https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2021/03/35__Ertragsleistung.pdf (20.05.2026).

Böttcher, H., Hennenberg, K., Pfeiffer, M., Reise, J., Scheffler, M., Wiegmann, K. & Benndorf, A. (2026). Synergien zwischen Renaturierung und natürlichem Klimaschutz: Szenarienanalyse zu THG-Minderungspotenzialen von Maßnahmen im Landnutzungssektor zur Ausführung der EU-Wiederherstellungsverordnung. Umweltbundesamt (Hrsg.). https://doi.org/10.60810/openumwelt-8353

Böttcher, H., Hennenberg, K., Reise, J., Benndorf, A., Welle, T., Kreft, S., Endres, E., Eberl, J., Unseld, R. & Günther-Dieng, K. (2022). Entwicklung eines finanziellen Anreizsystems für zusätzliche Klimaschutz- und Biodiversitätsleistungen im Wald: Teilprojekt: Klimaschutzpfad Waldsenke im Rahmen des UBA Projekts „CARE: Transformation zu einem vollständig treibhausgasneutralen Deutschland“. Umweltbundesamt (Hrsg.). https://doi.org/10.60810/openumwelt-2533

Böttcher, H., Hennenberg, K. & Winger, C. (2018). FABio-Waldmodell: Modellbeschreibung Version 0.54. https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/FABio-Wald-Modellbeschreibung.pdf (30.07.2026).

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.) (2024). Der Wald in Deutschland: Ausgewählte Ergebnisse der vierten Bundeswaldinventur. https://www.bmleh.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/vierte-bundeswaldinventur.pdf (04.02.2026).

Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat (BMLEH) (2025). GAP-Strategieplan für die Bundesrepublik Deutschland [Version 7.1]. https://www.bmleh.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Landwirtschaft/EU-Agrarpolitik-Foerderung/gap-strategieplan-version-6-1.pdf (02.06.2026).

Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat (Hrsg.) (2026). Rahmenplan der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ 2026-2029. https://www.publikationen-bundesregierung.de/pp-de/publikationssuche/gak-rahmenplan-2026-2029-2430628 (03.06.2026).

Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (Hrsg.) (2025). Weiterentwicklung des Aktionsprogramms Natürlicher Klimaschutz: Vorschlag des BMUKN (Stand: 25.09.2025). https://www.bundesumweltministerium.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/natuerlicher_klimaschutz/250926_weiterentwicklung_ank.pdf (22.07.2026).

Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (Hrsg.) (2026a). Förderrichtlinie „Maßnahmen zur dauerhaften und weitgehenden Wiedervernässung land- und forstwirtschaftlich genutzter Moorböden und zur Unterstützung der land- und forstwirtschaftlichen

Nutzung wiedervernässter Moorbodenflächen“ (Förderrichtlinie Palu). https://www.bundesumweltministerium.de/download/foerderrichtlinie-palu (20.05.2026).

Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (Hrsg.) (2026b). Klimaschutzprogramm 2026: Kabinettsbeschluss vom 25. März 2026. https://www.bundesumweltministerium.de/download/klimaschutzprogramm-ksp-2026 (29.05.2026).

CO2news (2026). Strategic analysis of integrating methane emission reduction from livestock into the CRCF framework. https://www.co2news.sk/en/2026/03/01/strategic-analysis-of-integrating-methane-emission-reduction-from-livestock-into-the-crcf-framework/ (01.06.2026).

Dreisbach, N., Häußermann, U., Bach, M., Breuer, L., Döhler, H., Müller, H., Lohrberg, T. & Döhler, S. (2025). Entwicklung eines Modells zur Bewertung von THG-Minderungsmaßnahmen in der Landwirtschaft (E-MoLL): Abschlussbericht. Umweltbundesamt (Hrsg.). https://doi.org/10.60810/openumwelt-7675

Drexler, S., Gensior, A. & Don, A. (2021). Carbon sequestration in hedgerow biomass and soil in the temperate climate zone. Regional Environmental Change, 21, Artikel 74. https://doi.org/10.1007/s10113-021-01798-8

European Commission (2026). Commission Delegated Regulation (EU) of 9.7.2026 supplementing Regulation (EU) 2024/3012 of the European Parliament and of the Council by establishing the certification methodologies for carbon farming activities. https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/api/files/C(2026)4666_0/090166e5303f9d0c (23.07.2026).

European Union (2024). Regulation (EU) 2024/3012 of the European Parliament and of the Council of 27 November 2024 establishing a Union certification framework for permanent carbon removals, carbon farming and carbon storage in products: CRCF regulation. http://data.europa.eu/eli/reg/2024/3012/oj (04.06.2026).

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.) (2023). Basisdaten Bioenergie Deutschland 2024. https://www.fnr.de/fileadmin/Projekte/2023/Mediathek/Broschuere_Basisdaten_Bioenergie_2023_web.pdf (24.11.2023).

Fehrenbach, H., Bischoff, M., Böttcher, H., Reise, J. & Hennenberg, K. (2022). The missing limb: Including impacts of biomass extraction on forest carbon stocks in greenhouse gas balances of wood use. Forests, 13, Artikel 365, 1–14. https://doi.org/10.3390/f13030365

Förster, H., Repenning, J., Appenfeller, D., Borkowski, K., Braungardt, S., Bürger, V., Emele, L., Görz, W. K., Haller, M., Hennenberg, K., Jörß, W., Kasten, P., Koch, M., Ludig, S., Moosmann, L., Nissen, C., Scheffler, M., Seibert, D., Steinbach, I., . . . Werner, C. (2026). Treibhausgas-Projektionen 2026 für Deutschland (Projektionsbericht 2026). Umweltbundesamt (Hrsg.). https://doi.org/10.60810/openumwelt-8567

Förster, H., Repenning, J., Borkowski, K., Braungardt, S., Bürger, V., Cook, V., Emele, L., Görz, W. K., Haller, M., Hennenberg, K., Jörß, W., Kasten, P., Koch, M., Ludig, S., Mendelevitch, R., Moosmann, L., Nissen, C., Scheffler, M., Steinbach, I., . . . Vos, C. (2025). Treibhausgas-Projektionen 2025 für Deutschland (Projektionsbericht 2025). Umweltbundesamt (Hrsg.). https://doi.org/10.60810/openumwelt-7906

Fuß, R., Gensior, A., Stümer, W., Laggner, A., Adami, S., Drexler, S., Piayda, A., Scherstjanoi, M. & Rüter, S. (2025). LULUCF-Inventare der Bundesländer Deutschlands: Submission 2025: Forschungsdaten. Thünen-Institut. https://doi.org/10.3220/253-2025-35

Harthan, R., Repenning, J., Bei der Wieden, M., Braungardt, S., Cook, V., Emele, L., Haller, M., Hennenberg, K., Jörß, W., Ludig, S., Moosmann, L., Pfeiffer, M., Scheffler, M., Seibert, D., Steinbach, I., Wiegmann, K., Lotz, M. T., Mandel, T., Rehfeldt, M. & Yu, S. (2026). Treibhausgasneutralität in Deutschland: CARETarget: Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt „Transformation zu einem vollständig

treibhausgasneutralen Deutschland (CARE)“. Umweltbundesamt (Hrsg.). https://doi.org/10.60810/openumwelt-8099

Hennenberg, K., Böttcher, H., Reise, J. & Pfeiffer, M. (2024). Entwicklungen der CO2-Speicherleistung des Waldes frühzeitiger abschätzen – Einordung der Ergebnisse der Bundeswaldinventur. Öko-Institut. Blog. https://www.oeko.de/blog/entwicklungen-der-co2-speicherleistung-des-waldes-fruehzeitiger-abschaetzen-einordung-der-ergebnisse-der-bundeswaldinventur/ (23.06.2025).

Hennenberg, K., Pfeiffer, M., Benndorf, A., Böttcher, H., Reise, J., Mantau, U., Köppen, S., Fehrenbach, H. & Bürck, S. (2024). Auswirkungen der energetischen Nutzung forstlicher Biomasse in Deutschland auf deutsche und internationale LULUCF-Senken (BioSINK): Abschlussbericht. Umweltbundesamt (Hrsg.). https://doi.org/10.60810/openumwelt-7476

Hennenberg, K., Pfeiffer, M., Böttcher, H., Scheffler, M. & Dennis Appenfeller, D. (2026). Klimaschutzszenarien 2050: Modellierung, Analyse und Vergleich von Zielszenarien - Sektor LULUCF. Öko-Institut (Hrsg.). https://www.oeko.de/publikation/klimaschutzszenarien-2050-modellierung-analyse-und-vergleich-von-zielszenarien-sektor-lulucf/ (01.06.2026).

Intergovernmental Panel on Climate Change (2019). 2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 5 - Waste. Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. & Federici, S. (Hrsg.). https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol5.html (17.06.2025).

Jochem, D. (2025). Thünen-Einschlagsrückrechnung 2024: Holzeinschlag und Rohholzverwendung. J.H. von Thünen-Institut. https://doi.org/10.3220/253-2025-219

Kehl, C. & Revermann, C. (2024). Naturgemäßer Waldumbau in Zeiten des Klimawandels. https://www.bundestag.de/resource/blob/1059508/anlagenkonvolut-88_sitzung.pdf (01.06.2026).

Kuhla, B. (2025, 15. Mai). Wirksamkeit und Kontrolle der Methanminderung nach Fütterung von 3-Nitrooxypropanol an Milchkühe: Vortrag im Rahmen der Webinar-Serie: Agrarforschung zum Klimawandel. Forschungsinstitut für Nutztierbiologie. https://www.dafa.de/wp-content/uploads/DAFA-Webinar-THG-Bilanzierung-20250515-Kuhla.pdf (01.06.2026).

Luick, R., Hennenberg, K., Leuschner, C., Grossmann, M., Jedicke, E., Schoof, N. & Waldenspuhl, T. (2021). Urwälder, Natur- und Wirtschaftswälder im Kontext von Biodiversitäts- und Klimaschutz - Teil 1: Funktionen für die biologische Vielfalt und als Kohlenstoffsenke und -speicher. Naturschutz und Landschaftsplanung, 53(12), 12–25. https://doi.org/10.1399/NuL.2021.12.01

Merrell, D., Pittelkow, C. M. & Gaudin, A. C. M. (2025). Stability, resilience, and productivity of horticultural agroforestry systems. A meta-analysis. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-7459153/v1

Nielsen, C. K., Jørgensen, U. & Lærke, P. E. (2021). Root-To-Shoot Ratios of Flood-Tolerant Perennial Grasses Depend on Harvest and Fertilization Management: Implications for Quantification of Soil Carbon Input. Front. Environ. Frontiers in Environmental Science, 9. https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.785531

Pfeiffer, M., Grote, R., Rock, J., Schelhaas, M.-J., Huth, A., Filipek, S., Reyer, C. P. O., Sakschewski, B., Bereswill, S., Nieberg, M., Hetzer, J., Anders, T., Hickler, T., Mäkelä, A., Fischer, R., Knapp, N., Hofer, A., Rammig, A., van Laar, T. W., . . . Hennenberg, K. (2026). From simulation to sustainability: using forest growth models for indicator-based bioeconomy monitoring. Regional Environmental Change, 26(1). https://doi.org/10.1007/s10113-025-02502-w

Pfeiffer, M., Hennenberg, K., Reise, J., Benndorf, A., Böttcher, H. & Nieberg, M. (2025). Szenarien der Waldentwicklung unter veränderten Klimabedingungen: Sachbericht zum Teilvorhaben 1 und Teilvorhaben 4 im Verbundvorhaben DIFENs. Öko-Institut (Hrsg.). https://www.oeko.de//fileadmin/oekodoc/DIFENs_Sachbericht_Waldmodellierung.pdf (25.09.2025).

Reise, J., Hennenberg, K., Benndorf, A. & Böttcher, H. (2024). Klimaschutzmaßnahmen im LULUCF-Sektor: Potenziale und Sensitivitäten: Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt Transformation zu einem vollständig treibhausgasneutralen Deutschland (CARE). Umweltbundesamt (Hrsg.). https://doi.org/10.60810/openumwelt-2672

Reuse, C. & Langhof, M. (2025). The impact of tree height and distance on crop yields in a temperate short rotation alley cropping agroforestry system: a multi-year study. Agroforestry Systems, 99(6). https://doi.org/10.1007/s10457-025-01237-1

Rock, J., Adam, S., Bender, S., Dunger, K., Rüter, S. & Stümer, W. (2025). Effects of the 2018 - 2020 disturbances on the projected carbon balance of German forests and LULUCF climate protection targets. Thünen-Institut (Hrsg.). https://doi.org/10.3220/253-2025-33

Soimakallio, S., Böttcher, H., Niemi, J., Mosley, F., Turunen, S., Hennenberg, K., Reise, J. & Fehrenbach, H. (2022). Closing an open balance: The impact of increased tree harvest on forest carbon. GCB Bioenergy, Artikel gcbb.12981. Vorab-Onlinepublikation. https://doi.org/10.1111/gcbb.12981

Statistisches Bundesamt (Destatis) (2025). Landwirtschaftliche Betriebe, Landwirtschaftlich genutzte Fläche: Deutschland, Jahre, Bodennutzungsarten: Code 41271-0002. https://genesis.destatis.de/datenbank/online/statistic/41271/table/41271-0002 (22.07.2026).

Statistisches Bundesamt (Destatis) (2026a). Preisindizes für Bauwerke, Wohngebäude und Nichtwohngebäude: Konjunkturindikatoren. https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Konjunkturindikatoren/Preise/bpr110.html#241648 (02.06.2026).

Statistisches Bundesamt (20.03.2026b). Erzeugerpreise für Dienstleistungen im Jahr 2025 um 2,2 % gestiegen. Pressemitteilung. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2026/03/PD26_094_61311.html (02.06.2026).

Tiemeyer, B., Freibauer, A., Albiac Borraz, E., Augustin, J., Bechtold, M., Beetz, S., Beyer, C., Ebli, M., Eickenscheidt, T., Fiedler, S., Förster, C., Gensior, A., Giebels, M., Glatzel, S., Heinichen, J., Hoffmann, M., Höper, H., Jurasinski, G., Laggner, A., . . . Drösler, M. (2020). A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. Ecological Indicators, Artikel 105838. Vorab-Onlinepublikation. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105838

Umweltbundesamt (UBA) (2025a). Datentabelle zu den Treibhausgas-Emissionen 2024. https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/11867/dokumente/datentabelle_zu_den_treibhausgas-emissionen_2024.xlsx (22.07.2026).

Umweltbundesamt (Hrsg.) (2025b). Emissionsübersichten Treibhausgase Emissionsentwicklung 1990-2023 – Treibhausgase: CRT-Tabellen 1990-2023. https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/govreg/inventory/colz4yinw/envz9ha0a/ (01.06.2026).

Umweltbundesamt (Hrsg.) (2025c). Submission under the United Nations Framework Convention 2025: National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990–2023. https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/11850/publikationen/40_2025_cc.pdf (22.07.2026).

Vos, C., Rösemann, C., Haenel, H.-D., Dämmgen, U., Döring, U., Wulf, S., Eurich-Menden, B., Freibauer, A., Döhler, H., Steuer, B., Osterburg, B. & Fuß, R. (2025). Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2023: Input data and emission resultsThünen-Institut. https://doi.org/10.3220/DATA20250219095918-0

Waldbesitzer-Portal Bayern (2026). Finanzielle Förderung waldbaulicher Maßnahmen (WALDFÖPR). https://www.waldbesitzer-portal.bayern.de/unser_angebot/waldbauliche-foerderung/index.html (23.07.2026).

Wichmann, S., Nordt, A. & Schäfer, A. (2022). Lösungsansätze zum Erreichen der Klimaschutzziele und Kosten für die Umstellung auf Paludikultur: Hintergrundpapier zur Studie „Anreize für Paludikultur zur Umsetzung der Klimaschutzziele 2030 und 2050“. Deutsche Emissionshandelsstelle im Umweltbundesamt (Hrsg.). https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/projektmechanismen/Hintergrundpapier-loesungsansaetze-paludikultur.html?nn=8596366 (06.04.2023).

Wissenschaftlicher Beirat für Waldpolitik (Hrsg.) (2021). Die Anpassung von Wäldern und Waldwirtschaft an den Klimawandel: Gutachten des Wissenschaftlichen Beirates für Waldpolitik. https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ministerium/Beiraete/waldpolitik/gutachten-wbw-anpassung-klimawandel.pdf (09.02.2022).

A Landwirtschaft

A.1 Annahmen und Daten

A.1.1 Moorstandorte im Modell

Das LiSE-Modell differenziert alle Betriebstypen des Modells in Betriebe auf Moorstandorten und Betrieben auf mineralischen Böden. Da eine flächenspezifische Zuordnung von landwirtschaftlich genutzten organischen Böden auf einzelne Betriebstypen nicht möglich ist[32], wird im LiSE-Modell ein gröberer Ansatz für die Zuordnung gewählt. Grundlage ist der Anteil der Moorstandorte am gesamten Dauergrünland und Ackerland, der anhand der Inventar-Daten 2025[33] auf Bundeslandebene ermittelt wird. Auf Basis der Buchführungsergebnisse wird anschließend bestimmt, welcher Anteil des Grünlands in einem Bundesland von Milchviehbetrieben, Ackerbaubetrieben, sonstigen Futterbaubetrieben, Gemischtbetrieben und Veredelungsbetrieben bewirtschaftet wird. Auf diesen Grünlandanteil wird der jeweilige landesspezifische Anteil an Moorgrünland übertragen.

Im Modell wird angenommen, dass die betroffenen Betriebe ausschließlich Grünland vollständig auf Moorstandorten bewirtschaften. Der Anteil des Ackerlands auf organischen Böden macht aufgrund der insgesamt geringeren Flächenkulisse nur einen Teil des betrieblichen Ackerlands aus. Die folgende Tabelle 24 zeigt das Vorgehen exemplarisch für Niedersachsen. Rund 50 % des Grünlands in Niedersachen wird von Milchviehbetrieben im Haupterwerb bewirtschaftet. Unter den getroffenen Annahmen liegt damit auch der überwiegende Teil des organischen Grünlands in Milchviehbetrieben. Neben den Milchviehbetrieben wird ein Großteil des Grünlands von Nebenerwerbsbetrieben und sonstigen Futterbaubetrieben bewirtschaftet. Auf die restlichen Betriebsformen entfallen lediglich 15 % der Grünlandflächen.

Tabelle 24: Zuordnung des Moorgrünlands zu einzelnen Betriebstypen am Beispiel Niedersachen

Tabellenkopf		Milch-vieh	Gemischt	Sonst. Futter-bau	Acker-bau	Verede-lung	Öko	Neben-erwerb*	NI gesamt
Anzahl Betriebe	Stk	5.874	3.001	2.382	4.610	3.733	662	-	-
Grünland pro Betrieb	ha	58,57	10,47	37,19	4,76	5,0	42,7	-	-
Gesamtgrünland pro Betriebstyp	ha	344.034	31.403	88.579	21.962	18.661	28.252	-	-
Anteil Moorgrünland	%	45,8 %	45,8 %	45,8 %	45,8 %	45,8 %	45,8 %	45,8 %	45,8 %
Moorgrünland gesamt	**ha**	**157.567**	**14.383**	**40.569**	**10.059**	**8.547**	**12.946**	**71.635**	**315.964**

Anmerkung: Für die Nebenerwerbsbetriebe liegen keine flächenspezifischen Daten auf Bundeslandebene vor. Daher wurden die Anteile über ein Abzugsverfahren ermittelt. Durch dieses Vorgehen werden auch Flächen erfasst, die als

[32] Für diese Zuordnung würden Invekos Daten für alle Bundesländer benötigt, auf welche im Rahmen dieses Projektes nicht zugegriffen werden kann.

[33] https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00114590

Kleinbetrieb (unter 25.000 Euro Standardoutput) nicht in den Buchführungsergebnissen auftauchen.
Quelle: Eigene Darstellung auf Basis RMD Daten 2025 und Buchführungsergebnisse 2025

Dieser Ansatz bildet die tatsächlichen Bewirtschaftungsverhältnisse nur eingeschränkt ab, da die meisten Betriebe neben organischen Böden auch Flächen auf mineralischen Böden bewirtschaften. Entsprechend ist das ausgewiesene Minderungspotenzial mit Unsicherheiten verbunden. Beim Grünland sind diese weniger hoch als bei Ackerland. Denn Grünland wird v. a. für die Erzeugung von Raufutter für Wiederkäuer genutzt, fällt also mit dem Bestand dieser Tierkategorie zusammen. Es zeigt sich aber, dass aufgrund der Verteilung des Grünlands und der Wiederkäuer in den Betrieben vor allem Futterbaubetriebe (Milchvieh und sonstiger Futterbau) sowie Nebenerwerbs- bzw. Kleinbetriebe für die Moorvernässung in Niedersachen relevant sind. Das gewählte Vorgehen ermöglicht zudem eine Abschätzung der Größenordnung der THG-Vermeidungskosten in den einzelnen Betriebstypen.

A.1.2 Ermittlung des Wertverlustes von Ackerland, Grünland und Forst

Auf Basis des Bodenrichtwertinformationssystem für Deutschland (BORIS-Portal[34]), aber auch weiterer öffentlich verfügbarer Datenquellen wurden die Bodenrichtwerte für die jeweiligen Regionen ermittelt. Dabei verbleiben Unsicherheiten, da die genaue Lage der Flurstücke und damit der Bodenrichtwert erst bei entsprechender Umsetzung in die Praxis bekannt wird. Um diese Unsicherheiten abzubilden, wurden für die relevanten Regionen jeweils minimale und maximale Bodenrichtwerte recherchiert und daraus ein Mittelwert gebildet. Die Bodenrichtwerte wurden für die Berechnung der Maßnahmenkosten der Wiedervernässung von land- und forstwirtschaftlichen Moorstandorten (Kapitel 3.2 und 3.3) als auch für die Schaffung zusätzlicher Waldflächen aus Ackerland (Kapitel 3.6) verwendet. Die folgende Tabelle zeigt die Bodenrichtwerte für die verschiedenen Landnutzungskategorien.

Tabelle 25: Überblick Bodenrichtwert für Ackerland, Grünland und Forst für die Bundesländer in Euro pro ha

Bundesland	Ackerland	Grünland	Forst
BW	53.421	35.488	11.250
BY*	114.947	43.664	34.000
BB	13.241	9.194	3.144
HE	33.585	32.398	8.250
MV	23.845	9.553	4.880
NI	66.694	22.683	6.591
NW	98.373	54.192	8.333
RP	12.500	9.750	3.250
SL	16.000	11.500	4.250
SN	20.958	8.590	2.513
ST	16.561	8.720	2.313

[34] https://www.bodenrichtwerte-boris.de/boris-d/?lang=de

Bundesland	Ackerland	Grünland	Forst
SH	35.588	19.883	12.000
TH	9.845	7.429	2.913
Nebenerwerb	39.658	21.003	-

Anmerkung: Für Bayern sind nicht für alle Landkreise die Daten aus dem BORIS-Portal öffentlich verfügbar. Daher wurde für einen Großteil der Landkreise die Daten auf Basis von Pachtpreisen skaliert.
Quelle: Eigene Berechnung auf Basis BORIS 2026

A.1.3 Ermittlung der Standarddeckungsbeiträge

Die Kompensation von kurzfristigen Einkommenseinbußen durch die Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen erfolgt auf der Basis von Standarddeckungsbeiträgen. Da unklar ist, auf welchen Betriebsflächen die Wiedervernässung oder die Anlage von Gehölzstrukturen stattfinden wird, wird ein Durchschnittswert pro Hektar ermittelt. Die Standarddeckungsbeiträge wurden für den jeweiligen Anbaumix der einzelnen Betriebstypen mit Hilfe des Standarddeckungsbeitragsrechners des KTBL ermittelt. Es werden die Standarddeckungsbeiträge für einen 5-Jahresdurchschnitt der Jahre 2019 bis 2024 verwendet. Für Grünland werden die Standarddeckungsbeiträge der Jahre 2019-2024 direkt aus dem KTBL-Standarddeckungsbeitragsrechner für die Mittelwertbildung für die einzelnen Bundesländer herangezogen. Für den Ökolandbau wurde der konventionelle Standarddeckungsbeitrag auf Bundeslandebene übernommen und mit dem auf Betriebsebene typischen Fruchtartenmix berechnet.

Tabelle 26: Überblick Standarddeckungsbeiträge pro Betriebstyp in den einzelnen Bundesländern für Ackerland und Grünland (in Euro/ha)

Bundesland	Milch-vieh	Ge-mischt	Sonst. Futter-bau	Acker-bau	Verede-lung	Juris-tische Perso-nen	Öko-landbau	Grün-land
BW	960	1.093	1.756	1.031	1.180	-	602	437
BY	833	1.021	918	1.606	957	-	569	577
BB	319	470	269	628	-	667	302	131
HE	808	925	774	1.188	928	-	559	260
MV	734	-	709	1.052	-	1.167	-	139
NI	880	1.400	920	2.288	1.158	-	742	261
NW	921	1.355	922	2.089	1.120	-	556	153
RP	764	1.012	689	1.062	-	-	614	238
SL	528	-	515	715	-	-	-	279
SN	634	804	642	934	-	924	542	233
ST	565	704	548	892	-	820	417	128
SH	886	1.170	861	1.170	-	-	-	419

Bundesland	Milch-vieh	Ge-mischt	Sonst. Futter-bau	Acker-bau	Verede-lung	Juris-tische Perso-nen	Öko-landbau	Grün-land
TH	691	870	605	1.004	-	962	663	213
Nebenerwerb	882	933	727	995	894	-	-	264

Quelle: Eigene Berechnung auf Basis Buchführungsergebnisse 2025 und KTBL 2026

A.1.4 Weitere Tabellen zur Darstellung von Annahmen und verwendeten Daten

Für die Berechnung der Emissionseinsparungen pro Hektar für die Wiedervernässung von landwirtschaftlichen Moorstandorten (Kapitel 3.2) wurden die folgenden bundeslandspezifischen Emissionsfaktoren verwendet.

Tabelle 27: Emissionsfaktor für die landwirtschaftliche Nutzung trockengelegter Moorstandorte nach Bundesländern in t CO_2-Äq./ha (Mittelwert 2014 bis 2023)

Bundesland	Ackerland	Grünland
BW	24,03	21,71
BY	28,04	23,85
BB	30,00	27,84
HE	29,08	24,79
MV	25,93	23,56
NI	24,84	22,95
NW	27,55	26,50
RP	24,51	25,78
SL	17,06	16,75
SN	30,30	28,91
ST	28,97	28,38
SH	12,97	18,41
TH	26,11	26,39
NE	25,43	24,30

Anmerkung: Ohne N_2O-Emissionen aus der Mineralisierung, diese werden im Sektor Landwirtschaft berichtet.
Quelle: Eigene Berechnung auf Basis Fuß et al. (2025)

Für die Berechnung der CO_2-Bindung der Schaffung von zusätzlichen Waldflächen auf Ackerland wurde der Emissionsfaktor (Kapitel 3.6) aus dem THG-Inventar mit den folgenden Faktoren für die einzelnen Bundesländer skaliert.

Tabelle 28: Skalierungsfaktor für den Zuwachs des Vorrates im Wald nach Bundesländern*

Bundesland	Faktor
BW	104 %
BY	114 %
BB	92 %
HE	86 %
MV	116 %
NI	100 %
NW	94 %
RP	93 %
SL	96 %
SN	98 %
ST	88 %
SH	68 %
TH	118 %
DE	100 %

* für Laubbäume, für Baumaltersklasse 21 bis 40 Jahre

Quelle: Eigene Berechnung auf Basis Bundeswaldinventur (BMEL, 2024)

Für die Berechnung der weiteren Abstockung von Tierbeständen in Moorgebieten (Kapitel 5.2) wurden die folgenden Daten zu Grunde gelegt.

Tabelle 29: Überblick über Betriebstypen mit zusätzlicher Tierbestandsreduktion in der Sensitivität

Betriebstyp	GVE/ha Grünland	Anteil Futterfläche an gesamter LF
BW-Milchvieh	2,32	79 %
BY-Milchvieh	2,63	81 %
NI-Milchvieh	2,88	92 %
NW-Milchvieh	3,25	83 %
RP-Milchvieh	1,88	77 %
SL-Milchvieh	1,58	76 %
SN-Milchvieh	2,74	64 %
SH-Milchvieh	3,20	80 %
Nebenerwerb-Milchvieh	1,45	85 %
BY-Futterbau	3,75	68 %

Betriebstyp	GVE/ha Grünland	Anteil Futterfläche an gesamter LF
MV-Futterbau	2,89	62 %
NI-Futterbau	3,71	84 %
NW-Futterbau	5,33	73 %
SN-Futterbau	1,59	73 %
ST-Futterbau	1,84	64 %
SH-Futterbau	2,85	83 %
BW-Ökolandbau	1,79	63 %
BY-Ökolandbau	1,51	77 %
NW-Ökolandbau	1,41	77 %

Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut, auf Basis BMELH Buchführungsergebnisse 2024[35]

[35] https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/testbetriebsnetz/testbetriebsnetz-landwirtschaft-buchfuehrungsergebnisse

B LULUCF

B.1 Weitere Aspekte der Modellierung

B.1.1 Unterschiede in der Modellierung des LULUCF-Sektors zwischen MWMS-FABio und MWMS-PB25

Das MWMS wurde auf Basis der Angaben in Förster et al. (2025) im LULUCF-Modell FABio-Land parametrisiert. Da FABio-Land – wie der UBA-Projektionsbericht – die Daten des THG-Inventars verwendet und die Fortschreibungslogiken mit denen im Projektionsbericht vergleichbar sind, liegen die Ergebnisse beider Abbildungen des MWMS in einer vergleichbaren Größenordnung, und auch der Trend im Zeitverlauf ist vergleichbar (Abbildung 20). Im Detail treten aber Unterschiede für die einzelnen Quellgruppen auf: in FABio-Land wird z. B. eine stärkere Senkenleistung für den Holzproduktspeicher berechnet, die Senke im Wald zeigt weniger Schwankungen und die Quellen in Ackerland, Grünland und Feuchtgebieten[36] sind in Summe höher.

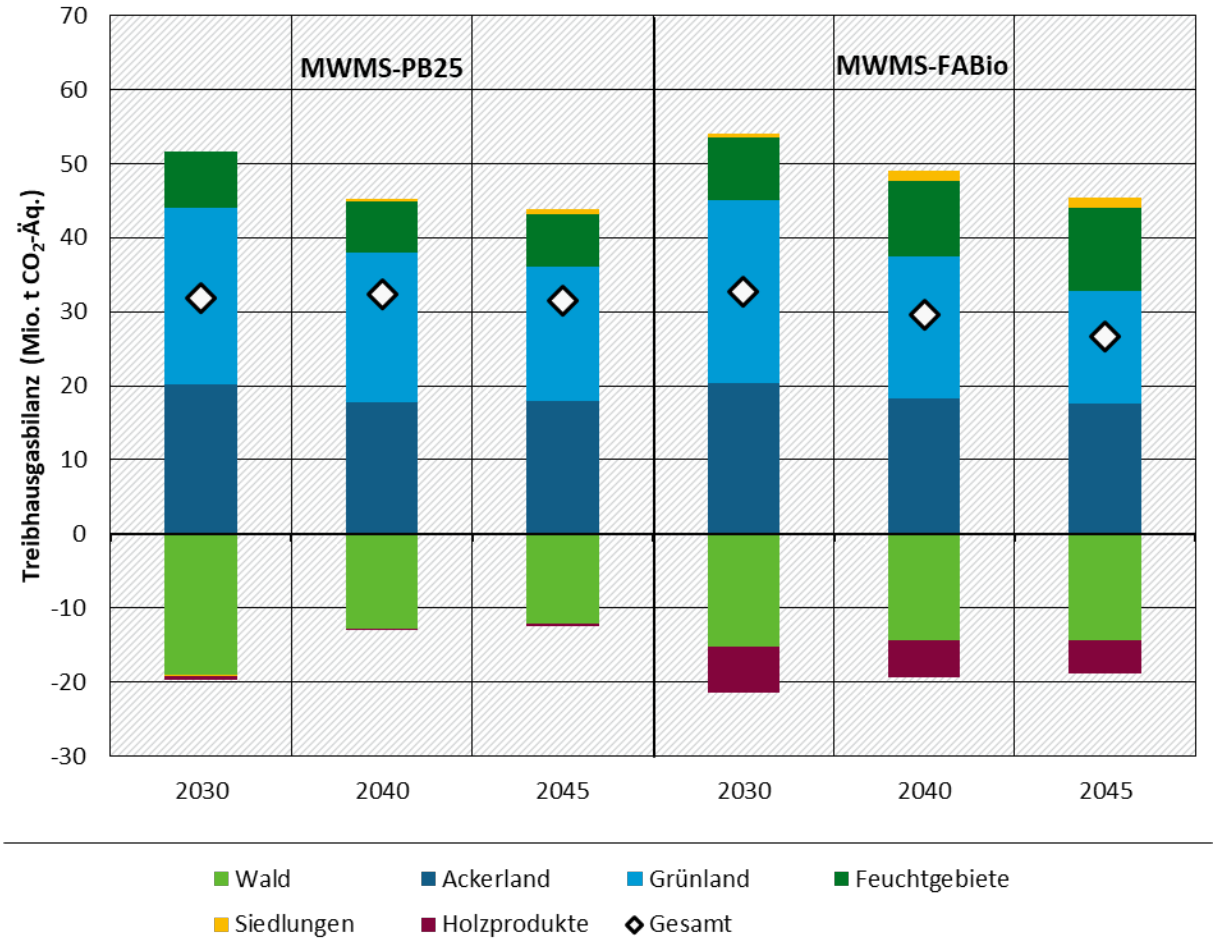
Diese Unterschiede zeigen zwei Punkte:

- Trotz der Einstellung von vergleichbaren Annahmen zur Flächenentwicklung als wichtiger Treiber in der LULUCF-Modellierung unterscheiden sich die Ergebnisse zwischen den Modellierungen.
- Um herauszufinden, wie Unterschiede zustanden kommen, wäre ein Vergleich von angenommenen Emissionsfaktoren (z. B. bei wiedervernässten Flächen), der Umgang mit jährlichen Schwankungen (z. B. beim Bodenkohlenstoff in mineralischen Waldböden) und angenommene Zuflüsse in den Holzproduktspeicher im Detail zu analysieren.

Eine Ensemble-Modellierung, d. h. eine enge Abstimmung von getroffenen Annahmen und ein detaillierter Vergleich von vorgenommenen Parametrisierungen und Modellalgorithmen, ist hilfreich, um Unsicherheiten von Modellergebnissen aufzuzeigen. Mit Blick auf den Projektionsbericht wäre es sinnvoll, für den LULUCF-Sektor eine derartige Ensemble-Modellierung durchzuführen, um – trotz bestehender Unsicherheiten – die Richtungssicherheit der Ergebnisse zu stärken.

[36] In FABio-Land werden wiedervernässte Flächen als Feuchtgebiete geführt, im PB-2025 – soweit aus der Beschreibung erkennbar – weiter als Acker- und Grünland. Aus dem Grund sind für einen Vergleich der Modellergebnisse die Kategorien Ackerland, Grünland und Feuchtgebiete zusammen zu betrachten.

Abbildung 20: Vergleich der Ergebnisse für den LULUCF-Sektor zum MWMS aus dem Projektionsbericht 2025 und modelliert in FABio-Land



PB25 = Projektionsbericht 2025, MWMS = Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario, FABio = Forestry and Agriculture Biomass Model.

Quelle: Förster et al. (2025) und eigene Berechnungen

B.1.2 Methodik Holzproduktespeicher in FABio-Land

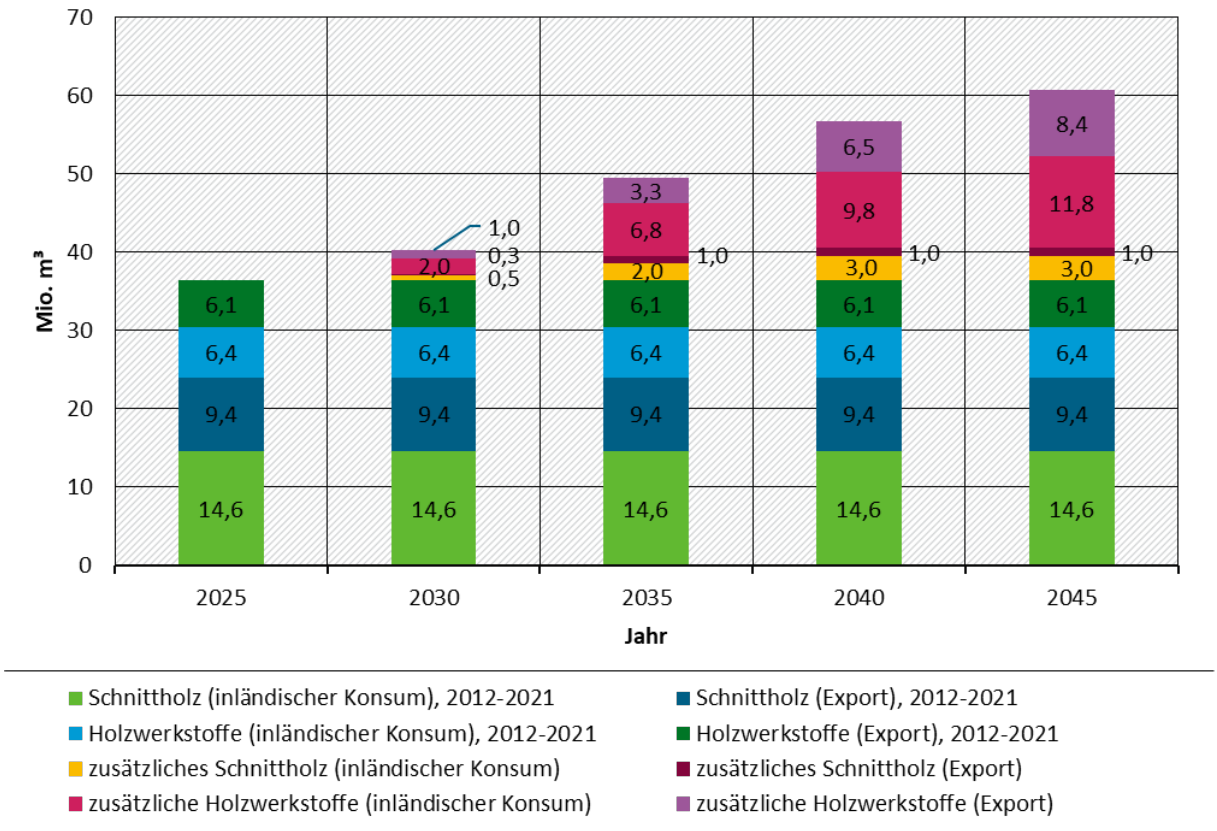
In FABio-Land wird die Veränderung der Kohlenstoffspeicherung in Holzprodukten, dem sogenannten Holzproduktspeicher (*harvested wood products*, HWP) entsprechend der Methode in Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2019) abgebildet. Neue Holzprodukte gelten als Zufluss in den HWP und Holzprodukte verlassen den HWP am Ende ihrer Nutzung (Abfluss). Dieser Abfluss wird anhand einer Halbwertszeit-Funktion berechnet. Dabei bestimmt die Halbwertszeit die Verweildauer von Holzprodukten im HWP[37]. Für die Höhe des Zuflusses werden zu Initialisierung die Zuflussdaten aus dem Nationalen THG-Inventar genutzt. Mit den Daten der Jahre 1990 bis 1994 wird die Höhe des HWP abgeschätzt und anschließend mit den Zuflüssen der berichteten Jahre bis 2024 fortgeschrieben (vgl. IPCC 2019). Der Zufluss kann aus frisch geerntetem Holz wie Waldholz oder aus wiederverwertetem Holz wie Altholz in Spanplatten oder Papierrecycling stammen. Bei der Modellierung bestimmt die Kombination aus Zufluss und Lebensdauer der Holzprodukte zeitverzögert den Abfluss. Die Summe aus Zufluss

[37] Nach IPPC (2019) angenommene Halbwertszeiten: 35 Jahre für Schnittholz, 25 Jahre für Holzwerkstoffe und 2 Jahre für Papier/Pappe.

(C-Festlegung) und Abfluss (C-Freisetzung) in einem Jahr ergibt die jährliche Veränderung der C-Bilanz des Holzproduktespeichers und damit die CO_2-Emissionen (positiv oder negativ). Der Zufluss in den HWP ab dem Jahr 2025 wird als Mittelwert der Jahre 2015 bis 2024 als Fortschreibung angenommen. Darauf aufbauend kann der Zufluss in FABio-Land weiter erhöht oder verringert werden (vgl. Harthan et al., 2026).

In Harthan et al. (2026) werden als Startwert die Zuflüsse an langlebigen Holzprodukten[38] in den Holzproduktspeicher der Mittelwert der Jahre 2014 bis 2023 mit gut 38 Mio. m^3 pro Jahr konstant fortgeschrieben. Dies entspricht der Annahme zum MWMS in FABio-Forest (siehe Abbildung 20). Bis zum Jahr 2045 wird ein zusätzlicher Zufluss an langlebigen Holzprodukten von gut 24 Mio. m^3 bzw. eine Steigerung um 63 % abgebildet (Abbildung 21). Zudem wird für die kurzlebigen Holzprodukte Papier/Pappe bis zum Jahr 2045 eine leichte Abnahme um -1,5 Mio. m^3 angenommen.

Abbildung 21: Zusätzlicher Zufluss und mittlerer Zufluss der Jahre 2014-2023 an langlebigen Holzprodukten in den Holzproduktspeicher, 2025-2045



Quelle: CARETarget in Harthan et al. (2026)

Im MWMS führt der als konstant angenommene Zufluss in den Holzproduktspeicher bis zum Jahr 2045 zu einer THG-Bilanz von -4,5 Mio. t CO_2-Äq.. Mit der deutlichen Steigerung der Nutzung langlebiger Holzprodukte (siehe Tabelle 30) verbessert sich die CO_2-Einbindung im Holzproduktspeicher bis zum Jahr 2045 um -17,9 Mio. t CO_2-Äq., so dass die THG-Bilanz in diesem Jahr in Summe einen Wert von -22,4 Mio. t CO_2-Äq. annimmt.

[38] Als langlebige Holzprodukte werden Schnittholz (Halbwertszeit = 35 Jahre) und Holzwerkstoffe (Halbwertszeit = 25 Jahre) zusammengefasst. Demgegenüber stehen Papier/Pappe als kurzlebige Holzprodukte (Halbwertszeit = 2 Jahre).

Tabelle 30: Analyse THG-Vermeidung im Holzproduktspeicher, 2025-2045

Kategorie (Mio. t CO_2-Äq.)	2025	2030	2035	2040	2045
T (Holzproduktspeicher)	0,0	-3,0	-10,5	-16,3	-17,9
MWMS	-7,1	-6,2	-5,5	-5,0	-4,5
Summe	-7,1	-9,2	-16,0	-21,3	-22,4

Quelle: Eigene Berechnungen, vgl. CARETarget in Harthan et al. (2026)