

CLIMATE CHANGE

21/2026

Teilbericht

Synergien zwischen Renaturierung und natürlichem Klimaschutz

Szenarienanalyse zu THG-Minderungspotenzialen im
Landnutzungssektor im Zuge der Ausführung der EU-
Wiederherstellungsverordnung

von:

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

Herausgeber:

Umweltbundesamt

CLIMATE CHANGE 21/2026

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

Forschungskennzahl 3723 NK 901 0
FB002059

Teilbericht

Synergien zwischen Renaturierung und natürlichem Klimaschutz

Szenarienanalyse zu THG-Minderungspotenzialen im
Landnutzungssektor im Zuge der Ausführung der EU-
Wiederherstellungsverordnung

von

Hannes Böttcher, Klaus Hennenberg, Mirjam Pfeiffer,
Judith Reise, Margarethe Scheffler, Kirsten Wiegmann,
Anke Benndorf
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:

Februar 2026

Redaktion:

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

DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-8353>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Februar 2026

© Alle Rechte vorbehalten

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

Kurzbeschreibung: Synergien zwischen Renaturierung und natürlichem Klimaschutz

Die Studie stellt dar, wie die EU-Wiederherstellungsverordnung (W-VO) in Deutschland Treibhausgasemissionen im LULUCF-Sektor (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft) zusätzlich mindern kann und wo sich Synergien zwischen Renaturierung und Klimaschutz erschließen lassen. Der Bericht quantifiziert – mit Fokus auf ausgewählte LULUCF-Kategorien – die Effekte zentraler Maßnahmenbündel: Wiedervernässung organischer Böden, Wiederherstellung terrestrischer Feuchtgebiete, Agroforstsysteme, urbane Grünflächen, Waldmehrung sowie Waldbewirtschaftung. Methodisch stützt sich die Analyse auf die Modelle FABio-Land und FABio-Forest. Als Vergleichspfad dienen Szenarien des Projektionsberichts 2025.

Die Ergebnisse zeigen, dass Moorwiedervernässung die mit Abstand wirkmächtigste Einzelmaßnahme ist. So ergeben sich –2,5 bis –5,0 Mio. t CO₂-Äq./Jahr zusätzliche Minderung, je nach Wasserständen und Anteil an Paludikulturen auf den Flächen. Feuchtgebiete liefern aufgrund begrenzter Flächenkulisse und Datenlage kleinere, aber robuste Minderungsbeiträge (–0,13 bis –0,35 Mio. t CO₂-Äq./Jahr bis 2050). Agroforst kann je nach Flächenausbau und Biomassenutzungsintensität von –2 Mio. t (moderate Umsetzung) bis zu –14 bis –16 Mio. t CO₂-Äq./Jahr (ambitionierte Fläche, geringe Ernteintensität) beitragen. Urbane Grünflächen bewirken neben der Kohlenstoffspeicherung in Biomasse (–2,53 Mio. t CO₂-Äq. bis 2050) auch Kühlungseffekte und liefern andere Ökosystemleistungen. Waldmehrung liefert in realistischen Bandbreiten zwischen –0,15 und –3,49 Mio. t CO₂-Äq./Jahr. Waldbewirtschaftung wirkt differenziert: moderater Waldbau zugunsten von Laubbäumen verbessert die Senkenleistung von –1,3 bis –2,0 Mio. t CO₂-Äq./Jahr, eine gleichzeitige starke Entnahme im Nadelholz oder großflächige Nutzungsaufgabe kann dagegen die Bilanz kurzfristig verschlechtern, wenn die Holznachfrage sich nicht gleichzeitig verringert.

Abstract: Synergies between nature restoration and natural climate protection

The study shows how the EU Nature Restoration Regulation (NRR) can further reduce greenhouse gas emissions in Germany's LULUCF sector (Land Use, Land-Use Change and Forestry) and where synergies between restoration and climate protection can be exploited. The report quantifies the effects of key measures, focusing on selected LULUCF categories: rewetting of organic soils, restoration of terrestrial wetlands, agroforestry systems, urban green spaces, forest expansion and forest management. Methodologically, the analysis is based on the FABio Land and FABio Forest models. Scenarios from the 2025 projection report serve for comparison.

The results show that peatland rewetting is by far the most effective single measure. This results in an additional reduction of 2.5 to 5.0 Mt of CO₂eq./a, depending on water levels and the proportion of paludiculture on the land. Due to limited land area and data availability, wetlands provide smaller but robust reduction contributions (–0.13 to –0.35 Mt CO₂eq./a by 2050). Agroforestry can contribute between –2 Mt (moderate implementation) and –14 to –16 Mt CO₂eq./a (ambitious area, low harvest intensity), depending on the expansion of land use and biomass utilisation intensity. In addition to carbon storage in biomass (–2.53 Mt CO₂ eq. by 2050), urban green spaces also have a cooling effect and provide other ecosystem services. Forest expansion delivers realistic ranges between –0.15 and –3.49 Mt CO₂ eq./a. Forest management has a differentiated effect: moderate forest conversion in favour of deciduous trees improves sink performance by –1.3 to –2.0 Mt CO₂ eq./a, whereas simultaneous heavy harvesting of coniferous wood or large-scale abandonment of use can worsen the balance in the short term if demand for wood does not decrease at the same time.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis	8
Abkürzungsverzeichnis	11
Zusammenfassung.....	12
Summary	14
1 Einleitung.....	16
2 Vorgehen und Methodik	17
3 Wiedervernässung land- und forstwirtschaftlich genutzter organischer Böden	20
3.1 Hintergrund.....	20
3.2 Treibhausgasminderung je Flächeneinheit.....	21
3.3 Sensitivitäten zur Wirkung der W-VO	23
3.3.1 Annahmen und Treibhausgasminderung im MMS und MWMS.....	23
3.3.2 Sensitivitäten zu Annahmen und Treibhausgasminderungspotenzial.....	24
4 Wiederherstellung von Feuchtgebieten.....	30
4.1 Hintergrund.....	30
4.2 Treibhausgasminderung je Flächeneinheit.....	30
4.3 Sensitivitäten zu Annahmen und Treibhausgasminderungspotenzial.....	31
4.3.1 Annahmen und Treibhausgasminderung im MMS und MWMS.....	31
4.3.2 Annahmen und Treibhausgasminderung in W-VO-Sensitivitäten.....	31
5 Anlage von Agroforstsystemen zur Kohlenstoffspeicherung und als Landschaftselemente	34
5.1 Hintergrund.....	34
5.2 Treibhausgasminderung je Flächeneinheit.....	35
5.3 Sensitivitäten zu Annahmen und Treibhausgasminderungspotenzial.....	36
5.3.1 Annahmen und Treibhausgasminderung im MMS und MWMS.....	36
5.3.2 Annahmen und Treibhausgasminderung in W-VO-Sensitivitäten.....	36
6 Anlage von Grünflächen in städtischen Ökosystemen.....	39
6.1 Hintergrund.....	39
6.2 Treibhausgasminderung je Flächeneinheit.....	40
6.3 Sensitivitäten zu Annahmen und Treibhausgasminderungspotenzial.....	40
6.3.1 Annahmen und Treibhausgasminderung im MMS und MWMS.....	40
6.3.2 Annahmen und Treibhausgasminderung in W-VO-Sensitivitäten.....	41
7 Pflanzung von drei Milliarden zusätzlichen Bäumen	44
7.1 Hintergrund.....	44

7.2	Treibhausgasminderung je Flächeneinheit.....	45
7.3	Sensitivitäten zu Annahmen und Treibhausgasminderungspotenzial.....	45
7.3.1	Annahmen und Treibhausgasminderung im MMS und MWMS.....	45
7.3.2	Annahmen und Treibhausgasminderung in W-VO-Sensitivitäten.....	45
8	Wiederherstellung von Waldökosystemen durch Waldmanagement.....	48
8.1	Hintergrund.....	48
8.2	Treibhausgasminderung je Flächeneinheit.....	48
8.3	Sensitivitäten zu Annahmen und Treibhausgasminderungspotenzial.....	49
8.3.1	Annahmen und Treibhausgasminderung im MMS und MWMS.....	49
8.3.2	Waldmodell FABio-Forest	49
8.3.3	Annahmen und Treibhausgasminderung in W-VO-Sensitivitäten.....	50
8.3.4	Exkurs Totholz.....	57
9	Kombination von Wiederherstellungsmaßnahmen in „W-VO-Szenarien“	61
10	Schlussfolgerungen.....	65
11	Quellenverzeichnis	67

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Treibhausgasminderung in MMS, MWMS und den W-VO-Sensitivitäten durch Wiedervernässung von Moorböden gegenüber OMS.....	27
Abbildung 2:	Treibhausgasminderung in W-VO-Sensitivitäten durch Wiedervernässung von Moorböden gegenüber MWMS	29
Abbildung 3:	Treibhausgasminderung in W-VO-Sensitivitäten zur Wiederherstellung von Feuchtgebieten gegenüber OMS.....	33
Abbildung 4:	Treibhausgasminderung in MWMS und W-VO-Sensitivitäten zur Anlage von Agroforstflächen gegenüber OMS.....	38
Abbildung 5:	Treibhausgasminderung in MMS, MWMS und W-VO-Sensitivitäten durch Anlage von städtischen Grünflächen gegenüber OMS.....	42
Abbildung 6:	Treibhausgasminderung in W-VO-Sensitivitäten durch Anlage von städtischen Grünflächen.....	43
Abbildung 7:	Treibhausgasminderung der Waldflächen in W-VO-Sensitivitäten durch Waldmehrung gegenüber OMS.....	47
Abbildung 8:	Treibhausgasbilanzen der lebenden Biomasse in der historischen Entwicklung und der klimasensitiven Waldmodellierung in FABio-Forest	53
Abbildung 9:	Treibhausgasbilanzen der lebenden Biomasse in Waldszenarien zum Waldmanagement	54
Abbildung 10:	Treibhausgasbilanz der lebenden Biomasse von MMS/MWMS und W-VO-Sensitivitäten.....	56
Abbildung 11:	Treibhausgasminderung der lebenden Biomasse in W-VO-Sensitivitäten für Waldmanagement gegenüber MMS/MWMS	57
Abbildung 12:	Totholzvorrat in Waldinventuren, Waldszenarien und -sensitivitäten	59
Abbildung 13:	Treibhausgasbilanzen des Totholzes in Waldszenarien und -sensitivitäten	60
Abbildung 14:	Zusätzliche Treibhausgasminderung der Szenarien gegenüber OMS	62

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht zu Treibhausgasemissionen land- und forstwirtschaftlich genutzter Flächen auf organischen Böden	21
Tabelle 2:	Projizierte direkte Netto-Minderungen an Treibhausgasemissionen pro Jahr durch Wiedervernässung landwirtschaftlicher Flächen und Reduktion der Torfverwendung im MMS und MWMS	24

Tabelle 3:	Flächenkulissen der W-VO-Sensitivitäten gegenüber dem MWMS.....	25
Tabelle 4:	Annahmen zu Wasserständen in W-VO-Sensitivitäten zur Wiedervernässung von Moorböden.....	26
Tabelle 5:	Treibhausgasminderung in MMS, MWMS und den W-VO-Sensitivitäten durch Wiedervernässung von Moorböden gegenüber OMS.....	27
Tabelle 6:	Annahmen zu Wasserständen in W-VO-Sensitivitäten zur Wiedervernässung von Moorböden und daraus resultierendes THG-Minderungspotenzial gegenüber dem MWMS im Überblick.....	28
Tabelle 7:	Flächen feuchter Lebensraumtypen ohne Gewässer in Deutschland mit Nennung in Anhang I der W-VO.....	31
Tabelle 8:	Treibhausgasminderung in W-VO-Sensitivitäten zur Wiederherstellung von Feuchtgebieten gegenüber dem OMS33	
Tabelle 9:	Annahmen zur Treibhausgasminderungen je Flächeneinheit durch die Anlage von Agroforstsystemen	36
Tabelle 10:	Projizierte, direkte Nettominderungen an Treibhausgasemissionen pro Jahr für Heckenpflanzung/Agroforst im MWMS	36
Tabelle 11:	Annahmen zur Flächenkulisse in Sensitivitäten zur Anlage von Agroforstflächen.....	37
Tabelle 12:	Treibhausgasminderung in W-VO-Sensitivitäten zur Anlage von Agroforst gegenüber dem OMS.....	38
Tabelle 13:	Annahmen zur Treibhausgasminderung je Flächeneinheit durch Anlage von städtischen Grünflächen.....	40
Tabelle 14:	Projizierte direkte Netto-Minderungen an Treibhausgasemissionen pro Jahr für Siedlungs- und Verkehrsflächen im MMS und MWMS.....	40
Tabelle 15:	Treibhausgasminderung in MMS, MWMS und W-VO-Sensitivitäten durch Anlage von städtischen Grünflächen gegenüber OMS.....	42
Tabelle 16:	Annahmen zur Treibhausgasminderung je Flächeneinheit durch Waldmehrung.....	45
Tabelle 17:	Annahmen zur Flächenkulisse in Sensitivitäten zur Waldmehrung.....	46
Tabelle 18:	Projizierte, direkte Netto-Minderungen an Treibhausgasemissionen pro Jahr durch Maßnahmen zum Waldmanagement von MMS/MWMS.....	49
Tabelle 19:	Treibhausgasbilanz der lebenden Biomasse in OMS, MMS/MWMS und den W-VO-Sensitivitäten.....	56
Tabelle 20:	Annahmen zu „W-VO-Szenarien“	61

Tabelle 21:	Zusätzliche Minderung in MMS, MWMS und W-VO-Szenarien
	63

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
ANK	Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BMUKN	Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz und nukleare Sicherheit
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BWI	Bundeswaldinventur
CI	Kohlenstoffinventur
CO₂-Äq.	CO ₂ -Äquivalent
EU	Europäische Union
ha	Hektar
KSG	Klimaschutzgesetz
LULUCF	Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft
MMS	Mit-Maßnahmen-Szenario
MWMS	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario
NIR	Nationaler Inventarbericht
OMS	Ohne-Maßnahmen-Szenario
t C	Tonnen Kohlenstoff
THG	Treibhausgas
UNFCCC	United Nations Framework for Climate Change
WBKN	Wissenschaftlicher Beirat für Natürlichen Klimaschutz
W-VO	Wiederherstellungsverordnung
WZE	Waldzustandserhebung

Zusammenfassung

Mit der EU-Wiederherstellungsverordnung (W-VO) sollen bis 2030, 2040 und 2050 große Teile degradierter Ökosysteme in einen guten Zustand versetzt werden. Für Deutschland stellt sich die Frage, welche konkreten Maßnahmen im LULUCF-Sektor den größten zusätzlichen Klimanutzen bringen und wie Renaturierung und natürlicher Klimaschutz effizient gekoppelt werden können. Der Bericht identifiziert potenzielle W-VO-Maßnahmen mit Bezug auf Moorböden, Feuchtgebiete, Agroforst, urbane Grünflächen, Waldmehrung und Waldbewirtschaftung und vergleicht sie mit aktuellen Szenarien des nationalen Projektionsberichts 2025. Da nationale Wiederherstellungspläne noch fehlen und die Art und Intensität von Maßnahmen damit nicht bekannt ist, werden Sensitivitäten berechnet (mit unterschiedlichen Flächen, Wasserständen, Managementannahmen), um Bandbreiten der THG-Wirkung transparent zu machen. Für die Quantifizierung von Maßnahmen werden die Modelle FABio-Land bzw. FABio-Forest genutzt.

Die Wiedervernässung organischer Böden kann eine zentrale Maßnahme in der Umsetzung der W-VO für schnellen, skalierbaren Klimanutzen sein. Hintergrund ist die sehr hohe spezifische Emission entwässerter Acker-/Grünland-Moorböden ($> 30 \text{ t CO}_2\text{-Äq./ha/Jahr}$ im Mittel 2014–2023), die ein hohes Minderungspotenzial birgt. Eine Anhebung des Wasserstands senkt CO_2 -Emissionen massiv: bei einem Wasserstand von -5 cm unter Flur werden bereits $6,1 \text{ t CO}_2\text{-Äq./ha/Jahr}$ vermieden, Paludikulturen können je nach System sogar Netto-Senken (bis $> 11 \text{ t CO}_2\text{-Äq./ha/Jahr}$) liefern. Gegenüber dem Szenario des Projektionsberichts, das aktuell von der Regierung beschlossene Maßnahmen abbildet, ergeben sich damit zusätzliche $-2,5$ bis $-5,0 \text{ Mio. t CO}_2\text{-Äq./Jahr}$, aufgrund höherer Flächenziele und optimierter Wasserstände. Die Erhöhung der Anteile an Flächen, auf denen Paludikulturen betrieben werden, verstärkt diesen Effekt deutlich.

Die Wiederherstellung terrestrischer Feuchtgebiete liefert trotz hoher spezifischer Emissionen aus organischen Böden aber mangels großer Flächenkulisse nur geringe Zusatzminderungen ($-0,13$ bis $-0,35 \text{ Mio. t CO}_2\text{-Äq. bis 2050}$). Allerdings sind derartige Maßnahmen vor allem aus Gründen des Biodiversitätsschutzes sowie zur verbesserten Hydrologie und Vernetzung relevant. Agroforstsysteme verbinden Biodiversität, Erosionsschutz mit Kohlenstoffspeicherung in Böden und Biomasse. Die spezifische Einbindung hängt stark von der Intensität der Bewirtschaftung dieser Flächen ab, also wie intensiv die aufwachsende Biomasse beerntet wird. Bei geringer Nutzung sind $14,7 \text{ t CO}_2\text{-Äq./ha/Jahr}$ erreichbar, bei intensiver Nutzung lediglich $3,7 \text{ t CO}_2\text{-Äq./ha/Jahr}$. Der absolute Beitrag skaliert mit der Fläche, auf der derartige Maßnahmen stattfinden können. Auf einer Gesamtfläche von $0,25 \text{ Mio. ha}$ belief sich die Speicherung auf -2 Mio. t , bei ambitionierteren 1 Mio. ha Agroforstflächen könnten dagegen -14 – $-16 \text{ Mio. t CO}_2\text{-Äq./Jahr}$ erreicht werden. Urbane Grünflächen stellen Kohlenstoffspeicher dar, bringen allerdings auch erheblichen Nebennutzen durch Kühlung und Wasserspeicher. Je nach Etablierungsgrad ergibt sich bis 2050 ein Beitrag von $-0,25$ bis $-2,53 \text{ Mio. t CO}_2\text{-Äq.}$

Waldmehrung, d. h. die Einbringung von Bäumen in Flächen, die kein Wald sind (z. B. Ackerland, Grünland) im Rahmen der Umsetzung der W-VO zeigt moderate Klimawirkungen. Auch hier ist entscheidend, wieviel Fläche für derartige Maßnahmen zur Verfügung steht. Die Studie geht davon aus, dass $-0,15 \text{ Mio. t CO}_2\text{-Äq./Jahr}$ bei eher kleinem Ausbau neuer Waldflächen von 10.000 ha/Jahr bzw. $-1,21 \text{ Mio. t CO}_2\text{-Äq./Jahr}$ bei jährlich 80.000 ha erreicht werden können. Entscheidend ist hierbei auch, dass Waldmehrung auch nach 2030 fortgesetzt wird. Die hohe Anfangssenke nimmt nämlich aufgrund der Berechnungslogik nach 20 Jahren ab, wenn Flächen in die Berichtskategorie des bestehenden Waldes übergehen. So könnten sogar $-3,49 \text{ Mio. t CO}_2\text{-Äq./Jahr}$ Kohlenstoffeinbindung bei fortgesetzter Anlage von neuem Wald bis 2050 erzielt

werden. Waldbewirtschaftung wirkt dagegen differenziert. Ein laubbaumorientierter Waldumbau mit reduzierter Laubholznachfrage verbessert die Senkenleistung auf –2,0 bis –1,3 Mio. t CO₂-Äq./Jahr. Die Analyse zeigt auch, dass die Wirkung einer Nutzungsaufgabe in alten Laubbeständen ohne Holznachfragesteuerung durch die Verlagerung der Holzernte in produktive Bestände in ihrer zusätzlichen Senkenleistung gedämpft werden kann.

Die W-VO eröffnet zusätzliche Minderungsoptionen im LULUCF-Sektor, wenn Maßnahmen in der richtigen Reihenfolge priorisiert und miteinander gekoppelt werden.

Moorwiedervernässung ist hierbei der größte Hebel. Agroforstmaßnahmen liefern Beiträge, die über die Flächenbelegung skalierbar sind. Durch mehr urbane Begrünung werden geringere Beiträge zur THG-Minderung erwartet, aber dafür Synergien mit Anpassungsmaßnahmen durch Kühlungseffekte und andere Ökosystemleistungen. Insgesamt können die zu erwartenden Beiträge durch Waldmehrung besonders bei einer ambitionierten Ausgestaltung und längerfristigem Engagement im Vergleich zu Szenarien mit bereits bestehenden Maßnahmen wirkungsvoll sein. Änderungen in der Waldbewirtschaftung mit gleichzeitiger kohärenter Steuerung der Holznachfrage haben ein ähnliches Potenzial.

Summary

The EU Nature Restoration Regulation (NRR) aims to restore large parts of degraded ecosystems to good condition by 2030, 2040 and 2050. For Germany, the question arises as to which specific NRR-induced measures in the LULUCF sector will deliver additional climate benefits and how renaturation and natural climate protection can be combined. The report identifies potential NRR measures involving peatlands, wetlands, agroforestry, urban green spaces, forest expansion, and forest management and compares their mitigation potential against recent policy scenarios presented by the 2025 national Projection Report. As national restoration plans are still lacking and thus type and intensity of measures are unknown, sensitivities are calculated (with changing areas, water levels, management assumptions) to make the ranges of GHG effects transparent. The FABio Land and FABio Forest models are used to quantify measures.

Rewetting of organic soils is a potential key measure of the NRR implementation that can deliver rapid, scalable climate benefits. The reason are high specific emissions from drained arable/grassland peatlands ($>30 \text{ t CO}_2 \text{ eq./ha/a}$ on average 2014–2023). Raising the water level massively reduces CO_2 emissions: at a waterlevel of -5 cm below terrain surface, the result is a reduction of $6.1 \text{ t CO}_2 \text{ eq./ha/a}$. Depending on the system, paludiculture can even deliver net removals (up to $> 11 \text{ t CO}_2 \text{ eq./ha/a}$). Compared to a scenario of currently adopted measures presented with the national Projection Report, the NRR sensitivities result in an additional improvement of the GHG balance of -2.5 to $-5.0 \text{ Mt CO}_2 \text{ eq./a}$, driven by higher area targets and optimised water levels. With an increasing share of paludiculture the effect significantly increases, too.

Despite high specific emissions on organic soils, restoration of terrestrial wetlands delivers less additional reductions (-0.13 to $-0.35 \text{ Mt CO}_2 \text{ eq. by 2050}$). This is due to the lack of large areas. However, such measures remain strategically relevant due to their positive impact on biodiversity, hydrology and connectivity. Agroforestry systems combine biodiversity, erosion control and carbon sequestration in soil and biomass pools. The specific carbon sequestration rate depends on the intensity of biomass harvesting on agroforestry areas. At low harvest rates, $14.7 \text{ t CO}_2 \text{ eq./ha/a}$ can be achieved, assuming more intensive biomass extraction results in $3.7 \text{ t CO}_2 \text{ eq./ha/a}$. The absolute contribution to mitigation scales with the area where agroforestry systems can be established. The results range from $-2 \text{ Mt CO}_2 \text{ eq./a}$ if agroforestry areas are assumed to cover moderate 0.25 million ha, to -14 to $-16 \text{ Mt CO}_2 \text{ eq./a}$ if more than 1 million ha are covered. Urban green spaces create additional biomass sinks on existing land and provide cooling/energy benefits. Depending on the degree of establishment, this will result in an additional -0.25 to $-2.53 \text{ Mt of CO}_2 \text{ eq. by 2050}$, accompanied by heat protection, health and quality of life benefits.

Forest expansion, i.e. the establishment of trees in non-forest areas such as cropland and grassland, has a moderate contribution to GHG mitigation. Also this measure scales with the area available for afforestation. The study assumes that $-0.15 \text{ Mt of CO}_2 \text{ eq./a}$ are achieved if annually $10,000 \text{ ha}$ are converted to new forest areas. With larger areas being considered this contribution can increase to $-1.21 \text{ Mt of CO}_2 \text{ eq./a}$ when assuming that $80,000 \text{ ha}$ annually are afforested. It is also crucial that forest expansion continues after 2030. According to the calculation logic, the high initial sink will decrease after 20 years when areas are transferred to the reporting category of existing forest. In that way up to $-3.49 \text{ Mt of CO}_2 \text{ eq./a}$ could be achieved with a continued expansion of forest area until 2050. Forest management has a more differentiated effect. Transforming more coniferous forests into better adapted deciduous forests while simultaneously reducing the demand for wood, especially for energy use, results in mitigation contributions of -2.0 to $-1.3 \text{ Mt of CO}_2 \text{ eq./a}$. Reducing harvest in old deciduous

stands without reducing wood demand potentially shifts harvest impacts to more productive forest stands and therefore lowers the overall sink performance of the forest.

The NRR opens up additional mitigation options in the LULUCF sector if measures are prioritised in the right order and linked together. In three potential scenario settings these were quantified in the analysis. Agroforestry measures deliver contributions that are scalable in terms of land available for these measures. More urban greening is expected to result in lower contributions to GHG reduction, but provides synergies with adaptation measures through cooling effects and other ecosystem services. Overall, the expected contributions from forest expansion can be effective, especially with ambitious design and long-term commitment, compared to scenarios with existing measures. Changes in forest management with simultaneous coherent reduction of wood demand have a similar potential.

1 Einleitung

Die EU-Verordnung zur Wiederherstellung der Natur (Wiederherstellungsverordnung, W-VO; Verordnung (EU) 2024/1991) zielt darauf ab, bis 2050 alle Ökosysteme, die nicht in günstigem Erhaltungszustand sind, wieder in einen guten Zustand zurückzubringen und einen Aufwärtstrend bei der Biodiversität in der gesamten EU zu erreichen. Sie legt verbindliche Ziele für priorisierte Habitats und Arten fest, darunter mindestens 20 % der geschädigten Flächen bis 2030 bzw. 100 % bis 2050 in einen guten Zustand zu versetzen, ergänzt durch spezifische Vorgaben für Wald-, Feucht-, landwirtschaftliche und urbane Ökosysteme sowie Flüsse und Meere.

Ein zentraler Aspekt der W-VO liegt in ihren Synergien mit dem Klimaschutz: Durch Maßnahmen wie Waldumbau, Moorwiedervernässung, Renaturierung von Auen und Förderung agroforstlicher Systeme soll die Treibhausgas-(THG)-Bilanz verbessert werden, indem die Kohlenstoffspeicherung gesteigert, Emissionen aus organischen Böden reduziert und klimaresiliente Landschaften geschaffen werden. Der vorliegende Bericht analysiert die Umsetzung der W-VO in diesen Bereichen mit Schwerpunkt auf das THG-Minderungspotenzial und die klimawirksamen Effekte der Verordnung.

Im Rahmen der nationalen Umsetzung werden die Maßnahmen entsprechend den Zielvorgaben der W-VO in drei Kategorien unterschieden:

- ▶ **Erhalt und Sicherung:** Ökosysteme oder Habitats in gutem bis sehr gutem Zustand sollen durch angepasste Nutzung und Managementmaßnahmen nachhaltig gesichert und in ihrer Vernetzung erhalten bleiben. Da diese Maßnahmen primär der Stabilisierung von Ökosystemen dienen und nur begrenzt direkte Effekte auf die THG-Bilanz haben, werden sie im vorliegenden Bericht nicht vertieft betrachtet.
- ▶ **Entwicklung, Verbesserung und Wiederherstellung:** Beeinträchtigte Ökosysteme sollen durch gezielte Maßnahmen wie Nutzungsänderungen oder Beseitigung von Belastungen qualitativ verbessert und in einen W-VO-konformen Zustand überführt werden. Diese Maßnahmen sind zentral für die Erreichung der Klimaschutz- und Biodiversitätsziele, da sie sowohl Emissionsminderungen als auch verstärkte Kohlenstoffspeicherung ermöglichen.
- ▶ **Neuschaffung:** Flächen mit geeigneten Standortfaktoren können durch grundlegende Renaturierungsmaßnahmen oder Nutzungsänderungen neu etabliert werden, sodass charakteristische Artenzusammensetzungen und Strukturen entstehen. Diese Maßnahmen tragen durch Flächenzuwachs und Vernetzung ebenfalls zur THG-Minderung und Biodiversitätssicherung bei.

Umfassendere naturschutzfachliche, ökologische und biodiversitätsrelevante Aspekte zum Thema Synergien und Wechselwirkungen zwischen Klima- und Biodiversitätsschutz wurden bereits qualitativ in einem ersten Arbeitspaket bearbeitet und als Bericht veröffentlicht (Böttcher et al. 2024). Ergänzend widmen sich laufende Projekte des Bundesamts für Naturschutz (BfN) priorisiert diesen Themen.

2 Vorgehen und Methodik

Im Rahmen der vorliegenden Analyse sollen die Klimaschutzeffekte verschiedener Maßnahmen zur Umsetzung der W-VO quantifiziert werden. Der Fokus liegt dabei auf den im LULUCF-Sektor bilanzierten Quellgruppen und orientiert sich an der Methodik der Treibhausgasbilanzierung. Voraussetzung für eine Quantifizierbarkeit sind Datenverfügbarkeit (Emissionsfaktoren, Flächenangaben, Quellkategorie des LULUCF Sektors) und Informationen zur Ausgestaltung konkreter Maßnahmen. Sind Teile dieser Informationen nicht vorhanden, ist eine Quantifizierung der THG-Minderungswirkung schwierig. Die W-VO wird als EU-Verordnung durch nationale Wiederherstellungspläne der Mitgliedsländer ausgeführt. Diese liegen zurzeit noch nicht vor. Deshalb fehlen oft detaillierte Informationen zu Umsetzungsmaßnahmen, die in ihrer konkreten Ausgestaltung erst im Rahmen der nationalen Wiederherstellungspläne festgelegt werden. Zur Überbrückung dieser Lücke werden im Folgenden verschiedene Auslegungsvarianten der relevanten Artikel anhand unterschiedlicher Sensitivitäten modelliert.

Wesentliche Wiederherstellungsziele und Verpflichtungen sind in Kapitel II der W-VO geregelt. Nur für einen Teil davon lässt sich über die LULUCF-Quellgruppen eine THG-Minderungswirkung quantifizieren. Die folgenden Artikel werden in der W-VO gelistet:

- ▶ Artikel 4: Wiederherstellung von Land-, Küsten und Süßwasserlebensräumen nach FFH-Richtlinie (Richtlinie 92/43/EWG) und weitere Ziele für Habitate der Arten der FFH- und der Vogelschutzrichtlinie (Richtlinie 2009/147/EG) – nicht vollständig quantifiziert, aufgrund fehlender Flächenangaben und Unsicherheiten bei THG-Minderungswirkungen. Exemplarisch wurde z. B. die Wiederherstellung von Feuchtgebieten (siehe Kapitel 4) quantifiziert. Weitere Aspekte wurden in anderen Quantifizierungen teilweise berücksichtigt (z. B. Waldumbau und Ausweisung von Prozessschutzgebieten in Kapitel 8).
- ▶ Artikel 5: Wiederherstellung von Meerökosystemen – nicht quantifiziert, da keine LULUCF-Quellkategorie.
- ▶ Artikel 6: Energie aus erneuerbaren Quellen – nicht quantifiziert, da keiner LULUCF-Quellkategorie zuordenbar.
- ▶ Artikel 7: Landesverteidigung – nicht quantifiziert, da keiner LULUCF-Quellkategorie zuordenbar.
- ▶ Artikel 8: Wiederherstellung städtischer Ökosysteme – quantifiziert mit Bezug auf Maßnahmen in der LULUCF-Quellkategorie Siedlungen (siehe Kapitel 6).
- ▶ Artikel 9: Wiederherstellung der natürlichen Vernetzung von Flüssen und der natürlichen Funktionen damit verbundener Auen – nicht quantifiziert aufgrund fehlender Daten und Überschneidungen zwischen Maßnahmenwirkungen.
- ▶ Artikel 11: Wiederherstellung landwirtschaftlicher Ökosysteme
 - Absatz 2: Aufwärtstrend für mindestens zwei der drei Indikatoren
 - (1) Index Grünlandschmetterlinge – nicht quantifiziert, durch große Unsicherheiten hinsichtlich der Wirkung auf THG-Emissionen.
 - (2) Vorrat an organischem Kohlenstoff in mineralischen Ackerböden – quantifiziert über Kohlenstoffaufbau in Agroforstsystemen durch Maßnahmen in der LULUCF-Quellkategorie Ackerland (siehe Kapitel 5).

- (3) Anteil landwirtschaftlicher Flächen mit Landschaftselementen mit großer Vielfalt – quantifiziert über Kohlenstoffaufbau in Agroforstsystemen durch Maßnahmen in der LULUCF-Quellkategorie Ackerland (siehe Kapitel 5).
- Absatz 3: Zielwerte für Feldvogelarten-Index – nicht quantifiziert, durch große Unsicherheiten hinsichtlich der Wirkung auf THG-Emissionen.
- Absatz 4: Wiederherstellung von landwirtschaftlich genutzten entwässerten Moorböden – quantifiziert durch Maßnahmen in den LULUCF-Quellkategorien Ackerland, Grünland und Wald (siehe Kapitel 3).
- Artikel 12: Wiederherstellung von Waldökosystemen – quantifiziert durch Maßnahmen in der LULUCF-Quellkategorie Wald (siehe Kapitel 8).
- Artikel 13: Pflanzung von drei Milliarden zusätzlichen Bäumen – quantifiziert durch Maßnahmen in verschiedenen LULUCF-Quellkategorien (siehe Kapitel 7).

Insbesondere Artikel 4 regelt die Wiederherstellung der in Anhang I der W-VO genannten Lebensraumtypen aus der FFH-Richtlinie (Richtlinie 92/43/EWG) von Land-, Küsten- und Süßwasserlebensräumen. Danach müssen alle Flächen der im Anhang I der Verordnung aufgeführten Lebensraumtypen ((1) Feuchtgebiete; (2) Grünland und sonstige Weidelebensräume, (3) Flüsse, Seen, Auen und Uferlebensräume, (4) Wälder, (5) Steppen, Heiden und Buschflächen) in schlechtem Zustand in einen guten Zustand gebracht werden. Dafür werden für die Jahre 2030, 2040 und 2050 unterschiedliche Anteile festgelegt. Nach Artikel 4 Abs. 1a) müssen bis 2030 auf mindestens 30 % der Gesamtfläche aller in Anhang I aufgeführten Lebensraumtypen mit schlechtem Zustand Wiederherstellungsmaßnahmen ergriffen werden. Bis 2040 erhöht sich dieser Anteil auf mindestens 60 %, und bis 2050 auf 90 % der Flächen in schlechtem Zustand. Um für diesen Artikel die THG-Minderungswirkung quantifizieren zu können, sind drei Informationen notwendig:

1. Konkrete Flächenanteile für die einzelnen Lebensraumtypen, die sich in einem schlechten Zustand befinden.
2. Emissionsfaktoren dafür, welche THG-Minderungen pro Lebensraumtyp sich durch die Versetzung von einem schlechten in einen guten Zustand ergeben.
3. Die Anteile der Lebensraumtypen, die zur Zielerreichung des 30 %- bzw. 60 %- und 90 %-Ziels herangezogen werden sollen.

Da diese Informationen derzeit fehlen, ist eine vollständige Quantifizierung nicht möglich. Einzelne Aspekte wurden jedoch in anderen Modellierungen soweit möglich berücksichtigt (z. B. Wiederherstellung von Feuchtgebieten siehe Kapitel 4).

Die Maßnahmenwirkungen und die maßnahmenspezifische Bewertung sind durch ihren Bezug auf die LULUCF-Quellgruppen nicht immer eindeutig einem Artikel zuzuordnen. Beispielsweise überlagern sich die Regelungen zu Waldökosystemen in Artikel 4, 12 und 13.

Die Modellierung erfolgt im Modellverbund des Öko-Instituts mit den Modellen **Fabio-Land** und **Fabio-Forest**. Da das Szenario überwiegend auf den LULUCF-Sektor fokussiert, wurde das landwirtschaftliche Modell **LISe** im Rahmen dieser Studie nicht angewendet. Die Maßnahmen im Landwirtschaftssektor führen vor allem über die Umsetzung von Artikel 11 zu THG-Minderungswirkungen im Bereich der N₂O-Emissionen aus Böden. Diese ergeben sich sowohl aus einer Verringerung der Stickstoffdüngung als auch aus der Reduktion von Lachgasemissionen aus Moorböden infolge einer langsameren Mineralisierung. Die entsprechenden Minderungen werden informativ ausgewiesen.

Die Analyse erfolgt nicht räumlich differenziert, sondern auf Basis von Durchschnittsfaktoren. Für eine detaillierte räumliche Betrachtung wären zusätzliche Informationen sowie deutlich mehr zeitliche und finanzielle Ressourcen erforderlich.

Treibhausgasminderungen, die durch die Umsetzung der W-VO resultieren können, werden gegenüber dem Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS) im Projektionsberichte der Bundesregierung bewertet (Förster et al. 2025). Das MWMS berücksichtigt Effekte von bereits umgesetzten oder angenommenen Instrumenten und Maßnahmen sowie zusätzlich geplanten Instrumenten und Maßnahmen. Für letztere ist die Voraussetzung, dass eine realistische Chance besteht, dass die Instrumente und Maßnahmen verabschiedet werden, und dass die Instrumente und Maßnahmen hinreichend klar definiert sind. Zudem werden zur Einordnung Ergebnisse des Mit-Maßnahmen-Szenarios dargestellt, das nur Effekte von bereits umgesetzten oder angenommenen Instrumenten und Maßnahmen abbildet. Im Ohne-Maßnahmen-Szenario (OMS) wird der Status quo ohne Umsetzung der MMS-Maßnahmen fortgeschrieben (Förster et al. 2025).

3 Wiedervernässung land- und forstwirtschaftlich genutzter organischer Böden

3.1 Hintergrund

Intakte, vernässte Moorböden binden große Mengen Kohlenstoff in organischer Form durch Torfbildung aus abgestorbenem Pflanzenmaterial. In entwässerten Moorböden zersetzt sich hingegen das organische Material durch Kontakt mit Luftsauerstoff innerhalb kurzer Zeit, wodurch große Mengen an Treibhausgasen freigesetzt werden. Im Zuge der Flächennutzung wurden in Deutschland ca. 92 % der Moorböden entwässert, wodurch im Jahr 2023 jährlich 53,7 Mio. t CO₂-Äq. freigesetzt wurden, was 7,5 % der nationalen THG-Emissionen entspricht (UBA 2025). Werden die Flächen wiedervernässt, wird auch die Zersetzung des Torfkörpers unterbunden.

Eine Wiedervernässung von landwirtschaftlich genutzten Moorböden und Torfabbaugebieten trägt somit wesentlich zur Reduktion der THG-Emissionen und zur Kohlenstoffspeicherung bei. Sie schafft zugleich Lebensräume für charakteristische Tier- und Pflanzenarten und trägt durch Wasserretention zum Ausgleich des Landschaftswasserhaushalts bei. Die W-VO beschränkt sich auf allgemeine Flächenziele zur Wiederherstellung von genutzten organischen Böden: 30 % der landwirtschaftlich genutzten Moorflächen bis 2030, 40 % bis 2040 und 50 % bis 2050 (Art. 11 Abs. 4). Für einen Teil der wiederhergestellten Flächen müssen konkrete Anteile tatsächlich wiedervernässt werden (ein Viertel bis 2030, jeweils ein Drittel bis 2040 und 2050). Bei ca. 1,4 Mio. ha landwirtschaftlich genutzter organischer Böden bedeutet dies, dass bis 2030 etwa 0,1 Mio. ha wiedervernässt werden müssen. In Deutschland passen diese Ziele zu bestehenden Programmen wie dem Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz (ANK, BMUKN 2025). Bis 2030 sollen 2,5 Mio. t CO₂-Äq. gegenüber dem MMS-Szenario des Projektionsberichts 2025 (Förster et al. 2025) eingespart werden. Bei einer THG-Minderung von ca. 25 t CO₂-Äq./ha entspricht das einer Fläche von 0,1 Mio. ha. Die Nationale Moorschutzstrategie (BMUV 2022) hat mit einer THG-Minderung von 5 Mio. t CO₂-Äq. bis 2030 noch ambitioniertere Ziele als das ANK.

Wiedervernässte landwirtschaftliche Moorböden dürfen weiterhin genutzt werden, etwa durch Paludikulturen, Beweidung mit Wasserbüffeln oder Mahd als Nasswiesen. Die W-VO schreibt vor, dass die Wiedervernässung landwirtschaftlich genutzter Moorböden durch geeignete staatliche Maßnahmen zu fördern ist.

Eine schnelle Wiedervernässung hat trotz entstehender Methanemissionen einen klimapositiven Nettoeffekt, da die Einsparungen durch vermiedene CO₂-Emissionen deutlich überwiegen, wohingegen eine Maßnahmenverzögerung kumulativ zu höheren THG-Emissionen führt (Günther et al. 2020; Bockermann et al. 2024). Unter Klimawandelbedingungen haben Paludikulturen ein hohes Minderungspotenzial, während sich Emissionen von bewirtschaftetem Grünland auf entwässerten organischen Böden deutlich erhöhen. Internationale Studien bestätigen die klimapositive Nettowirkung vernässter organischer Böden (Bockermann et al. 2024; Martens et al. 2021). Die Höhe des THG-Einsparpotenzials hängt jedoch stark davon ab, welche Flächentypen priorisiert werden, da der Effekt auf stark drainierten Flächen größer ist als auf bereits feuchten Standorten (Koch et al. 2023).

Die klimawirksamen Effekte der Wiedervernässung beruhen auf zwei zentralen Mechanismen (Hübner 2025):

- ▶ Vermeidung von CO₂-Emissionen durch Unterbindung der aeroben Torfzersetzung und
- ▶ Förderung von Kohlenstoffbindung durch erneute Torfbildung unter nassen Bedingungen.

Als mögliche Maßnahmen zur Umsetzung der W-VO und flankierender nationaler Strategien sind verschiedene Maßnahmen denkbar, die sowohl klimaschutzfachliche als auch naturschutzfachliche Wirkung entfalten:

- ▶ Umwandlung von Ackerflächen auf organischen Böden und Auen in extensiv genutztes Grünland, um die Belastung durch intensive Nutzung zu reduzieren.
- ▶ Technische Wiedervernässung durch Entfernung von Drainagen sowie Anpassung von Grabenanlagen.
- ▶ Schutz und Erhalt von Moorböden im Wald, um bestehende Kohlenstoffspeicher zu sichern.
- ▶ Maßnahmen zum natürlichen Wasserrückhalt, etwa durch Rückverlegung von Deichen, Bereitstellung von Überflutungsräumen oder Wiedervernässung von Feuchtgebieten.
- ▶ Moorschutzprojekte und Wiederaufforstung im Einzugsgebiet, die zusätzlich zur Stabilisierung des Landschaftswasserhaushalts beitragen.

Diese Maßnahmen sind nicht nur für die THG-Minderung relevant, sondern stärken auch die Biodiversität, indem sie Lebensräume für spezialisierte Arten erhalten oder neu schaffen.

3.2 Treibhausgasminderung je Flächeneinheit

Die Höhe der Treibhausgasemissionen, die bei der land- und forstwirtschaftlichen Nutzung organischer Böden (Moorböden) freigesetzt werden, wird im Nationalen Treibhausgasinventar für die Nutzungsarten Ackerland, Grünland und Wald ausgewiesen (siehe Tabelle 1). Für Acker- und Grünlandflächen unter trockener landwirtschaftlicher Nutzung werden sehr hohe Emissionen von über 30 t CO₂-Äq. pro Hektar und Jahr berichtet (Mittelwert der Jahre 2014 bis 2023).

Waldflächen auf organischen Böden weisen im Mittel der Jahre 2014 bis 2023 deutlich niedrigere Werte auf (11,4 t CO₂-Äq. pro Hektar und Jahr). Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, dass durch die extensivere Nutzung die Belüftung des Bodens geringer ausfällt und gleichzeitig die Bäume auf den Flächen Kohlenstoff binden. Zum anderen wird ein Teil der Waldflächen auf organischen Böden bereits als vernässte Bestände bewirtschaftet.

Für die Abschätzung wurde angenommen, dass rund 30 % der Waldflächen auf organischen Böden als vernässte Schwarzerlenbestände mit einem Wasserstand von 0 cm und einer Nutzungsdauer von mehr als 20 Jahren bewirtschaftet werden. Unter dieser Annahme ergeben sich für die verbleibenden nicht vernässten Waldflächen auf organischen Böden Treibhausgasemissionen von etwa 16,3 t CO₂-Äq. pro Hektar und Jahr.

Tabelle 1: Übersicht zu Treibhausgasemissionen land- und forstwirtschaftlich genutzter Flächen auf organischen Böden

Flächentyp	t CO ₂ /(ha*a)	kg CH ₄ /(ha*a)	kg N ₂ O/(ha*a)	t CO ₂ -Äq./(ha*a)
Nationales Treibhausgasinventar (Mittelwerte der Jahre 2014-2023)*				
Ackerland auf organischen Böden	30,86	25,9	0,00	31,59
Grünland auf organischen Böden	29,20	37,0	0,00	30,24
Wald auf organischen Böden	10,28	3,1	3,92	11,41

Flächentyp		t CO ₂ /(ha*a)	kg CH ₄ /(ha*a)	kg N ₂ O/(ha*a)	t CO ₂ -Äq./ (ha*a)
Wald auf organischen Böden (Annahme: 30 % bereits vernässt)					16,30*
Wasserstufen bei Wiedervernässung landwirtschaftlich genutzter Flächen**					
Wasserstand -20 cm		20,53	110,0	2,36	24,24
Wasserstand -15 cm		11,73	145,0	1,57	16,21
Wasserstand -10 cm		3,67	190,0	0,79	9,19
Wasserstand -5 cm		-0,73	240,0	0,31	6,07
Wasserstand 0 cm		-1,83	310,0	0,16	6,89
Wasserstufen bei Paludikultur mit hoher Kohlenstoffeinbindung***					
Wasserstand -10 cm (Paludikultur mit Rohrkolben etc.)		-14,30	190,00	0,79	-8,77
Wasserstand -5 cm (Paludikultur mit Rohrkolben etc.)		-18,70	240,00	0,31	-11,90
Wasserstand 0 cm (Paludikultur mit Rohrkolben etc.)		-19,80	310,00	0,16	-11,08
Wasserstufen bei Wiedervernässung von Waldflächen****					
Wasserstand -30 cm	<21 Jahre	11,31	0,0	4,70	12,56
	>20 Jahre	8,12	0,0	4,70	9,36
Wasserstand -20 cm	<21 Jahre	8,28	11,4	3,12	9,42
	>20 Jahre	5,08	11,4	3,12	6,23
Wasserstand -10 cm	<21 Jahre	5,24	23,1	1,53	6,30
	>20 Jahre	2,05	23,1	1,53	3,10
Wasserstand 0 cm	<21 Jahre	2,21	34,9	0,00	3,19
	>20 Jahre	-0,98	34,9	0,00	-0,01

Umrechnungsfaktoren: 28 bei CH₄ zu CO₂-Äq., 265 bei N₂O zu CO₂-Äq.

* Während die Emissionsfaktoren für Acker- und Grünland auf organischen Böden nach Tier 3 berechnet werden, basiert der Emissionsfaktor für Wald auf organischen Böden lediglich auf einem Tier 1-Ansatz. Dies führt zu erheblichen Unsicherheiten in den Ergebnissen, sodass diese nur eingeschränkt vergleichbar sind.

Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung, Öko-Institut. *CRF-Tabellen zur THG-Berichterstattung (UBA 2025)

Hennenberg und Böttcher (2023) in Anlehnung an Tiemeyer et al. (2020), *Angelehnt an WBNK (Herold et al. 2025)

****Angelehnt an Protze et al. (in Veröffentlichung) und Thünen-Institut (2022b)(Zuwachsreduktion bei Baumartenwechsel zu Schwarzerle berücksichtigt, siehe Text).

Mit einer Anhebung des Wasserstands auf zuvor drainierten landwirtschaftlichen Flächen kann eine deutliche Minderung der Treibhausgasemissionen erreicht werden. Dabei sinken die CO₂-Emissionen erheblich, teilweise wird sogar eine Netto-Bindung von Kohlenstoff erzielt. Parallel steigen jedoch die CH₄-Emissionen. Ein optimales Gleichgewicht ergibt sich bei einem Wasserstand von etwa –5 cm unter Flur, woraus eine Bilanz von 6,1 t CO₂-Äq. pro Hektar und Jahr resultiert (Tabelle 1).

Neuere Untersuchungen zeigen zudem, dass Paludikulturen – beispielsweise mit Rohrkolben oder Rohrglanzgras – im Wurzelraum in hohem Maße CO₂ binden. Trotz zusätzlicher CH₄-Emissionen können diese Flächen zu einer Netto-Senke von über -11 t CO₂-Äq. pro Hektar und Jahr werden (Herold et al. 2025).

Auch die Wiedervernässung von Waldflächen verbessert die THG-Bilanz der Böden, geht jedoch mit einem Wechsel der Baumartenzusammensetzung einher. Nach Daten der BWI-4 weisen Schwarzerlenbestände einen geringeren Zuwachs als der Mittelwert der Wälder in Deutschland auf. Diese Differenz beträgt umgerechnet etwa 1,7 t CO₂ pro Hektar und Jahr und wird für die ersten 20 Jahre nach Wiedervernässung als Quelle interpretiert. Der Kohlenstoffverlust durch die Ernte des vorherigen Bestands wird nicht berücksichtigt, da auf Nachbarflächen entsprechend weniger Bäume eingeschlagen werden müssen. Nach 20 Jahren wird der Baumartenwechsel als vollzogen angenommen, und es wird eine Senkenleistung der Schwarzerlenflächen von -1,4 t CO₂-Äq. pro Hektar und Jahr angesetzt.

In der Gesamtsumme der CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen wird davon ausgegangen, dass bei einer Wiedervernässung mit einem Wasserstand von 0 cm die THG-Emissionen in den ersten 20 Jahren auf 3,2 t CO₂-Äq. pro Hektar zurückgehen. Ab dem 21. Jahr nach Beginn der Wiedervernässung wird mit einer ausgeglichenen Bilanz von 0 t CO₂-Äq. pro Hektar und Jahr gerechnet (Tabelle 1).

Die in Tabelle 1 dargestellten Emissionsfaktoren je Flächentyp und Wasserstand bilden die Grundlage für die Berechnung der THG-Minderung in den Szenarien und Sensitivitätsanalysen, die Veränderungen der Nutzung organischer Böden berücksichtigen.

Darüber hinaus entfällt durch die Wiedervernässung der landwirtschaftlich genutzten organischen Böden und die extensivere Bewirtschaftung die Notwendigkeit einer Stickstoffdüngung. Dies führt zu zusätzlichen Emissionsreduktionen im Bereich der N₂O-Emissionen aus Böden. Der durchschnittliche Mineraldüngereinsatz auf konventionell bewirtschafteten Flächen liegt bei rund 76 kg pro Hektar (Mittelwert 2021–2023). Bei einem Emissionsfaktor von 3,2 kg CO₂-Äq. pro kg N-Mineraldünger ergibt sich eine Einsparung von etwa 0,24 t CO₂-Äq. pro Hektar wiedervernässter Fläche. Diese Minderungen werden im Folgenden nicht ausgewiesen, da die Abbildungen und Tabellen ausschließlich die im LULUCF-Sektor bilanzierten THG-Minderungen darstellen.

3.3 Sensitivitäten zur Wirkung der W-VO

3.3.1 Annahmen und Treibhausgas-minderung im MMS und MWMS

Im MMS und MWMS des Projektionsberichts 2025 der Bundesregierung (Förster et al. 2025) wird die Wirkung von Maßnahmen zum Moorbodenschutz über eine veränderte Flächenkulisse abgebildet. Die Wiedervernässung im MMS von 161.000 ha im Jahr 2050 resultiert in einer Treibhausgas-minderung von -2,5 Mio. t CO₂-Äq. Hinzu kommt eine THG-Minderung von -2,1 Mio. t CO₂-Äq. durch die Reduktion der Torfverwendung (Tabelle 2). Bis zum Jahr 2050 werden im MWMS weitere 275.000 ha landwirtschaftlich genutzter Böden wiedervernässt, wodurch eine zusätzliche THG-Minderung von -7,3 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2050 erreicht wird. Die mittlere Minderung je Flächeneinheit beträgt -16 bis -32 t CO₂-Äq. pro Hektar und Jahr (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Projizierte direkte Netto-Minderungen an Treibhausgasemissionen pro Jahr durch Wiedervernässung landwirtschaftlicher Flächen und Reduktion der Torfverwendung im MMS und MWMS

Parameter/Szenario	Einheit	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Mit- Maßnahmen-Szenario (MMS), zusätzlich gegenüber OMS							
Fläche (Wiedervernässung)	ha	k.A.	62.889	87.417	111.945	136.472	161.000
Minderung (Wiedervernässung)	Mio. t CO ₂ -Äq./Jahr	-0,2	-1,0	-1,5	-1,8	-2,2	-2,5
Reduzierung der Torfverwendung	Mio. t CO ₂ -Äq./Jahr	-0,4	-1,1	-1,6	-2,0	-2,0	-2,1
Summe MMS	Mio. t CO ₂ -Äq./Jahr	-0,6	-2,1	-3,1	-3,8	-4,2	-4,6
Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS), zusätzlich gegenüber MMS							
Fläche	ha	0	6.100	73.325	140.550	207.775	275.000
Minderung (Wiedervernässung)	Mio. t CO ₂ -Äq./Jahr	0,00	-0,2	-2,0	-3,7	-5,4	-7,3
Summe MMS und MWMS							
Fläche	ha	k.A.	68.989	160.742	252.495	344.247	436.000
Minderung (Wiedervernässung)	Mio. t CO ₂ -Äq./Jahr	-0,2	-1,2	-3,5	-5,5	-7,6	-9,8

k.A. = keine Angaben.

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

3.3.2 Sensitivitäten zu Annahmen und Treibhausgasminderungspotenzial

Die Höhe der THG-Minderung durch Wiedervernässung hängt unmittelbar von der wiedervernässten Fläche und den gewählten Wasserständen ab. In Deutschland werden ca. 1,4 Mio. ha landwirtschaftlich genutzt (0,4 Mio. ha als Ackerland, 1 Mio. ha als Grünland). Im MMS werden im Jahr 2050 etwa 11,5 % und im MWMS bereits 31,1 % der landwirtschaftlich genutzten organischen Böden wiedervernässt (siehe Tabelle 3). Für die Analyse der zusätzlichen THG-Minderung, die durch die W-VO zu erwarten ist, werden die bereits durch das MWMS abgedeckten Flächen einschließlich der dort bilanzierten Minderungen (siehe Tabelle 2) als unabhängig von der W-VO fortgeschrieben.

Die W-VO fordert jedoch deutlich höhere Wiedervernässungsanteile als im MWMS vorgesehen (vgl. Tabelle 3). So müssen bis zum Jahr 2030 nach den Anforderungen der W-VO über 400.000 ha wiedervernässt werden – mehr als 300.000 ha zusätzlich gegenüber dem MWMS (siehe Abschnitt 4.1). Im Jahr 2050 beträgt die Differenz zwischen W-VO-Vorgaben und MWMS noch rund 240.000 ha (Tabelle 3). Die in Tabelle 3 ausgewiesene W-VO-Flächenkulisse umfasst die gesamte Wiederherstellungsfläche auf landwirtschaftlich genutzten organischen Böden. Nach Artikel 11 Abs. 4 a–c muss jedoch nur ein Teil dieser Flächen tatsächlich wiedervernässt werden. In den hier dargestellten Berechnungen wird angenommen, dass dieser Teil vollständig wiedervernässt wird, während für die übrigen Flächen eine Teilvernässung unterstellt wird.

Tabelle 3: Flächenkulissen der W-VO-Sensitivitäten gegenüber dem MWMS

Parameter	Einheit	2030	2035	2040	2045	2050
Fläche MWMS	ha	68.989	160.742	252.495	344.247	436.000
Fläche W-VO	ha	405.983	473.646	541.310	608.974	676.638
Annahme: Wiedervernässung ausschließlich auf landwirtschaftlichen Flächen						
Zusätzliche Fläche durch W-VO auf landwirtschaftlichen Flächen	ha	336.994	312.904	288.815	264.727	240.638
Annahme: Wiedervernässung zu hohen Anteilen auf forstwirtschaftlichen Flächen						
Zusätzliche Fläche durch W-VO im Wald	ha	162.393	189.459	205.331	205.331	205.331
Zusätzliche Fläche durch W-VO auf landwirtschaftlichen Flächen	ha	174.601	123.445	83.484	59.396	35.307

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

Alternativ zur Wiedervernässung landwirtschaftlicher Flächen erlaubt die W-VO, bis zu 40 % der Maßnahmen auf anderen Flächen umzusetzen. In der vorliegenden Analyse werden hierfür Waldflächen berücksichtigt. In Deutschland existieren 264.355 ha Waldfläche auf organischen Böden. Unter der Annahme, dass hiervon bereits 30 % vernässt sind (siehe Abschnitt 4.2), verbleiben 185.049 ha nicht vernässter Altbestände. Hinzu kommen 20.282 ha neuer Waldflächen auf organischen Böden (Stand 2023). Insgesamt werden somit 205.331 ha Waldfläche auf organischen Böden für eine mögliche Wiedervernässung in den Sensitivitäten berücksichtigt (Tabelle 3).

Die zusätzlich nach W-VO zu vernässenden Flächen (vgl. Tabelle 3) bilden die Grundlage für die Bewertung der W-VO gegenüber dem MWMS und werden in den folgenden Sensitivitäten abgebildet:

- ▶ **Moor_W-VO_-5cm:** Zusätzliche Flächen gegenüber MWMS werden auf landwirtschaftlichen Flächen realisiert. Acker- und Grünlandanteile werden entsprechend wiedervernässt. Vollvernässung erfolgt gemäß W-VO mit einem Wasserstand von –5 cm; für Teilvernässung wird –20 cm angenommen (vgl. Tabelle 4).
- ▶ **Moor_W-VO_vert:** Diese Sensitivität entspricht der Sensitivität Moor_W-VO_-5cm, berücksichtigt jedoch Übergänge bei den Wasserständen, da eine konstante Einhaltung in der Praxis schwer möglich ist.
- ▶ **Moor_W-VO_-5cm_75%Paludi:** Diese Sensitivität entspricht der Sensitivität Moor_W-VO_-5cm, jedoch mit der Annahme, dass auf 75 % der vollvernässten Flächen Paludikulturen angebaut werden, die eine hohe Kohlenstoffeinbindung erreichen (vgl. Tabelle 1).
- ▶ **Moor_W-VO_-5cm_Wald:** Diese Sensitivität entspricht der Sensitivität Moor_W-VO_-5cm, jedoch mit Wiedervernässung von Waldflächen als Alternative zu landwirtschaftlichen Flächen (siehe Tabelle 3) und entsprechender Reduktion der wiedervernässten landwirtschaftlichen Flächen. Die Wasserstände entsprechen den W-VO-Vorgaben für Vollvernässung, im Wald wird ein Wasserstand von 0 cm angenommen (Tabelle 4).

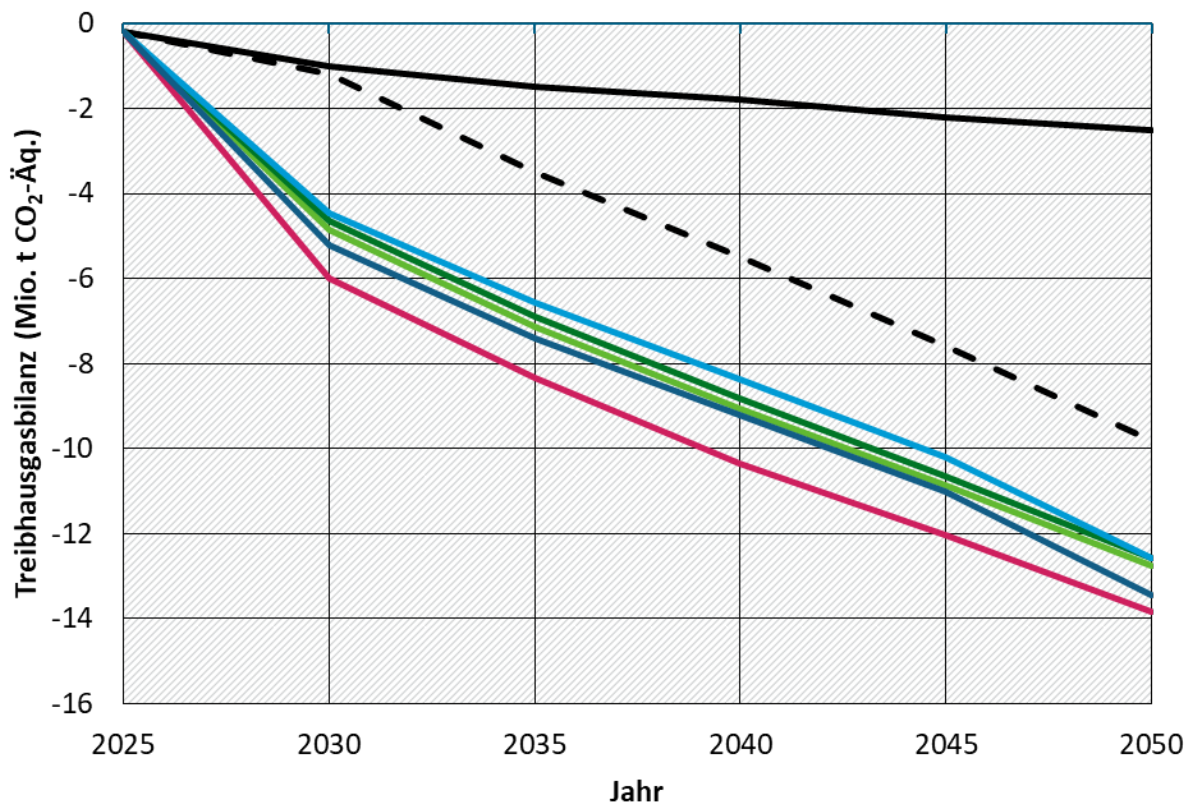
- Moor_W-VO_-5cm_Wald-100%voll: Diese Sensitivität entspricht der Sensitivität Moor_W-VO_-5cm_Wald, jedoch mit der Annahme, dass alle wiedervernässten Waldflächen vollständig vernässt werden (Tabelle 4).

Tabelle 4: Annahmen zu Wasserständen in W-VO-Sensitivitäten zur Wiedervernässung von Moorböden

Parameter	2030	2035	2040	2045	2050
Wasserstände bei Wiedervernässung von Acker- und Grünland in der Sensitivität „Moor_W-VO_-5cm“					
Wasserstufe -20 cm	75 %	71 %	67 %	67 %	67 %
Wasserstufe -5 cm	25 %	29 %	33 %	33 %	33 %
Wasserstände bei Wiedervernässung von Acker- und Grünland in der Sensitivität „Moor_W-VO_vert“					
Wasserstand -20 cm	75 %	71 %	67 %	67 %	67 %
Wasserstand -15 cm	5 %	5 %	5 %	5 %	5 %
Wasserstand -10 cm	5 %	6 %	7 %	7 %	7 %
Wasserstand -5 cm	10 %	12 %	14 %	14 %	14 %
Wasserstand 0 cm	5 %	6 %	7 %	7 %	7 %
Wasserstände bei Wiedervernässung von Wald in der Sensitivität „Moor_W-VO_-5cm_Wald“					
Wasserstand -20 cm	75 %	71 %	67 %	67 %	67 %
Wasserstand 0 cm	25 %	29 %	33 %	33 %	33 %
Wasserstände bei Wiedervernässung von Wald in der Sensitivität „Moor_W-VO_-5cm_Wald-100%voll“					
Wasserstand 0 cm	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut.

In Abbildung 1 sind die THG-Bilanzen von MMS und MWMS (inkl. MMS) sowie von den W-VO-Sensitivitäten (jeweils inkl. MMS und MWMS) aufgetragen. Die THG-Minderung gegenüber dem OMS, das als Vergleichsmaßstab dient, betragen im Jahr 2050 für das MMS -2,5 Mio. t CO₂-Äq. und die W-VO-Sensitivität mit hohen Paludikulturanteilen -13,8 Mio. t CO₂-Äq. (Moor_WVO_-5cm_75%Paludi, siehe auch Tabelle 5). Entsprechend der mobilisierten Flächenkulisse (Tabelle 3) erreichen die W-VO-Sensitivitäten eine höhere THG-Minderung als das MWMS. Dieser Effekt wird im Folgenden detailliert betrachtet.

Abbildung 1: Treibhausgasminderung in MMS, MWMS und den W-VO-Sensitivitäten durch Wiedervernässung von Moorböden gegenüber OMS

— MMS
 — MWMS
 — Moor_WVO_-5cm
 — Moor_WVO_vert
 — Moor_WVO_-5cm_75%Paludi
 — Moor_WVO_-5cm_Wald
 — Moor_WVO_-5cm_Wald-100%voll

OMS = Ohne-Maßnahmen-Szenario, MMS = Mit-Maßnahmen-Szenario, MWMS = Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario. Zur Benennung der W-VO-Sensitivitäten siehe Text und Tabelle 6.

Quelle: Daten zu MMS und MWMS aus Förster et al. (2025), eigene Berechnungen und Darstellung.

Tabelle 5: Treibhausgasminderung in MMS, MWMS und den W-VO-Sensitivitäten durch Wiedervernässung von Moorböden gegenüber OMS

Szenario bzw. Sensitivität	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Mio. t CO ₂ -Äq.						
MMS	-0,20	-1,00	-1,50	-1,80	-2,20	-2,50
MWMS	-0,20	-1,20	-3,50	-5,50	-7,60	-9,80
Moor_WVO_-5cm_Wald	-0,20	-4,47	-6,58	-8,37	-10,19	-12,59
Moor_WVO_vert	-0,20	-4,63	-6,90	-8,84	-10,66	-12,58
Moor_WVO_-5cm	-0,20	-4,87	-7,13	-9,06	-10,87	-12,77
Moor_WVO_-5cm_Wald-100%voll	-0,20	-5,23	-7,42	-9,22	-11,03	-13,45

Szenario bzw. Sensitivität	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Moor_WVO_-5cm_75%Paludi	-0,20	-6,00	-8,36	-10,35	-12,04	-13,84

Quelle: Daten zu MMS und MWMS aus Förster et al. (2025), eigene Berechnung und Darstellung.

Gegenüber dem MWMS ergeben die Sensitivitäten zur Wiedervernässung von Moorböden nach W-VO eine zusätzliche Treibhausgasmindeung von rund –2,5 bis –5,0 Mio. t CO₂-Äq. pro Jahr (Abbildung 1). Diese zusätzliche Minderung resultiert aus den höheren Flächenanforderungen der W-VO, die über die im MWMS vorgesehenen Wiedervernässungen hinausgehen.

In der Sensitivität Moor_W-VO_-5cm, die eine Umsetzung der W-VO-Vorgaben ausschließlich auf landwirtschaftlichen Flächen bei optimalen Wasserständen in vollvernässten Flächen annimmt, wird eine zusätzliche THG-Minderung von –3,0 bis –3,5 Mio. t CO₂-Äq. pro Jahr erreicht (Abbildung 1). Die Minderung fällt etwas geringer aus, wenn weniger optimale Wasserstände unterstellt werden (Sensitivität Moor_W-VO_vert).

Deutlich höhere Minderungen ergeben sich in der Sensitivität Moor_W-VO_75%Paludi, in der angenommen wird, dass auf 75 % der vollvernässten Flächen Paludikulturen etabliert werden. Diese Flächen weisen eine hohe Kohlenstoffbindung im Boden auf, sodass die zusätzliche THG-Minderung gegenüber dem MWMS auf –4,0 bis –4,9 Mio. t CO₂-Äq. pro Jahr steigt.

Wird ein Teil der Wiedervernässung nicht auf landwirtschaftlichen Flächen, sondern auf Waldflächen umgesetzt (Moor_W-VO_-5cm_Wald), ergibt sich gegenüber der Sensitivität Moor_W-VO_-5cm eine Verringerung der THG-Minderung um etwa 0,4 bis 0,7 Mio. t CO₂-Äq. pro Jahr. Unter der Annahme, dass die wiedervernässten Waldflächen vollständig vollvernässt werden (Moor_W-VO_-5cm_Wald-100%voll), kann gegenüber Moor_W-VO_-5cm eine leichte Verbesserung der THG-Minderung erzielt werden (Abbildung 1).

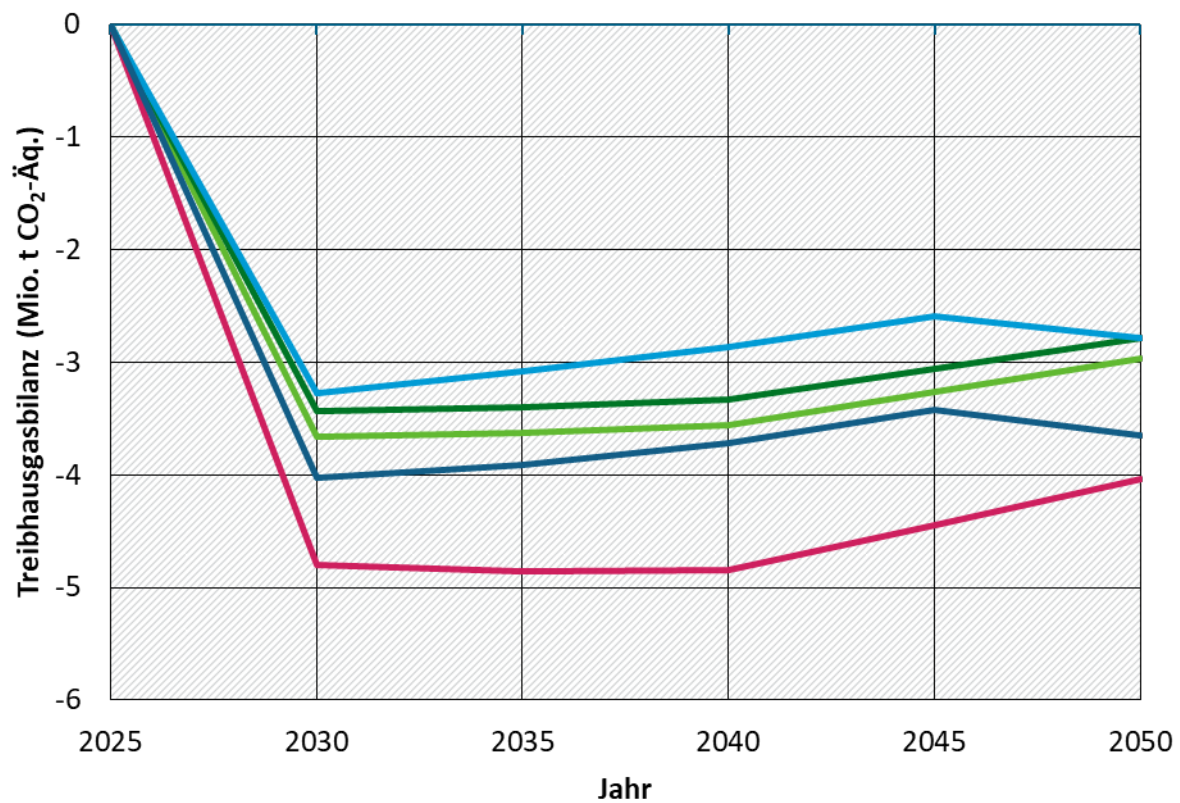
Tabelle 6: Annahmen zu Wasserständen in W-VO-Sensitivitäten zur Wiedervernässung von Moorböden und daraus resultierendes THG-Minderungspotenzial gegenüber dem MWMS im Überblick

Sensitivität	Annahmen	Zusätzliche THG-Minderung gegenüber dem MWMS (Mio. t CO ₂ -Äq./a)	Bemerkungen
Moor_W-VO_-5cm	Umsetzung der W-VO auf landwirtschaftlichen Flächen; Vollvernässung bei –5 cm, Teilvernässung bei –20 cm	–3,0 bis –3,5	Basisannahme mit optimalen Wasserständen
Moor_W-VO_vert	Wie Moor_W-VO_-5cm, aber mit variablen Wasserständen	leicht geringer als –3,0 bis –3,5	Abweichungen durch weniger konstante Wasserstände
Moor_W-VO_75%Paludi	Wie Moor_W-VO_-5cm, zusätzlich 75 % Paludikulturen auf vollvernässten Flächen	–4,0 bis –4,9	Deutlich höhere Kohlenstoffbindung durch Paludikulturen
Moor_W-VO_-5cm_Wald	Teilweise Wiedervernässung auf Waldflächen statt Landwirtschaft; Wasserstände gemäß W-VO	–2,6 bis –3,1	Minderung um ca. 0,4–0,7 gegenüber Moor_W-VO_-5cm

Sensitivität	Annahmen	Zusätzliche THG-Minderung gegenüber dem MWMS (Mio. t CO ₂ -Äq./a)	Bemerkungen
Moor_W-VO_-5cm _Wald-100%voll	Alle wiedervernässten Waldflächen vollständig vollvernässt (0 cm Wasserstand unter Flur)	leicht höher als -3,0 bis -3,5	Leichte Verbesserung gegenüber Moor_W-VO_-5cm

Quelle: Eigene Zusammenstellung, Öko-Institut

Abbildung 2: Treibhausgasminderung in W-VO-Sensitivitäten durch Wiedervernässung von Moorböden gegenüber MWMS



Moor_WVO_-5cm
 Moor_WVO_-5cm_75%Paludi
 Moor_WVO_-5cm_Wald-100%voll
 Moor_WVO_vert
 Moor_WVO_-5cm_Wald

MWMS = Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario. Dargestellt ist die THG-Minderung gegenüber dem MWMS (siehe Tabelle 2). Zur Benennung der Sensitivitäten siehe Text.

Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung, Öko-Institut

4 Wiederherstellung von Feuchtgebieten

4.1 Hintergrund

Nach Artikel 4 der W-VO gehören Feuchtgebiete zu den Lebensraumtypen nach Anhang I, deren guter ökologischer Zustand bis 2050 zu 90 % wiederhergestellt werden muss. Die Wiederherstellung umfasst eine breite Gruppe von Lebensräumen, darunter Küstenbereiche mit halophytischer Vegetation, feuchte Heiden und Moorbiesen, Hoch- und Niedermoore sowie azonale Wälder, wie z. B. Auwälder.

Die Verordnung setzt für Feuchtgebiete – jenseits der reinen Moorbodenwiedervernässung – vor allem flächenbezogene Wiederherstellungsziele und spezifische Vorgaben für Flüsse, Auen und andere Wasser- und Feuchtökosysteme. Anders als bei Moorböden werden für diese Typen keine eigenen Prozentzahlen festgelegt. Als allgemeines Ziel fordert Artikel 4, dass bis 2030 mindestens 30 % der in Anhang I aufgeführten Lebensraumtypen der Land-, Küsten- und Süßwasserökosysteme und bis 2050 mindestens 90 % aller sanierungsbedürftigen Ökosysteme – einschließlich Feuchtgebieten, Auen und Binnengewässern – wirksam wiederhergestellt sind. Ziel ist die deutliche Verbesserung von Biodiversität, Ökosystemfunktionen (z. B. Wasserretention, Kühlung, Kohlenstoffspeicherung) sowie die Vernetzung von Feuchtlandsräumen.

Für Flüsse und Auen sieht die Verordnung vor, dass bis 2030 mindestens 25.000 km Fließgewässer wieder „frei fließend“ gemacht werden. Dies soll insbesondere durch die Entfernung überflüssiger Querbauwerke und die Wiederanbindung von Auen erreicht werden, sodass natürliche Funktionen und Vernetzung zurückgewonnen werden. Mitgliedstaaten müssen in ihren nationalen Wiederherstellungsplänen auch Feuchtgebiete außerhalb von Natura-2000-Gebieten berücksichtigen (z. B. Auen, Überschwemmungsflächen, Küstenfeuchtgebiete) und geeignete Maßnahmen zur Verbesserung der Hydrologie und der Habitatqualität festlegen.

Feuchtgebiete nahmen in Deutschland im Jahr 2023 eine Fläche von rund 817.000 ha ein. Mit über 550.000 ha machen natürliche Gewässer etwa zwei Drittel dieser Fläche aus, sind jedoch nur für 0,5 % der berichteten THG-Emissionen verantwortlich. Die berichteten Emissionen berücksichtigen bisher vorwiegend künstliche stehende Gewässer, terrestrische Feuchtgebiete und Torfabbaufächen. Letztere werden bereits im Rahmen des Moorbodenschutzes berücksichtigt.

Die im Anhang I der W-VO genannten Lebensraumtypen mit Bezug zu Seen und Flüssen sind sämtlich der Kategorie „natürliche Gewässer“ zuzuordnen. Für diese Gewässertypen werden im THG-Inventar derzeit nur sehr geringe Emissionen ausgewiesen. Ob diese Werte tatsächlich niedrig sind oder ob ein Großteil der Emissionen aus diesen Gewässertypen bislang nicht erfasst werden, ist offen. Naturschutzfachliche Verbesserungen auf diesen Flächen führen rechnerisch zu keiner oder nur sehr geringer Verbesserung der THG-Bilanz. Daher werden sie im W-VO-Szenario nicht berücksichtigt. Eine Bewertung sollte jedoch erfolgen, falls zukünftige THG-Inventare höhere Emissionen für natürliche Gewässer ausweisen (Hübner 2025).

4.2 Treibhausgasminderung je Flächeneinheit

Terrestrische Feuchtgebiete umfassen alle Feuchtgebiete, die weder stehende oder fließende Gewässer noch Torfabbaufächen sind. Im Jahr 2023 waren in Deutschland insgesamt 146.100 ha als terrestrische Feuchtgebiete ausgewiesen, davon befanden sich rund 132.000 ha auf organischen Böden (CRF-Tabellen zu UBA (2025)).

In der Treibhausgasbilanz weisen diese Flächen vergleichsweise hohe Emissionen auf: Mit durchschnittlich 15,9 t CO₂-Äq./ha/Jahr liegen die Emissionen um etwa 10,5 t CO₂-Äq. über den Werten, die bei vollvernässten Flächen erwartet werden können (5,4 t CO₂-Äq./ha/Jahr). Dies verdeutlicht das erhebliche Minderungspotenzial, das durch eine Wiedervernässung terrestrischer Feuchtgebiete erschlossen werden kann.

4.3 Sensitivitäten zu Annahmen und Treibhausgasminderungspotenzial

4.3.1 Annahmen und Treibhausgasminderung im MMS und MWMS

Im MMS und MWMS wurden Maßnahmen zur Wiederherstellung von Feuchtgebieten nicht berücksichtigt. Die durch die W-VO erzielbaren THG-Minderungen können daher vollständig als zusätzlicher Effekt gegenüber dem MWMS bewertet werden.

4.3.2 Annahmen und Treibhausgasminderung in W-VO-Sensitivitäten

Die Lebensraumtypen aus Anhang I der W-VO, die den Feuchtgebieten zugeordnet werden können, sind in Tabelle 7 zusammengestellt. Ohne die Feuchtwälder umfassen diese Flächen knapp 25.000 ha. Dies entspricht einem Anteil von 18,9 % an der Gesamtfläche der terrestrischen Feuchtgebiete.

Tabelle 7: Flächen feuchter Lebensraumtypen ohne Gewässer in Deutschland mit Nennung in Anhang I der W-VO

EU-Code	Lebensraumtyp	Fläche (ha)
Feuchte Heiden und Moorbiesen		
4010	Feuchte Heiden des nordatlantischen Raumes mit <i>Erica tetralix</i>	1.633
Hoch- und Niedermoore		
7110	Lebende Hochmoore	3.270
7140	Übergangs- und Schwingrasenmoore	13.227
7150	Torfmoor-Schlenken (<i>Rhynchosporion</i>)	582
7210	Kalkreiche Niedermoore mit <i>Cladium mariscus</i> und Arten von <i>Caricion davallianae</i>	1.014
7220	Kalktuffquellen (<i>Cratoneurion</i>)	382
7230	Kalkreiche Niedermoore	6.458
7240	Alpine Pionierformationen des <i>Caricion bicoloris-atrofuscae</i>	11
<i>Summe Hoch- und Niedermoore</i>		24.942
Feuchtwälder		
91D0	Moorwälder	35.502
Summe Feuchtgebiete		62.077

Quelle: Berichtsdaten für die aktualisierte Fassung des FFH-Handbuchs, Lebensraumtypen¹

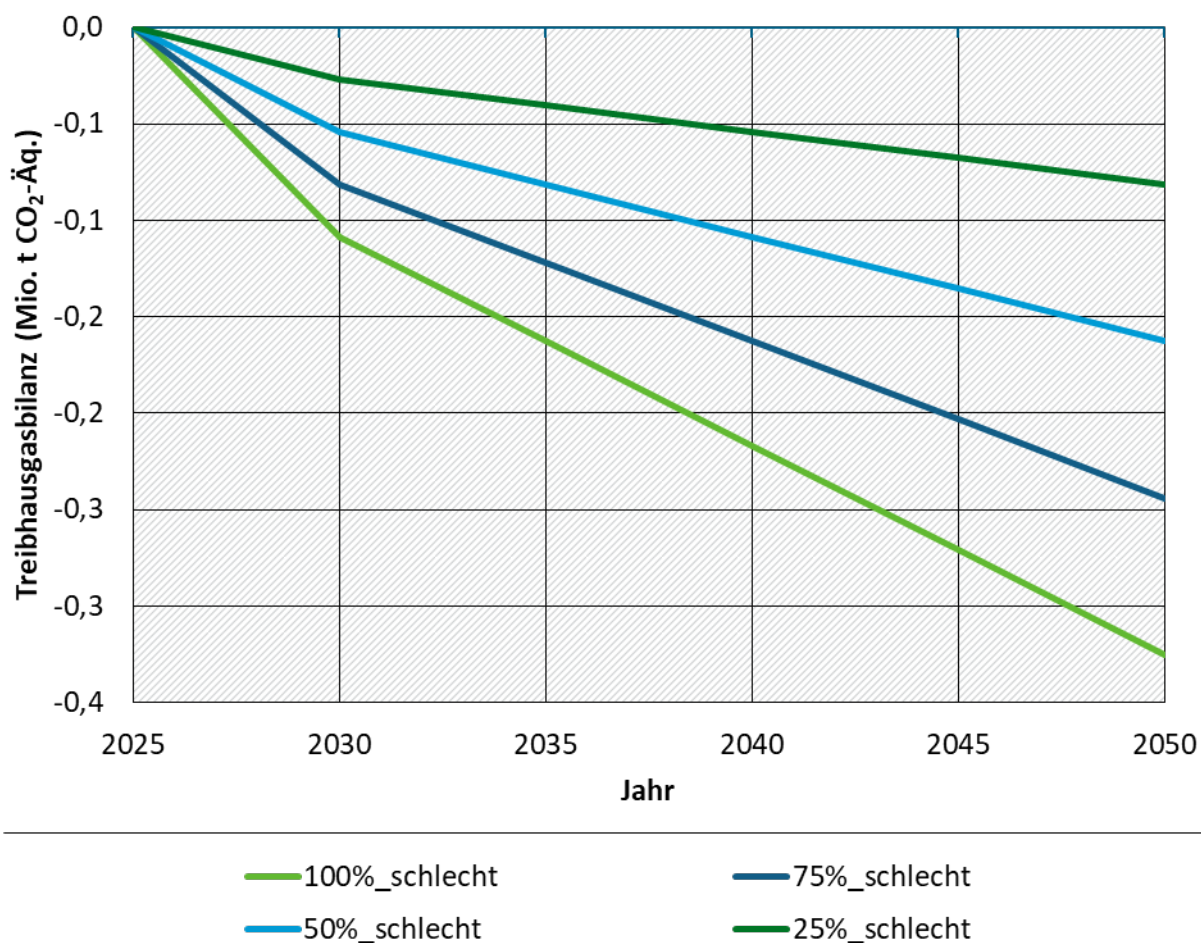
¹ Eine Beschreibung von 93 in Deutschland vorkommenden Lebensraumtypen findet sich auf der Website des Bundesamts für Naturschutz (BfN) unter: <https://www.bfn.de/lebensraumtypen>.

Nach Artikel 4 Absatz 1 der W-VO sind für Süßwasserökosysteme, die in Anhang I als Lebensraumtypen aufgeführt sind, Wiederherstellungsmaßnahmen zu ergreifen, um Flächen in schlechtem Zustand in einen guten ökologischen Zustand zu versetzen. Die Verordnung sieht dabei folgende Zielwerte vor:

- ▶ Bis 2030 auf 3 % aller Lebensraumtypen in einem schlechten Zustand; ein Anteil für Süßwasserlebensraumtypen ist nicht festgelegt.
- ▶ Bis 2040 auf 60 % und bis 2050 auf 90 % der Süßwasserlebensraumtypen in einem schlechten Zustand.

Ein spezifischer Anteil für Süßwasserlebensraumtypen ist in der Verordnung nicht festgelegt. Zudem ist derzeit unklar, welche Feuchtgebietsflächen tatsächlich in schlechtem Zustand sind und welche Lebensraumtypen prioritär wiederhergestellt werden sollen. Um diese Unsicherheiten zu berücksichtigen, wurde die Berechnung der Treibhausgasminderungswirkung anhand von vier Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Dabei wird angenommen, dass sich 100 %, 75 %, 50 % bzw. 25 % der Flächen in schlechtem Zustand befinden und entsprechend wiederhergestellt werden müssen.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich bis zum Jahr 2050 durch die Wiederherstellung von Feuchtgebieten zusätzliche THG-Minderungen zwischen 0,13 und 0,35 Mio. t CO₂-Äq. erreichen lassen (siehe Abbildung 3 und Tabelle 8). Für das Jahr 2030 liegen die Minderungswirkungen zwischen 0,05 und 0,11 Mio. t CO₂-Äq. Die Höhe der erzielten Minderungen variiert zwischen den Sensitivitäten und hängt maßgeblich von der Annahme ab, welcher Anteil der Flächen sich in schlechtem Zustand befindet und wiederhergestellt werden muss.

Abbildung 3: Treibhausgasminderung in W-VO-Sensitivitäten zur Wiederherstellung von Feuchtgebieten gegenüber OMS

OMS = Ohne-Maßnahmen-Szenario. 25%_schlecht = 25 % der Fläche mit in der W-VO genannten Lebensraumtypen in der Kategorie terrestrische Feuchtgebiete befinden sich in einem schlechten Zustand und werden wiederhergestellt. MWMS und MWMS sind nicht dargestellt, da für diese Szenarien keine Wiederherstellung von Feuchtgebieten bilanziert wird (siehe Abschnitt 4.3.1).

Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung, Öko-Institut

Tabelle 8: Treibhausgasminderung in W-VO-Sensitivitäten zur Wiederherstellung von Feuchtgebieten gegenüber dem OMS

Szenario bzw. Sensitivität	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Mio. t CO ₂ -Äq.						
25%_schlecht	0,00	-0,03	-0,04	-0,05	-0,07	-0,08
50%_schlecht	0,00	-0,05	-0,08	-0,11	-0,14	-0,16
75%_schlecht	0,00	-0,08	-0,12	-0,16	-0,20	-0,24
100%_schlecht	0,00	-0,11	-0,16	-0,22	-0,27	-0,33

Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung, Öko-Institut

5 Anlage von Agroforstsystemen zur Kohlenstoffspeicherung und als Landschaftselemente

5.1 Hintergrund

Die W-VO fordert für landwirtschaftliche Ökosysteme in Artikel 11 einen Aufwärtstrend der biologischen Vielfalt durch die Wiederherstellung nachhaltiger, widerstandsfähiger und biodiverser Agrarlandschaften. Ziel ist es, Ernährungssicherheit und Resilienz gegenüber Klimarisiken zu sichern. Bis 2030 müssen nach Absatz 2 mindestens zwei von drei Indikatoren – (1) Grünlandschmetterlinge, (2) organischer Kohlenstoff in mineralischen Böden, (3) Anteil von Landschaftselementen wie Hecken oder Teiche – einen Aufwärtstrend auf nationaler Ebene erreichen, bis ein gemäß Artikel 14 Abs. 5 festgelegtes wissenschaftlich begründetes Niveau erreicht ist. Eine fortgesetzte Überwachung ist im sechsjährigen Turnus vorgesehen.

Potenzielle Maßnahmen umfassen die Förderung extensiver Bewirtschaftung, die Reduktion von Monokulturen sowie umweltschonende Praktiken (z. B. über GAP-Öko-Regelungen). Ein Schwerpunkt liegt auf der Erhöhung von Landschaftselementen und der Habitatvielfalt auf Acker- und Grünlandflächen. Die Integration in nationale Pläne erfolgt mit Fokus auf Biodiversität und Klimawiderstandsfähigkeit, jedoch ohne starre Flächenquoten.

Die Anlage und Förderung von Agroforstsystemen – etwa durch die Einbringung von Gehölzstrukturen in Acker- oder Grünlandflächen – wird in Artikel 11 der W-VO nicht explizit genannt. Sie zählen jedoch als Landschaftselemente (Art. 11(1)c), die geeignet sind, mindestens zwei der drei Indikatoren positiv zu beeinflussen. Agroforstsysteme tragen zur Verbesserung der organischen Kohlenstoffgehalte in mineralischen Böden (Art. 11(1)b) bei, indem sie Schatten spenden, Erosion mindern und Nährstoffkreisläufe stabilisieren. Im nationalen Kontext werden sie als Maßnahme zur Umsetzung von Artikel 11 empfohlen, insbesondere zur Erfüllung von GAP-Öko-Regelungen und Wiederherstellungsplänen.

Darüber hinaus verzahnt sich die Förderung von Agroforstsystemen mit den Zielen für Wälder (Art. 12) und Feuchtgebiete (Art. 10/11(4)), da sie Kohlenstoffspeicherung unterstützen, Monokulturen reduzieren und Synergien zwischen Biodiversität und Klimaschutz heben.

Die klimawirksamen Effekte von Agroforstsystemen beruhen auf drei Mechanismen:

- **Kohlenstoffspeicherung im Boden** durch erhöhte organische Einträge, Schattenwirkung und verbesserte Nährstoffkreisläufe.
- **Kohlenstoffspeicherung in lebender Biomasse** durch CO₂-Einbindung sowohl in der oberirdischen also auch in der unterirdischen Biomasse.
- **Förderung der Biodiversität** durch Strukturvielfalt, Habitatangebote und Vernetzung von Landschaftselementen.

Agroforstsysteme bieten den Vorteil einer gezielten Integration in landwirtschaftliche Nutzungssysteme und sind damit praxistaugliche Maßnahmen zur Verbindung von Biodiversität und Klimaschutz. In der Literatur wird allerdings auch darauf verwiesen, dass die Spannbreite der Kohlenstoffspeicherung in Agroforstsystemen mit 0,33 bis 26,8 t CO₂-Äq. pro Hektar und Jahr sehr groß ist (Kay et al. 2019). Dies liegt an Faktoren wie Anteil der Gehölzelemente im Agroforstsystem, Zuwachsleistung der gewählten Gehölzarten und Intensität der Holzernte. Für die Gehölzfläche im Agroforstsystem kann eine mittlere CO₂-Einbindung von 10 t CO₂-Äq. pro Hektar Gehölzfläche und Jahr als erreichbar angesehen werden (Literaturanalyse in Böhm et al. 2025). Zudem kann erwartet werden, dass für zahlreiche Agroforstsysteme aufgrund der

Nutzung die Kohlenstoffeinbindung nach z. B. 20-30 Jahren in eine Sättigung geht und dann in der Netto-Bilanz kein weiterer Kohlenstoff festgelegt wird (vgl. Herold et al. 2025). Dem gegenüber kann die Kohlenstoffbindung durch natürliche Sukzession in ungestörten Ökosystemen ohne Nutzung höher sein und über längere Zeiträume eine Wirkung zeigen als in Agroforstelementen (Böttcher et al. 2024).

5.2 Treibhausgasminderung je Flächeneinheit

Wie in Abschnitt 5.1 dargestellt, ist die Spannbreite der Treibhausgasbilanz von Agroforstsystemen sehr groß. Da die Bilanz stark durch den Flächenanteil der Gehölzelemente bestimmt wird, erfolgt die Berechnung der THG-Minderung ausschließlich auf Basis der Gehölzflächen.

Die Höhe der erzielten Minderung hängt insbesondere von der Intensität der Holzentnahme ab. Selbst ohne Holzentnahme wird in bewirtschafteten Systemen eine geringere CO₂-Einbindung erwartet als bei einer natürlichen Sukzession (Böttcher et al. 2024). Für die Kohlenstoffeinbindung in Agroforstelementen werden folgende vereinfachenden Annahmen getroffen, da die Abbildung der Heterogenität möglicher Gehölzelemente und deren Nutzung im Rahmen dieser Studie nicht erfolgen konnte:

- ▶ Die Anlage von Agroforstsystemen auf Acker- und Grünlandflächen auf mineralischen Böden erreicht in den ersten 20 Jahren eine Kohlenstoffeinbindung von:
 - 1 t Kohlenstoff bzw. -3,67 t CO₂-Äq. pro Hektar und Jahr bei einer Holzernteintensität von 100 %. Die Minderung erfolgt vor allem im Wurzelraum.
 - 4 t Kohlenstoff bzw. -14,67 t CO₂-Äq. pro Hektar und Jahr bei einer Holznutzung von 0 %. Die Minderung erfolgt im Wurzelraum und in der lebenden Biomasse.
- ▶ Für andere Holzentnahmeraten wird die Kohlenstoffeinbindung durch lineare Interpolation zwischen diesen beiden Extremen bestimmt.
- ▶ Nach 20 Jahren Nutzung wird keine weitere Kohlenstoffeinbindung angenommen.
- ▶ Effekte auf Methan und Lachgas, die im LULUCF-Sektor berichtet werden, werden mit null bewertet. Da Agroforstsysteme keine Stickstoffdüngung erfordern, können N₂O-Emissionen aus Böden reduziert werden. Dieser Effekt wird jedoch dem Landwirtschaftssektor zugerechnet. Bei einem durchschnittlichen Mineraldüngereinsatz von 76 kg N pro Hektar (Mittel 2021–2023) und einem Emissionsfaktor von 3,2 kg CO₂-Äq./kg N ergibt sich eine Einsparung von ca. 0,24 t CO₂-Äq. pro Hektar Gehölzfläche. Diese Minderung wird im Folgenden nicht ausgewiesen, da die Abbildungen und Tabellen ausschließlich die THG-Minderungen des LULUCF-Sektors darstellen.

Da die W-VO keine Vorgaben zur Holzernteintensität für Agroforstelemente macht, werden zur Berechnung von Sensitivitäten drei Quellen herangezogen (vgl. Tabelle 9):

- ▶ Im UBA-Projekt CARE wurden die genannten Annahmen zur Modellierung der Senkenleistung von Agroforstelementen angewandt.
- ▶ Im Szenario CARETech stehen technische Minderungsoptionen durch Holznutzung im Vordergrund (Harthan et al. 2025a). Es wird eine hohe Holzernteintensität von 100 % angenommen, entsprechend einer CO₂-Einbindung von 3,67 t CO₂-Äq. pro Hektar und Jahr.

- Im Szenario CARETarget (Harthan et al. 2025b) wird die Holzernteintensität auf 10 % begrenzt, um eine hohe Senkenleistung von -14,67 t CO₂-Äq. pro Hektar und Jahr zu erzielen und so einen Beitrag zur Erreichung der LULUCF-Ziele nach Bundes-Klimaschutzgesetz zu leisten.
- Herold et al. (2025) nennen eine durchschnittliche Senkenleistung von -10,0 t CO₂-Äq. pro Hektar und Jahr. Dies entspricht bei den oben getroffenen Annahmen einer Holzernteintensität von 42,4 %. (Tabelle 9).

Tabelle 9: Annahmen zur Treibhausgasminderungen je Flächeneinheit durch die Anlage von Agroforstsystemen

Parameter	Einheit	CARETarget_10%	WBNK_42%	CARETech_100%
Holzernteintensität	%	10,0 %	42,4 %	100,0 %
THG-Bilanz	t CO ₂ -Äq. (ha*Jahr)	-13,57	-10,00	-3,67

WBNK = Angaben des Wissenschaftlichen Beirats Natürlicher Klimaschutz, CARETech / CARETarget = Szenarien im UBA-Projekt CARE.

Quelle: Eigene Berechnungen in FABio-Land, Öko-Institut

5.3 Sensitivitäten zu Annahmen und Treibhausgasminderungspotenzial

5.3.1 Annahmen und Treibhausgasminderung im MMS und MWMS

Im Projektionsbericht 2025 der Bundesregierung (Förster et al. 2025) wird im MMS keine Anlage von Agroforst abgebildet. Im MWMS wird auf Grundlage des geplanten Budgets im Rahmen der *Gemeinschaftsaufgabe Agrarstruktur und Küstenschutz (GAK)* angenommen, dass bis zum Jahr 2030 insgesamt 5.831 ha und bis zum Jahr 2040 11.980 ha an neuen Gehölzen auf mineralischen Ackerböden angelegt werden (Tabelle 11). Mit dieser Maßnahme werden im MWMS nur geringe THG-Minderungen erreicht (Tabelle 10).

Tabelle 10: Projizierte, direkte Nettominderungen an Treibhausgasemissionen pro Jahr für Heckenpflanzung/Agroforst im MWMS

Szenario	Einheit	2025	2030	2035	2040	2045	2050
MWMS	Mio. t CO ₂ -Äq.	0,0	-0,2	-0,4	0,0	0,1	0,0

Quelle: Förster et al. (2025)

5.3.2 Annahmen und Treibhausgasminderung in W-VO-Sensitivitäten

Da die Angaben zur Anlage von Agroforstelementen in der W-VO keine direkten Rückschlüsse auf eine Flächenkulisse zulassen, werden für die Sensitivitätsanalysen Flächenannahmen aus veröffentlichten Quellen herangezogen (Tabelle 11). Im MWMS wird die in Abschnitt 5.3.1 genannte Flächenentwicklung herangezogen, während im MMS keine Neuanlage von Agroforst vorgesehen ist.

Der Wissenschaftliche Beirat Natürlicher Klimaschutz (WBNK) nennt eine Beispielrechnung, nach der bis zum Jahr 2050 insgesamt 0,25 Mio. ha Agroforstelemente angelegt werden (Herold et al. 2025). Im Szenario CARETech liegt dieser Wert bei 0,48 Mio. ha, im Szenario CARETarget sogar bei 1,23 Mio. ha. (Tabelle 11).

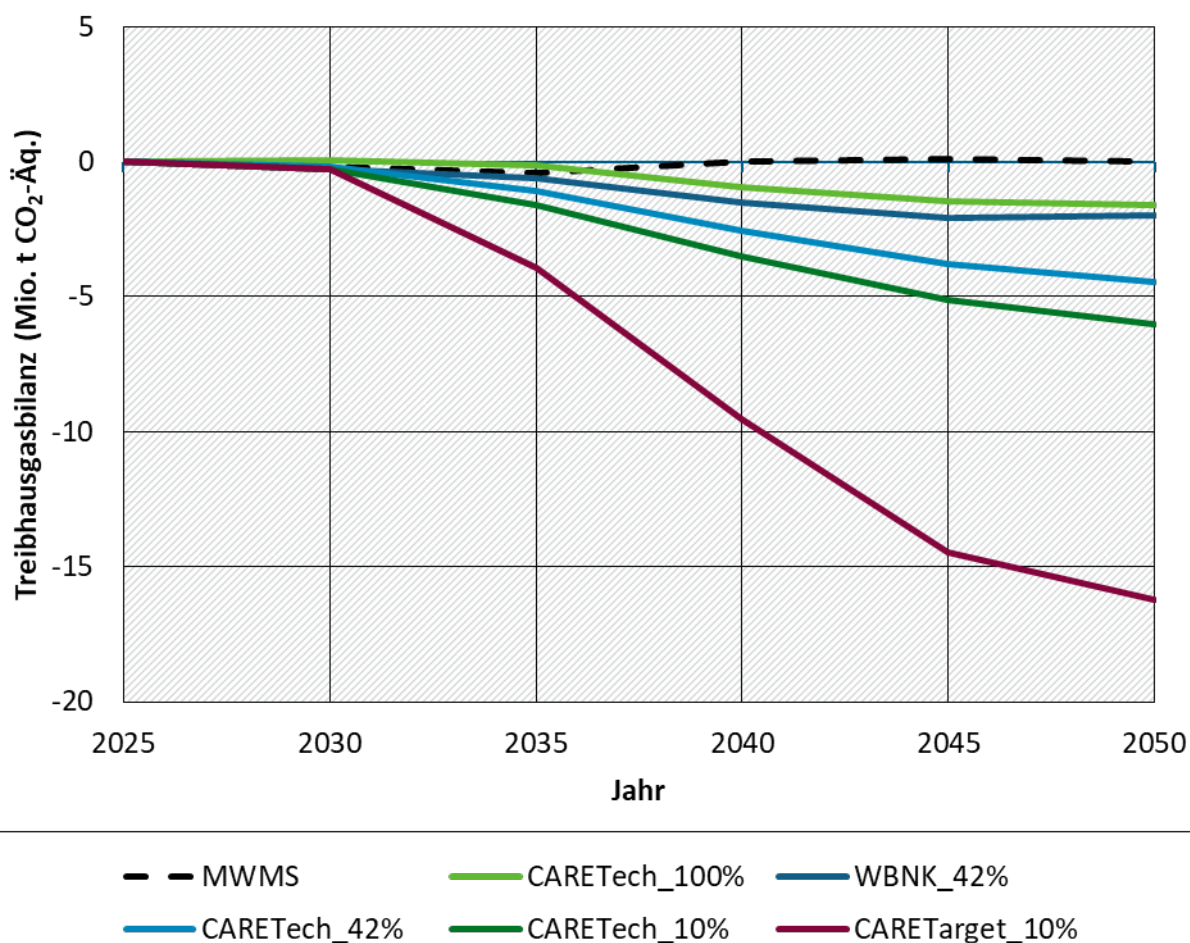
Tabelle 11: Annahmen zur Flächenkulisse in Sensitivitäten zur Anlage von Agroforstflächen

Maßnahme	Einheit	2025	2030	2035	2040	2045	2050
MMS bzw. OMS	Mio. ha	0	0	0	0	0	0
MWMS	Mio. ha	0	0,0058	0,0074	0,0089	0,0104	0,0120
WBNK	Mio. ha	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
CARETech	Mio. ha	0	0,04	0,15	0,26	0,37	0,48
CARETarget	Mio. ha	0	0,04	0,32	0,70	1,06	1,23

OMS = Ohne-Maßnahmen-Szenario (kein Agroforst angelegt), MWMS = Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario, WBNK = Angaben des Wissenschaftlichen Beirats Natürlicher Klimaschutz, CARETech / CARETarget = Szenarien im UBA-Projekt CARE. Quelle: Förster et al. (2025), Herold et al. (2025), Harthan et al. (2025a) und Harthan et al. (2025b).

Die THG-Minderungen, die in den W-VO-Sensitivitäten gegenüber dem MWMS erreicht werden, hängen – wie zu erwarten – stark von der angenommenen Flächenkulisse und der Holzentnahmeintensität ab (siehe Abbildung 4 und Tabelle 12):

- ▶ Die Sensitivität WBNK_42% mit einer moderaten Anlage von Agroforstflächen von 250.000 ha bis 2050 und einer mittleren Holzentnahmeintensität von 42 % erreicht im Jahr 2045 eine THG-Minderung von 2,0 Mio. t CO₂-Äq. bzw. gegenüber dem MWMS von 2,1 Mio. t CO₂-Äq.
- ▶ In der Sensitivität CARETarget_100% liegt eine höhere Flächenkulisse vor als in WBNK_42%, die THG-Minderung ist durch die hohe Holzentnahmeintensität aber niedriger.
- ▶ Mit geringerer Holzentnahmeintensität bei gleichbleibender Flächenkulisse steigt die THG-Minderung in den Sensitivitäten CARETech_42% und CARETech_10% an.
- ▶ Im Szenario CARETarget_10% wird durch die hohe Flächenkulisse und die niedrige Holzentnahmeintensität im Jahr 2045 eine THG-Minderung von 14,5 Mio. t CO₂-Äq. bzw. von 14,6 Mio. t CO₂-Äq. gegenüber dem MWMS erreicht (Abbildung 4).

Abbildung 4: Treibhausgasminderung in MWMS und W-VO-Sensitivitäten zur Anlage von Agroforstflächen gegenüber OMS

Dargestellt ist die THG-Minderung gegenüber dem MWMS. Die Benennung der Sensitivitäten bezieht sich auf die Flächenkulisse für MWMS, WBNK, CARETech und CARETarget in Tabelle 11 und die Höhe der Holznutzungsintensität (10 %, 42 % und 100 %). MMS weist keine Anlage von Agroforst aus und ist daher nicht abgebildet.

Quelle: Daten zu MWMS aus Förster et al. (2025), eigene Berechnungen und Darstellung, Öko-Institut

Tabelle 12: Treibhausgasminderung in W-VO-Sensitivitäten zur Anlage von Agroforst gegenüber dem OMS

Szenario bzw. Sensitivität	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	Mio. t CO ₂ -Äq.					
MMS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MWMS	0,00	-0,20	-0,40	0,00	0,10	0,00
CARETech_100%	0,00	0,07	-0,14	-0,95	-1,45	-1,63
WBNK_42%	0,00	-0,30	-0,60	-1,50	-2,10	-2,00
CARETech_42%	0,00	-0,16	-1,07	-2,58	-3,79	-4,44
CARETech_10%	0,00	-0,29	-1,59	-3,50	-5,10	-6,02
CARETarget_10%	0,00	-0,29	-3,92	-9,55	-14,48	-16,20

Quelle: Daten zu MMS und MWMS aus Förster et al. (2025), eigene Berechnung und Darstellung, Öko-Institut

6 Anlage von Grünflächen in städtischen Ökosystemen

6.1 Hintergrund

Die W-VO fordert für städtische Grünflächen in Siedlungen, dass bis 2030 kein Nettoverlust an Grünfläche und Baumüberschirmung auf nationaler Ebene zulässig ist. Anschließend sollen diese Flächen quantitativ erweitert und ein „zufriedenstellendes Niveau“ erreicht werden. Dabei ist ausdrücklich auch die Integration von Grünflächen an Gebäuden und Infrastruktur – etwa durch Dach- und Fassadenbegrünung – vorgesehen. Ziel ist es, die biologische Vielfalt und die Ökosystemleistungen in urbanen Räumen zu erhalten und zu fördern.

Die Verordnung umfasst nicht nur klassische Park- und Freiflächen, sondern auch urbane Grünflächen wie Gärten, Straßenbäume und begrünte Dächer. Die Maßnahmen dienen neben der Förderung der Biodiversität auch der Verbesserung des Stadtklimas, beispielsweise durch Kühlungseffekte. Zudem können einige der Maßnahmen auch zur Kohlenstoffbindung beitragen. Bis 2050 sollen mindestens 90 % der städtischen Ökosystemflächen, die sich in einem schlechten Zustand befinden, durch Wiederherstellungsmaßnahmen verbessert werden. Gleichzeitig gilt ein Verschlechterungsverbot für bereits wiederhergestellte Flächen.

Die W-VO schreibt keine spezifischen Detailmaßnahmen zur Umsetzung der genannten Ziele vor. Potenziell geeignete Ansätze sind:

- ▶ Erhalt und Ausweitung städtischer Grünflächen und Baumüberschirmungen durch Neuanlage und Aufwertung bestehender Parks, Friedhöfe, Grünzüge, Straßenbäume und Freiflächen.
- ▶ Integration von Grünflächen in Gebäude und Infrastruktur, z. B. durch Dach- und Fassadenbegrünung sowie grüne Innenhöfe oder Plätze.
- ▶ Förderung naturnaher Grünflächenpflege, etwa durch Liegenlassen von Totholz, extensive Mahd und die Anlage von Blühflächen, zur Stärkung von Biodiversität und ökologischen Funktionen.
- ▶ Anlage neuer Grünflächen und Biotope zur Verbesserung der Vernetzungsachsen innerhalb städtischer Gebiete, um Fauna und Flora zu unterstützen.
- ▶ Renaturierung von Fließgewässern im urbanen Raum, einschließlich des Rückbaus künstlicher Uferbefestigungen, um natürliche Auen- und Feuchtgebietsstrukturen wiederherzustellen.

Die Umsetzung erforderlicher Maßnahmen liegt in der Verantwortung der kommunalen Grünflächenplanung und sollte durch Förderprogramme sowie koordinierte stadtoökologische Strategien unterstützt werden.

Städtische Grünflächen und Baumüberschirmungen tragen sowohl direkt als auch indirekt zur Treibhausgasminderung bei. Bäume in Städten binden jährlich etwa 10–25 kg CO₂ pro Baum. Bei einer Ausweitung der Baumüberschirmung auf 10–15 % der Stadtfläche – entsprechend dem W-VO-Ziel bis 2050 – könnten EU-weit mehrere Millionen Tonnen CO₂-Äq. gebunden werden. Grünflächen senken zudem den Energieverbrauch für Klimaanlagen durch Schatteneffekte um bis zu 30 %, was indirekt THG-Emissionen reduziert. Dachbegrünungen allein können pro Hektar jährlich etwa 1–5 t CO₂-Äq. einsparen (Herfort et al. 2012).

6.2 Treibhausgasminderung je Flächeneinheit

Bei der Neuanlage von Siedlungsflächen auf Acker- und Grünland nimmt die lebende Biomasse in den ersten 20 Jahren deutlich zu. Im Mittel der Jahre 2014–2023 betrug diese Zunahme auf neu ausgewiesenen Siedlungsflächen auf ehemaligem Ackerland bzw. Grünland 6,23 bzw. 6,42 t CO₂-Äq. pro Hektar und Jahr. Der Mittelwert liegt damit bei 6,32 t CO₂-Äq. pro Hektar und Jahr (CRF-Tabellen, UBA (2025)). Für bestehende Siedlungsflächen (ab dem Jahr 21 nach Anlage) wird im Nationalen Treibhausgasinventar hingegen angenommen, dass der Kohlenstoffgehalt der lebenden Biomasse konstant bleibt und somit keine weitere Netto-CO₂-Einbindung erfolgt.

Mit dem steigenden Trend zur Ausweitung städtischer Grünflächen ist jedoch zu erwarten, dass der Anteil an lebender Biomasse – insbesondere durch Gehölzelemente – auch auf bestehenden Siedlungsflächen zunimmt. Da die Angaben in der W-VO keine konkrete Abschätzung einer Flächenkulisse für zusätzliche städtische Grünflächen oder neue Gehölze zulassen, wird für die Parametrisierung der Sensitivitäten angenommen, dass ein bestimmter Anteil der CO₂-Einbindung, wie sie bei der Neuanlage von Siedlungsflächen beobachtet wird, durch diese Anforderungen erreicht werden kann. Dieser Anteil wird bis zum Jahr 2050 mit 1 %, 5 % und 10 % angenommen.

Tabelle 13: Annahmen zur Treibhausgasminderung je Flächeneinheit durch Anlage von städtischen Grünflächen

Parameter	Einheit	SI_1%Bio_2050	SI_5%Bio_2050	SI_10%Bio_2050
Zunahme der lebenden Biomasse im Vergleich zur Neuanlage von Siedlungen	%	1,0	5,0	10,0
THG-Bilanz	t CO ₂ -Äq. (ha*Jahr)	0,0633	0,316	0,6329

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der CRF-Tabellen zu UBA (2025), Öko Institut

6.3 Sensitivitäten zu Annahmen und Treibhausgasminderungspotenzial

6.3.1 Annahmen und Treibhausgasminderung im MMS und MWMS

Im Projektionsbericht 2025 der Bundesregierung wird für Siedlungs- und Verkehrsflächen angenommen, dass der Flächenverbrauch im MMS bis zum Jahr 2030 auf netto 40 ha pro Tag abnimmt. Im MWMS wird eine Abnahme auf unter 30 ha pro Tag angenommen. Bis 2050 soll der Flächenverbrauch in MMS und MWMS auf netto-null zurückgehen (Förster et al. 2025). Diese Annahmen führen dazu, dass im MWMS für Siedlungs- und Verkehrsflächen keine Treibhausgasminderung erreicht wird. Stattdessen steigen die Emissionen bis 2050 gegenüber dem Ohne-Maßnahmen-Szenario im MMS um 0,8 Mio. t CO₂-Äq. und im MWMS um weitere 0,1 Mio. t CO₂-Äq. an (vgl. Tabelle 14 und Abbildung 7). Dies liegt vor allem daran, dass auf neuen Siedlungsflächen mehr Gehölze aufwachsen als auf Acker- und Grünlandflächen und anteilig nur wenige Waldflächen mit hohen Kohlenstoffverlusten zu Siedlungen werden.

Tabelle 14: Projizierte direkte Netto-Minderungen an Treibhausgasemissionen pro Jahr für Siedlungs- und Verkehrsflächen im MMS und MWMS

Szenario	Einheit	2025	2030	2035	2040	2045	2050
MMS	Mio. t CO ₂ -Äq.	-0,2	0	0,1	0,4	0,6	0,8
MWMS, zusätzlich gegenüber MMS	Mio. t CO ₂ -Äq.	-0,1	0,0	0,3	0,3	0,2	0,1

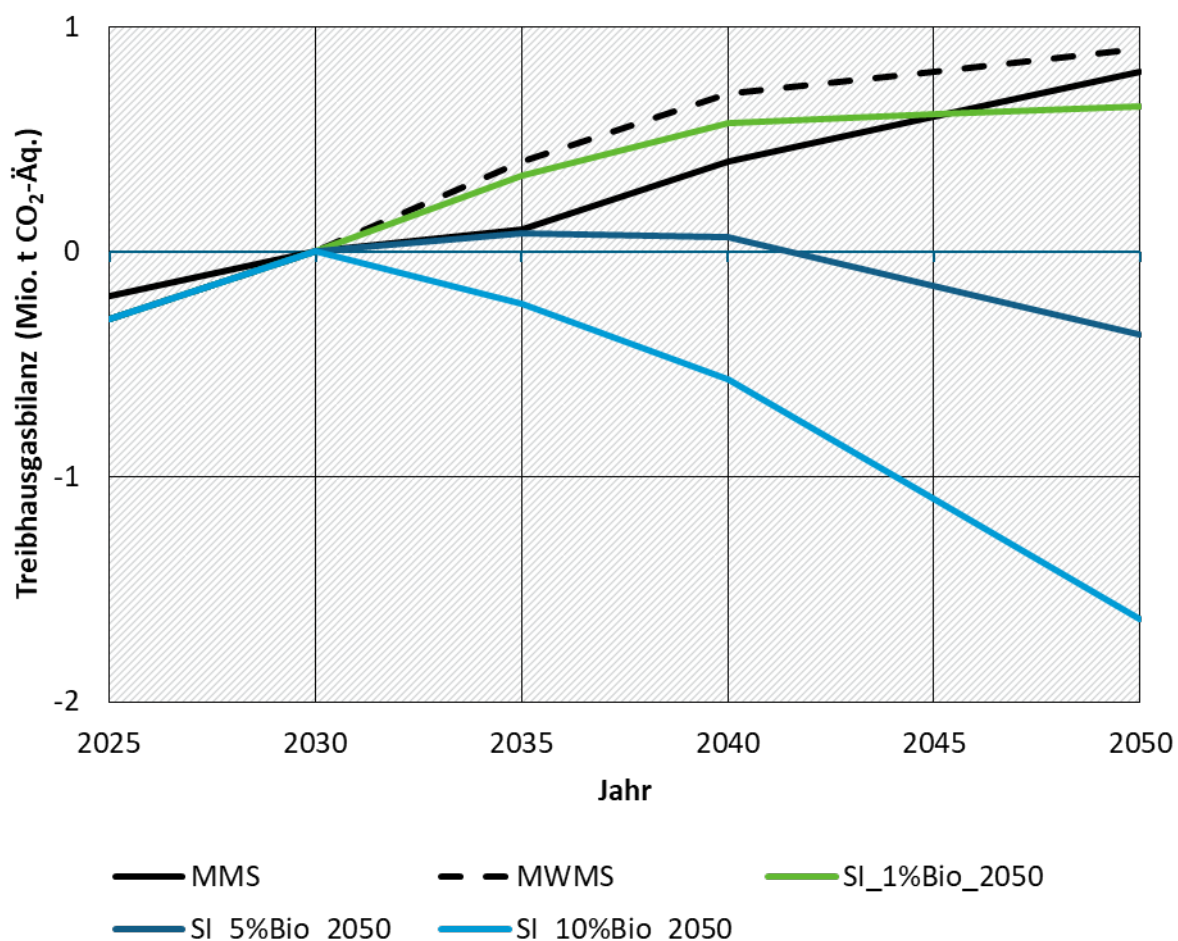
Quelle: Förster et al. (2025)

Die in Tabelle 14 dargestellte THG-Bilanz bezieht sich ausschließlich auf Effekte, die mit der reduzierten Neuanlage von Siedlungs- und Verkehrsflächen zusammenhängen. Für die bestehenden Flächen wird weiterhin eine Netto-Null-Bilanz angenommen. Da die folgenden Sensitivitäten Veränderungen in den alten Siedlungs- und Verkehrsflächen betrachten, wird diese Netto-Null-Bilanz als Vergleichsbasis zum MWMS herangezogen.

6.3.2 Annahmen und Treibhausgasminderung in W-VO-Sensitivitäten

Wird angenommen, dass durch die Anlage zusätzlicher städtischer Grünflächen auf bestehenden Siedlungs- und Verkehrsflächen eine Zunahme der lebenden Biomasse um 1 % im Vergleich zur Neuanlage von Siedlungsflächen erreicht wird, ergibt sich bis 2050 eine zusätzliche THG-Minderung von –0,25 Mio. t CO₂-Äq. gegenüber dem MWMS (Abbildung 7, Abbildung 6 und Tabelle 15).

Steigt die Biomasse hingegen auf 10 %, erhöht sich die THG-Minderung auf –2,53 Mio. t CO₂-Äq., also um den Faktor 20 gegenüber der 1 %-Sensitivität (Abbildung 7, Abbildung 6, und Tabelle 15). Die Sensitivitäten verdeutlichen, dass durch die Anlage von Gehölzstrukturen auf bestehenden Siedlungs- und Verkehrsflächen eine deutliche Senkenleistung möglich ist. Neben der direkten Kohlenstoffbindung entstehen zusätzliche Synergien für das Stadtklima: Bäume und Sträucher tragen durch Transpiration und Beschattung zur Kühlung bei und mindern so Wärmeinseleffekte in urbanen Gebieten.

Abbildung 5: Treibhausgasminderung in MMS, MWMS und W-VO-Sensitivitäten durch Anlage von städtischen Grünflächen gegenüber OMS

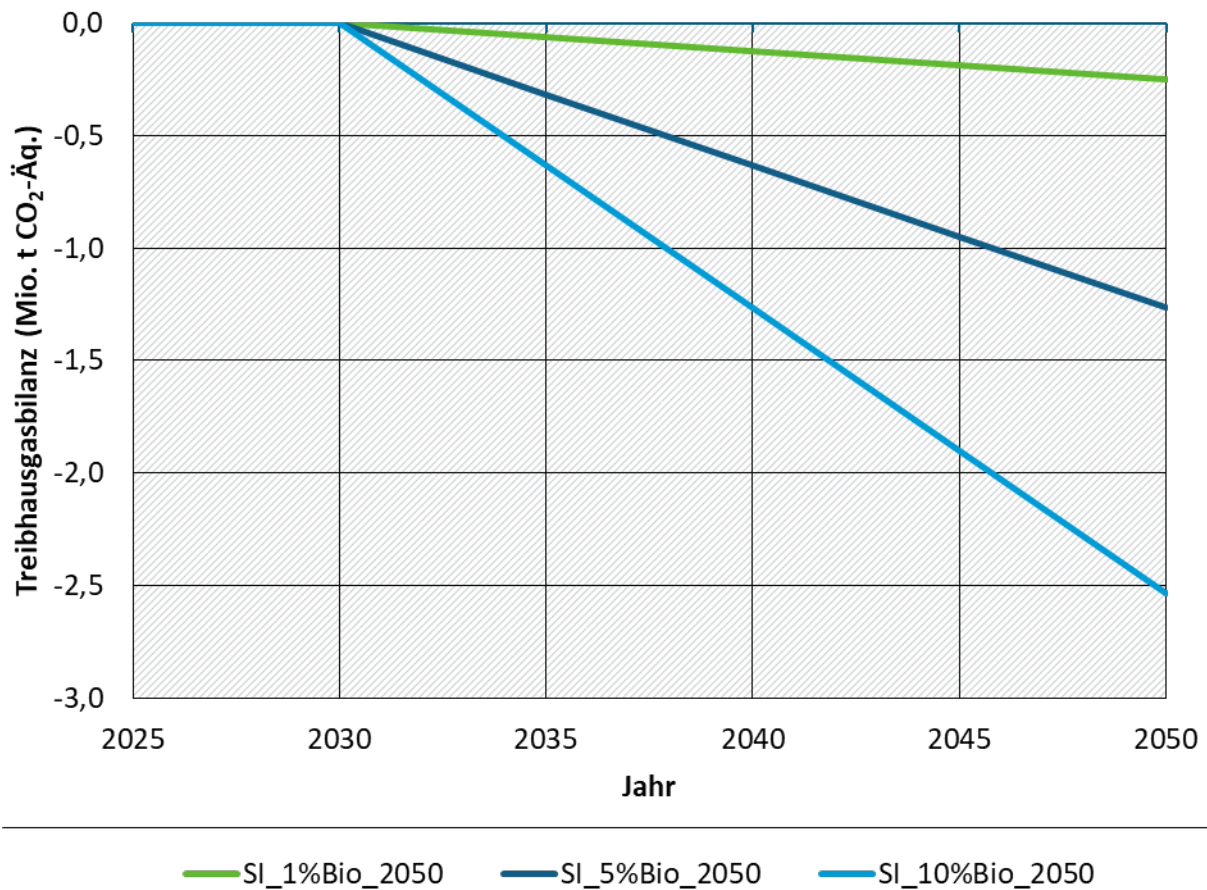
MMS = Mit-Maßnahmen-Szenario, MWMS = Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario, SI_x%Bio_2050 = Zunahme der lebenden Biomasse um x % bis zum Jahr 2050 im Vergleich zur Neuanlage von Siedlungen.

Quelle: Daten zu MMS und MWMS aus Förster et al. (2025), eigene Berechnungen und Darstellung, Öko Institut.

Tabelle 15: Treibhausgasminderung in MMS, MWMS und W-VO-Sensitivitäten durch Anlage von städtischen Grünflächen gegenüber OMS

Szenario bzw. Sensitivität	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Mio. t CO ₂ -Äq.						
MMS	-0,2	0	0,10	0,40	0,60	0,80
MWMS	-0,3	0	0,40	0,70	0,80	0,90
SI_1%Bio_2050	-0,3	0	0,34	0,57	0,61	0,65
SI_5%Bio_2050	-0,3	0	0,08	0,07	-0,15	-0,37
SI_10%Bio_2050	-0,3	0	-0,23	-0,57	-1,10	-1,63

Quelle: Daten zu MMS und MWMS aus Förster et al. (2025), eigene Berechnung und Darstellung, Öko Institut.

Abbildung 6: Treibhausgasminderung in W-VO-Sensitivitäten durch Anlage von städtischen Grünflächen

Für die Darstellung wird im MWMS für die alten Siedlungs- und Verkehrsflächen (SI) netto-null angenommen (siehe 6.3.1).
 SI_x%Bio_2050 = Zunahme der lebenden Biomasse um x % bis zum Jahr 2050 im Vergleich zur Neuanlage von Siedlungen.
 Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung, Öko-Institut

7 Pflanzung von drei Milliarden zusätzlichen Bäumen

7.1 Hintergrund

Die EU-Wiederherstellungsverordnung legt in Artikel 13 als Ziel die Pflanzung von drei Milliarden zusätzlichen Bäumen bis 2030 fest, ohne jedoch länderspezifische Beitragsquoten zur Zielerreichung zu definieren. Genannt werden Maßnahmen wie Aufforstung, Wiederaufforstung und Baumpflanzungen. Diese Waldmehrung muss unter uneingeschränkter Beachtung ökologischer Grundsätze erfolgen: Artenvielfalt und diverse Altersstrukturen sind sicherzustellen, heimische Baumarten zu bevorzugen, die ökologische Vernetzung zu verbessern und die Widerstandskraft gegenüber dem Klimawandel zu erhöhen (siehe W-VO Art. 13 und Box 1). Für die folgende Analyse wird angenommen, dass die Umsetzung dieses Artikels überwiegend durch Waldmehrung erfolgt, wenngleich auch Pflanzungen in städtischen Ökosystemen grundsätzlich möglich sind.

Die Wiederherstellung von Waldökosystemen durch Waldmehrung umfasst einerseits die **Aufforstung**, d. h. die Umwandlung langjährig nicht bewaldeter Flächen in Wald und damit die Neubegründung von Waldbeständen auf Flächen, auf denen seit mindestens 50 Jahren keine Wälder vorhanden waren (Definition nach UNFCCC). Andererseits wird teilweise auch die **Wiederaufforstung** einbezogen, d. h. die Wiederherstellung von Wald auf unlängst waldfrei gewordenen Flächen.

TextBox 1: Passagen der W-VO mit Bezug zur Waldmehrung

Artikel 13: Pflanzung von drei Milliarden zusätzlichen Bäumen

(1) Bei der Festlegung und Durchführung der Wiederherstellungsmaßnahmen zur Erfüllung der in den Artikeln 4 sowie 8 bis 12 genannten Ziele und Verpflichtungen zielen die Mitgliedstaaten darauf ab, einen Beitrag zur Erfüllung der Verpflichtung der Union zu leisten, bis 2030 mindestens drei Milliarden zusätzliche Bäume auf Unionsebene zu pflanzen.

(2) Die Mitgliedstaaten stellen sicher, dass ihr Beitrag zur Erfüllung der Verpflichtung gemäß Absatz 1 unter uneingeschränkter Achtung der ökologischen Grundsätze geleistet wird, auch indem sie die Artenvielfalt und eine diverse Altersstruktur sicherstellen, wobei heimische Baumarten Vorrang haben, mit Ausnahme — in ganz bestimmten Fällen und unter ganz bestimmten Bedingungen — nicht heimischer Arten, die an den lokalen Boden, den klimatischen und ökologischen Kontext und die Lebensraumbedingungen angepasst sind und eine Rolle bei der Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Klimawandel spielen. Die Maßnahmen zur Erfüllung dieser Verpflichtung zielen darauf ab, die ökologische Vernetzung zu verbessern, und stützen sich auf nachhaltige Aufforstung, Wiederaufforstung und Baumpflanzung sowie den Ausbau städtischer Grünflächen.

Vorteilhaft ist eine standortgerechte, klimaangepasste Baumartenwahl sowie eine nachhaltige Bewirtschaftung der neu geschaffenen oder wiederbegründeten Waldflächen, um CO₂-Sequestrierungsziele tatsächlich zu erreichen, sowie eine geeignete Flächenwahl, um eine Zerstörung ökologisch wertvoller Nicht-Wald-Ökosysteme wie artenreicher Dauergrünlandflächen zu vermeiden. Sachgerechte Waldmehrung trägt dazu bei, den Wald der Zukunft an die Auswirkungen des Klimawandels anzupassen, die Konnektivität der Landschaft zu verbessern und die Fragmentierung zu verringern, was die Migration von Arten erleichtert. Zudem kann Waldmehrung die Biodiversität fördern, regulative Mechanismen im hydrologischen Kreislauf stabilisieren und den Bodenerhalt unterstützen.

Die jährliche Kohlenstoffbindung im Rahmen der Waldmehrung hängt stark vom Alter und der Baumart ab. Junge Bäume nehmen anfangs durch ihr rasches Wachstum mehr Kohlenstoff pro Einheit Biomasse auf, während der Gesamtspeicher der Waldfläche mit zunehmendem Baum- und Waldbestand stetig wächst. Der in einem neubegründeten, klimastabilen Wald eingelagerte Kohlenstoff bleibt über lange Zeiträume in lebenden Bäumen, Totholz und Waldboden gebunden. Für die Biomasse in neu begründeten Wäldern der gemäßigten Breiten werden CO₂-Minderungspotenziale in der Größenordnung von 1-30 t CO₂ pro ha und Jahr angenommen (Paul et al. 2009).

7.2 Treibhausgasminderung je Flächeneinheit

Zur Abbildung der Treibhausgasminderung durch Waldmehrung wird angenommen, dass die Neuanlage von Wald auf ehemaligen Acker- und Grünlandflächen mit mineralischen Böden erfolgt. In den ersten 20 Jahren nach Neuanlage kann laut den Ergebnissen des Nationalen THG-Inventars eine deutliche Minderung erwartet werden. Bei Waldmehrung auf Ackerflächen beträgt sie durchschnittlich -16,4 t CO₂-Äq. pro Hektar und Jahr, auf Grünlandflächen -10,4 t CO₂-Äq. pro Hektar und Jahr (Mittelwert der Jahre 2014 bis 2023, CRF-Tabellen zu UBA 2025).

Ab dem 21. Jahr nach Anlage einer Waldfläche wird angenommen, dass die THG-Bilanz der lebenden Bäume entsprechend der gewählten Sensitivität zum Waldmanagement verläuft (vgl. Abschnitt 8.2). Für die Entwicklung des Waldbodenkohlenstoffs wird die Bodenkohlenstoffmodellierung aus dem Projektionsbericht der Bundesregierung übernommen (Förster et al. 2025). Die THG-Bilanz für Totholz und Streu wird als Mittelwert der Jahre 2014–2023 fortgeschrieben (UBA 2025). Im Jahr 2025 betrug die THG-Minderung für alte Waldflächen – als Summe aus Wald-Bodenkohlenstoff, Totholz und Streu – -0,78 t CO₂ pro Hektar und Jahr; bis 2050 sinkt dieser Wert auf -0,52 t CO₂ pro Hektar und Jahr.

Tabelle 16: Annahmen zur Treibhausgasminderung je Flächeneinheit durch Waldmehrung

Parameter	Einheit	AL_zu_Wald	GL_zu_Wald
THG-Bilanz Jahr 1 bis 20	t CO ₂ -Äq. (ha*Jahr)	-16,37	-10,44
THG-Bilanz ab Jahr 21	t CO ₂ -Äq. (ha*Jahr)	-2025: 1,77; 2050: - 1,48*	

AL = Ackerland, GL = Grünland. Dargestellt ist der Mittelwert der Jahre 2014 bis 2023. *Zur Berechnung wird an dieser Stelle die THG-Minderung der Waldmanagement-Sensitivität „W-VO_LB5_03-22RS“ angenommen (siehe Abschnitt 8.2).
Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der CRF-Tabellen zu UBA (2025).

7.3 Sensitivitäten zu Annahmen und Treibhausgasminderungspotenzial

7.3.1 Annahmen und Treibhausgasminderung im MMS und MWMS

Im MMS und MWMS wird keine zusätzliche Treibhausgasminderung gegenüber dem Ohne-Maßnahmen-Szenario durch Waldmehrung erwartet, da die erforderlichen rechtlichen Anpassungen der Rahmenbedingungen sowie die Auflage eines Förderprogramms bislang ausstehen.

7.3.2 Annahmen und Treibhausgasminderung in W-VO-Sensitivitäten

Das Ziel der EU-Wiederherstellungsverordnung, bis 2030 mindestens drei Milliarden neue Bäume zu pflanzen, wird für Deutschland wie folgt angewandt:

- **Verteilung der Pflanzungen:** Jeder Mitgliedstaat erhält einen Anteil entsprechend seiner Waldfläche. Deutschland stellt 7,2 % der europäischen Waldfläche, woraus sich ein Ziel von rund 216 Mio. Bäumen ergibt.
- **Pflanzdichte:** Je nach Baumart liegt die Pflanzdichte zwischen 2.000 und 10.000 Bäumen pro Hektar. Eine Pflanzdichte von 2.000 Bäumen pro ha entspricht einer Fläche 108.000 ha, eine Pflanzdichte von 5.000 Bäumen pro ha 43.200 ha und eine Pflanzdichte von 10.000 Bäumen pro ha 21.600 ha.
- **Politische Zielsetzungen:** In der Nationalen Strategie zur Biologischen Vielfalt (BMUV 2024) wird eine Waldmehrung von 10.000 ha bis 2030 genannt. Im Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz (BMUV 2023; BMUKN 2025) ist vorgesehen, von 2023 bis 2030 jährlich 10.000 ha Wald neu anzulegen, entsprechend insgesamt 80.000 ha bis 2030.

Da diese Abschätzungen zur Waldmehrung in der Größenordnung der genannten politischen Zielsetzungen liegen, werden drei Sensitivitäten betrachtet (vgl. Tabelle 17):

- **BiodivStrat_10Tha-2030:** Waldmehrung von 10.000 ha bis 2030 (vgl. BMUV (2024)). Danach erfolgt keine weitere Waldmehrung.
- **ANK_80Tha-2030:** Waldmehrung von 80.000 ha bis 2030 (vgl. BMUV (2023) und BMUKN (2025)), danach keine weitere Waldmehrung.
- **ANK_80Tha-2030_280Tha-2050:** Waldmehrung von 80.000 ha bis 2030; anschließend jährlich weitere 10.000 ha bis 2050 (Erweiterung von BMUV (2023) und (BMUKN 2025)).

Tabelle 17: Annahmen zur Flächenkulisse in Sensitivitäten zur Waldmehrung

Maßnahme	Einheit	2025	2030	2035	2040	2045	2050
BiodivStrat_10Tha-2030	Mio. ha	0	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
ANK_80Tha-2030	Mio. ha	0	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000
ANK_80Tha-2030_280Tha-2050	Mio. ha	0	80.000	130.000	180.000	230.000	280.000

BiodivStrat = Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt; ANK = Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz; 10Tha-2030 = 10.000 ha im Jahr 2030.

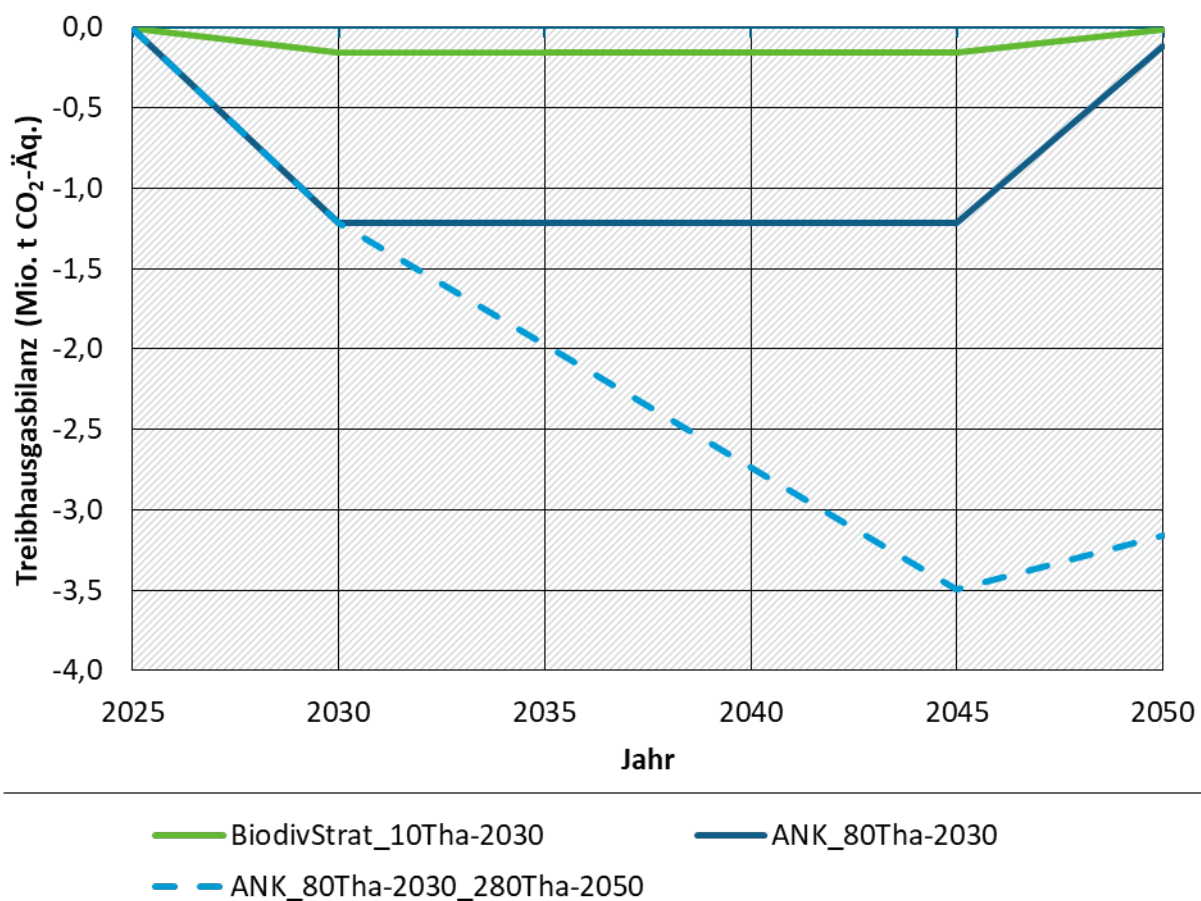
Quelle: Angelehnt an BMUV (2023), BMUV (2024) und BMUKN (2025)

Die Annahmen zur Flächenkulisse führen zu deutlichen Unterschieden in der erzielten THG-Minderung (Abbildung 7):

- **BiodivStrat_10Tha-2030:** Aufgrund der geringen Waldmehrungsfläche wird lediglich eine jährliche THG-Minderung von –0,15 Mio. t CO₂-Äq. erreicht.
- **ANK_80Tha-2030:** Mit der größeren Flächenkulisse steigt die Minderung deutlich auf –1,21 Mio. t CO₂-Äq. pro Jahr.
- **ANK_80Tha-2030_280Tha-2050:** Bei kontinuierlicher Fortsetzung der Waldmehrung steigt die THG-Minderung bis 2045 auf –3,49 Mio. t CO₂-Äq.

Nach 2045 sinkt die THG-Minderung in allen Sensitivitäten, da Flächen nach 20 Jahren als „alte Waldflächen“ geringere Mengen an Kohlenstoff binden als zuvor als „neue Waldflächen“ (Abbildung 7).

Abbildung 7: Treibhausgasminderung der Waldflächen in W-VO-Sensitivitäten durch Waldmehrung gegenüber OMS



BiodivStrat = Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt; ANK = Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz; 10Tha-2030 = 10.000 ha im Jahr 2030. Als Waldmanagement-Szenario wurde das Szenario „W-VO_LB5_03-22RS“ gewählt (vgl. Abschnitt 8.3.2). Da im MWMS keine Waldmehrung bilanziert wird, wird der Vergleichswert zum MWMS gleich null gesetzt.

Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung, Öko-Institut

8 Wiederherstellung von Waldökosystemen durch Waldmanagement

8.1 Hintergrund

Die W-VO verpflichtet die Mitgliedstaaten, Maßnahmen zu ergreifen, die den Zustand bestehender Waldökosysteme verbessern und deren biologische Vielfalt langfristig sichern. Dabei werden insbesondere Lebensraumtypen und Indikatoren des Waldes adressiert, wie etwa die Erhöhung des Totholzanteils, die Förderung natürlicher Waldentwicklung sowie die positive Entwicklung von Artengruppen, beispielsweise Waldvögeln.

Die W-VO fordert ein klimaangepasstes Waldmanagement, das nicht nur die Kohlenstoffbindung im Bestand und im Boden steigert, sondern auch die Biodiversität und die Resilienz gegenüber Klimarisiken verbessert. Zu den Maßnahmen zählen unter anderem der Rückbau von Entwässerungsanlagen sowie die Förderung innovativer und gemeinschaftlicher Waldbewirtschaftung einschließlich nachhaltiger Holznutzung.

Die Verordnung schreibt keine konkrete Ausgestaltung von Maßnahmen vor, sondern setzt quantifizierbare Flächenziele: Bis 2030 sollen mindestens 30 % der geschädigten Waldflächen Maßnahmen zur Wiederherstellung erhalten, bis 2040 mindestens 60 % und bis 2050 mindestens 90 %.

Im nationalen Kontext können bestehende Programme wie das „Klimaangepasste Waldmanagement PLUS“ sowie Fördermaßnahmen der Gemeinschaftsaufgabe Agrarstruktur und Küstenschutz (GAK) als relevante Instrumente für die Umsetzung dienen. Eine enge Zusammenarbeit zwischen Bund, Ländern und weiteren Akteuren ist dabei essenziell.

Das Ziel der W-VO ist es, Klima- und Biodiversitätsschutz im Wald durch gezieltes Management und langfristige Wiederherstellung zu verbinden, ohne jedoch Detailvorgaben für die forstliche Praxis zu machen.

Im Folgenden werden zwei konkrete Vorschläge zur Umsetzung der W-VO im Waldmanagement betrachtet:

1. Waldumbau durch Förderung von Laubmischbeständen zur Schaffung klimaresilienter Bestände und zur Reduktion fehlbestockter Nadelholzflächen.
2. Etablierung von Prozessschutzflächen durch sukzessive Nutzungsaufgabe in alten, durchmesserstarken Laubbeständen.

Der Fokus liegt dabei auf der Bewertung der Auswirkungen dieser Maßnahmen auf die Treibhausgasbilanz der Waldökosysteme, um das Potenzial für eine Verbesserung der Klimawirksamkeit zu quantifizieren.

8.2 Treibhausgasminderung je Flächeneinheit

Zur Bewertung der Auswirkungen von Veränderungen im Waldmanagement wird in dieser Studie das Waldmodell FABio-Forest eingesetzt (siehe Abschnitt 8.3.2). Die Modellierung erfolgt auf der gesamten Waldfläche Deutschlands, sodass sich die Ergebnisse stets auf die Gesamtfläche beziehen. Zwar wirken sich veränderte Managementmaßnahmen auf einzelne Flächen aus (z. B. durch Nutzungsaufgabe), jedoch werden Aspekte wie die Deckung der Holznachfrage im Modell über alle Waldflächen hinweg ausgeglichen. Wird beispielsweise auf einem Teil der Flächen der Vorrat durch Nutzungsaufgabe erhöht, kann dies dazu führen, dass auf anderen Flächen der Vorrat durch eine Verlagerung der Holzentnahme auf diese Flächen

sinkt. Eine flächenspezifische Ergebnisdarstellung würde daher ein unvollständiges und verzerrtes Bild liefern. Aus diesem Grund werden für die Bewertung der Veränderungen im Waldmanagement keine Treibhausgasminderungen je Flächeneinheit ausgewiesen.

Die Analysen in FABio-Forest legen einen Fokus auf die lebende Biomasse. Aussagen zur Entwicklung des Totholzpools erfolgen als Exkurs in Abschnitt 8.3.4.

8.3 Sensitivitäten zu Annahmen und Treibhausgasminderungspotenzial

8.3.1 Annahmen und Treibhausgasminderung im MMS und MWMS

Die Fortschreibung der möglichen Waldentwicklung erfolgt im Projektionsbericht 2025 der Bundesregierung (Förster et al. 2025) auf Basis unterschiedlicher historischer Zeiträume durch drei berücksichtigte Ohne-Maßnahmen-Szenarien (OMS1222, OMS1217 und OMS1722; siehe Thünen-Matrix-Modell in Rock et al. (2025) und Abschnitt 8.3.3). Darauf aufbauend werden im MMS spezifische Maßnahmen zum Waldmanagement bilanziert. Im MWMS werden keine weiteren Maßnahmen zum Waldmanagement angenommen.

Tabelle 18: Projizierte, direkte Netto-Minderungen an Treibhausgasemissionen pro Jahr durch Maßnahmen zum Waldmanagement von MMS/MWMS

Maßnahme	Einheit	2025	2030	2035	2040	2045	2050
MMS/MWMS	Mio. t CO ₂ -Äq.	-0,4	-0,5	-0,6	-0,6	-0,1	-0,1

Quelle: Förster et al. (2025)

Für Vergleiche zwischen FABio-Forest und dem Thünen-Matrix-Modell werden aus methodischen Gründen die Ergebnisse des Szenarios OMS1222 herangezogen (Abschnitt 8.3.3).

8.3.2 Waldmodell FABio-Forest

Das empirische Waldmodell FABio-Forest bildet auf Grundlage der Daten der Bundeswaldinventuren von 2002 bis 2022 das Wachstum und die Dynamik der Wälder in Deutschland ab. Für die vorliegende Analyse wurde das Modell mit Bestandsdaten der vierten Bundeswaldinventur (BWI4, 2022) initialisiert. Die Modellierung wurde an 44.283 Erhebungspunkten der BWI4 durchgeführt und die Ergebnisse auf die Gesamtwaldfläche Deutschlands hochskaliert. Die Grundparametrisierung von FABio-Forest basiert auf den Inventuren von 2002 (BWI2) und 2012 (BWI3), während Vorrats- und Zuwachsdaten aus BWI3, der Kohlenstoffzwischeninventur 2017 sowie BWI4 zur Modellkalibrierung herangezogen wurden.

FABio-Forest ist ein distanzunabhängiges Einzelbaumwachstumsmodell, das 24 Artengruppen differenziert. Baummerkmale wie Art, Alter, Durchmesser und Höhe werden für die Simulation von Wachstum, Entwicklung und Mortalität auf Bestandsebene berücksichtigt. Die Modellierung erfolgt trakteckenspezifisch mit jährlicher Auflösung und integriert Teilmodelle für Zuwachs, Mortalität, Holznachfrage, Einwuchs, Totholz und Bodenkohlenstoff. Zusätzlich werden Konkurrenzmechanismen zwischen Baumindividuen sowie boden- und klimaspezifische Standortfaktoren einbezogen. Die Holzentnahme durch Ernte richtet sich nach der Nachfrage nach Stamm- und Industrieholz. Eine differenzierte Steuerung der Waldbewirtschaftung kann bestandstypenspezifisch vorgegeben werden.

Für eine klimasensitive Implementierung der Zuwachsmmodellierung wurden die Zuwachsfunktionen unter Einbezug standortspezifischer nicht-klimatischer Faktoren (Diversität, nutzbare Feldkapazität) neu parametrisiert und um einen Klimaterm erweitert, der

im Rahmen des Waldklimafondsprojekts DIFENS (Pfeiffer et al. 2025) mittels des prozessbasierten Vegetationsmodells 4C abgeleitet wurde. Dadurch ermöglicht das Modell die Simulation jährlicher Zuwächse als Funktion von Temperatur, Licht- und Wasserverfügbarkeit an den modellierten Erhebungspunkten.

Die artspezifischen Mortalitätsfunktionen wurden als Basisfunktion für die Referenzperiode 2002-2012 basierend auf den Daten der BWI2 und BWI3 parametrisiert. Sie bilden somit die mittlere Mortalität dieser Periode ab. Um einen vorläufigen Anschluss an die klimasensitive Neugestaltung der Zuwachsfunktionen zu erreichen, wurden die jährlich aufgelösten Daten der Waldzustandserhebung (WZE) genutzt. Hierzu werden die jahresspezifischen Mortalitätsraten aus der WZE durch Quotientenbildung zum Mittel der jahresspezifischen Mortalität der Referenzperiode 2002-2012 in Bezug gesetzt. Daraus ergibt sich ein artspezifischer jährlicher Skalierungsfaktor, der auf die Mortalität aus der Basisfunktion angewendet wird, um die klimabedingte zeitliche Variabilität der Mortalität zu berücksichtigen. Da die Daten aus der WZE nur im deutschlandweiten Mittel verfügbar sind, repräsentiert auch der Skalierungsfaktor ein deutschlandweites Mittel, so dass mit diesem Ansatz derzeit zwar eine zeitliche, jedoch keine räumliche Variabilität abgebildet werden kann.

Zur Fortschreibung zukünftiger Klimabedingungen wurden zyklische Klimazeitreihen aus zwei historischen Referenzperioden verwendet. Diese unterscheiden sich hinsichtlich der Häufigkeit und Intensität von Extremjahren; so enthält die Periode 2013–2022 relativ mehr Extremjahre als die Periode 2003–2022. Als Default wurde die Klimareferenzperiode 2003-2022 angesetzt, und als Sensitivität ein weiteres Szenario mit Fortschreibung der Klimareferenzperiode 2013-2022 simuliert. Um eine wiederholte räumlich identische Verteilung von Extremereignissen zu vermeiden, wurden die klimatologischen Anomalien bezogen auf das Mittel der Periode 2003–2012 zufällig neu räumlich verteilt. Für die Mortalitätsmodellierung wurden den Baumartengruppen für jedes gewählte Jahr die dem Klimajahr entsprechenden Skalierungsfaktoren zugewiesen.

8.3.3 Annahmen und Treibhausgasminderung in W-VO-Sensitivitäten

Die historische Entwicklung der Waldbestände in Deutschland zeigt, dass schwer vorhersehbare natürliche Störungen – wie Windwurf, Trockenheit, Käferkalamitäten oder Kombinationen dieser Ereignisse – zu starken Schwankungen der THG-Bilanz der lebenden Biomasse (d. h. der lebenden Bäume) führen können (vgl. Abbildung 8). Entsprechend bestehen hohe Unsicherheiten bei der Fortschreibung der Waldentwicklung, da das Auftreten solcher Störungen nicht prognostizierbar ist. Auswirkungen und Unsicherheiten können jedoch über Sensitivitäten, insbesondere zu Klimaannahmen, abgeschätzt werden (z. B. Pfeiffer et al. 2025). Ein weiterer Unsicherheitsfaktor liegt in den unterschiedlichen Ergebnissen verschiedener Waldmodelle, die auf unterschiedlichen Algorithmen basieren (Pfeiffer et al. 2026).

Vor diesem Hintergrund werden folgende Analysen durchgeführt:

- a) Beispielhafte Darstellung der klimasensitiven Ergebnisse in FABio-Forest
- b) Vergleich von Ergebnissen des Matrix-Modells (Rock et al. 2025), die in den Projektionsbericht der Bundesregierung eingeflossen sind (Förster et al. 2025), mit den klimasensitiven Modellierungen in FABio-Forest sowie mit der Mittelwerts-Fortschreibung aus dem Nationalen Treibhausgasinventar
- c) Darstellung der THG-Minderungen durch W-VO-Szenarien zum Waldmanagement.

Um diese Analysen durchführen zu können, wurden die folgenden Szenarien bzw. Datenquellen herangezogen und Szenarien in FABio-Forest entwickelt:

- ▶ Ohne-Maßnahmen-Szenarien (OMS): In Rock et al. (2025) wurden mit dem Matrix-Modell des Thünen-Instituts drei Szenarien modelliert, um die mögliche zukünftige Entwicklung des Waldes zu untersuchen. Daten aus der BWI4 und den beiden letzten Inventuren, der BWI-3 2012 und der Kohlenstoffinventur CI 2017 wurden zur Parametrisierung verwendet:
 - OMS1217: Es wurden Bedingungen angenommen wie in den Jahren zwischen der BWI-2 und der CI 2017 (Jahre 2013–2017) mit eher günstigen Wuchsbedingungen („optimistisches“ Szenario).
 - OMS1722: Es wurden Bedingungen angenommen wie in den Jahren zwischen der CI 2017 und der BWI4 (Jahre 2018–2022). Die Periode war durch ungünstige Wuchsbedingungen aufgrund außergewöhnlicher Trockenheit geprägt. Insbesondere trat ein erheblicher Verlust an Fichtenbeständen durch Trockenheit und Borkenkäfer auf („pessimistisches“ Szenario).
 - OMS1222: Es wurden Bedingungen über den gesamten BWI4-Zeitraum (Jahre 2013–2022) angenommen („mittleres“ Szenario).
- ▶ NIR_MW(13-22): Die THG-Bilanz der lebenden Biomasse aus dem aktuellen deutschen Nationalen Treibhausgasinventar wird als Mittelwert der Jahre 2013 bis 2022 fortgeschrieben (UBA 2025). Diese Jahre entsprechen dem Erhebungszeitraum der BWI4.
- ▶ Mit dem Waldmodell FABio-Forest wurden Sensitivitäten zur Waldentwicklung berechnet, die mögliche durch die W-VO beeinflusste Veränderungen der Waldbewirtschaftung abbilden. Zudem wurde ein OMS mit zwei Klimasensitivitäten modelliert, um die FABio-Forest-Ergebnisse gegenüber den OMS-Szenarien einzuordnen:
 - OMS_03-22RS²: Für das OMS wurden die Klimabedingungen aus der Klimareferenzperiode 2003-2022 zyklisch fortgeschrieben. Die Holznachfrage wurde aus dem Szenario OMS1222 abgeleitet und an FABio-Forest übergeben.³ Es wurden keine Waldumbaumaßnahmen simuliert.
 - OMS_13-22RS⁴: Diese Sensitivität wurde analog zu OMS_03-22RS parametrisiert, jedoch mit Fortschreibung der ungünstigeren Klimabedingungen aus der Referenzperiode 2013-2022.
 - W-VO_LB5_03-22RS: Für diese Sensitivität erfolgte die Klimafortschreibung wie in OMS_03-22RS. Als Holznachfrage wurde der Mittelwert der Holzentnahme nach Einschlagsrückrechnung 2013-2022 fortgeschrieben, was gegenüber der Holznachfrage im Szenario OMS_03-22RS in den Jahren 2025 bis 2050 im Laubholz einer mittleren Reduktion von 3,1 Mio. m³ pro Jahr entspricht.⁵ Zusätzlich wurde Waldumbau durch eine jährliche Einwuchsförderung von in Summe 50 % von Laubbäumen⁶ zu Lasten von

² Das Szenario OMS_03-22RS entspricht in Pfeiffer et al. (2026) dem Szenario OMS (03-22, BWI4, F2.4).

³ 2025: 63,8 Mio. m³/a Nadelholz und 21,7 Mio. m³/a Laubholz; 2050: 56,0 Mio. m³/a Nadelholz und 25,4 Mio. m³/a Laubholz; Mittelwerte für die Periode 2025-2050: 59,7 Mio. m³/a Nadelholz, 23,7 Mio. m³/a. Alle Werte inklusive Rinde und einschließlich Restholzentnahme (siehe Details in Pfeiffer et al. 2026).

⁴ Das Szenario OMS_13-22RS entspricht in Pfeiffer et al. (2026) dem Szenario OMS (13-22, BWI4, F2.4).

⁵ Nadelholz: 62,0 Mio. m³/a, Laubholz: 20,6 Mio. m³/a, Summe: 82,6 Mio. m³/a. Alle Werte inklusive Rinde und einschließlich Restholzentnahme.

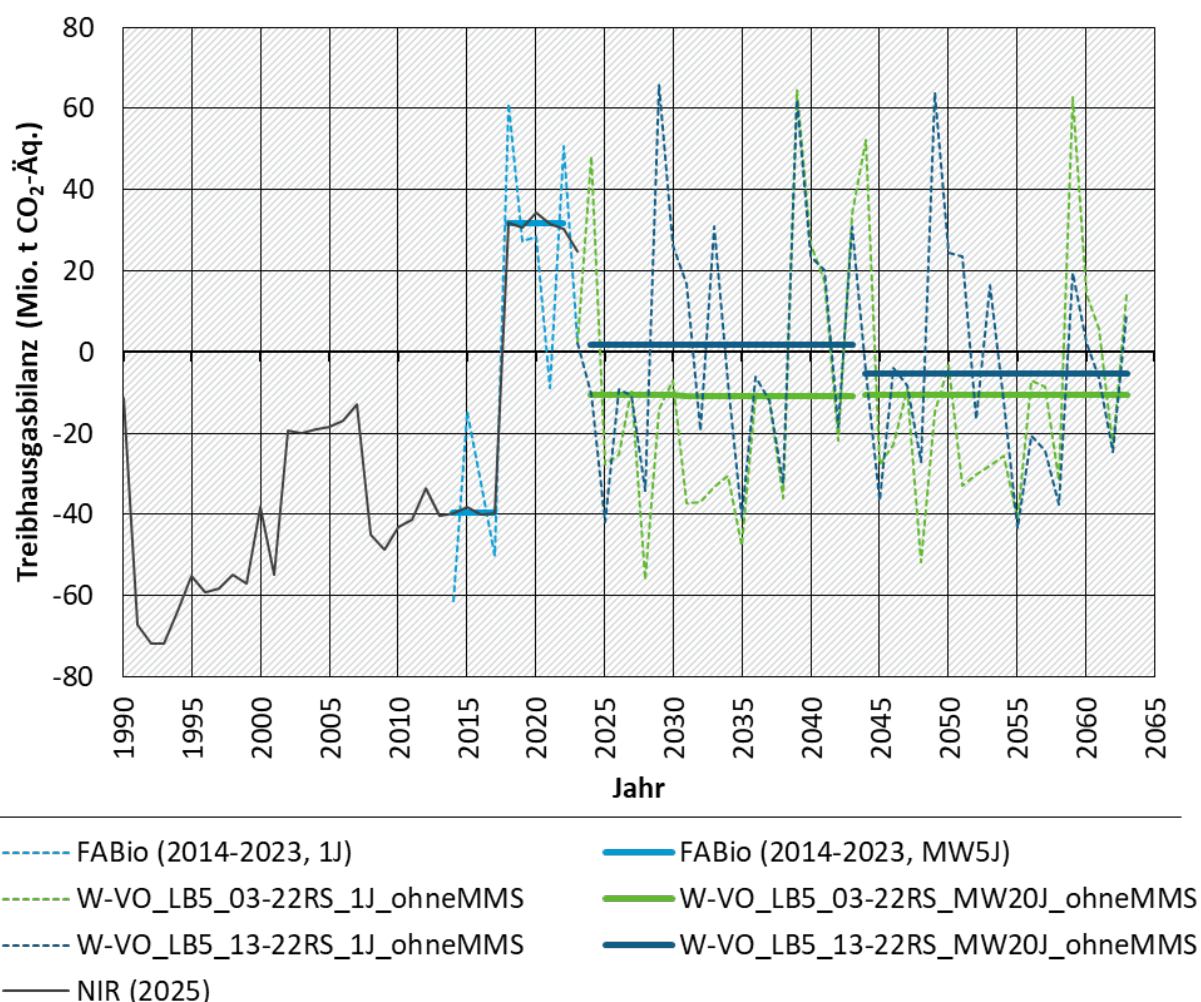
⁶ Eine jährliche Einwuchsförderung von jeweils 10 % erfolgte für die fünf Laubbaumartengruppen Buche, Eiche, Ahorn, Linde/Ulme und sonstige Laubbaumarten mit hoher Lebensdauer.

Nadelbäumen modelliert, wobei die Einschlagsintensitäten für Nadelbäume identisch zum OMS_03-22 RS beibehalten wurden.

- W-VO_LB5_13-22RS: Die Klimafortschreibung wurde in dieser Sensitivität wie in OMS_13-22RS eingestellt. Alle anderen Einstellungen zu Holznachfrage und Waldumbau waren analog zu W-VO_LB5_03-22RS.
- W-VO_LB5+_03-22RS: In dieser Sensitivität wurden alle Einstellungen wie im W-VO_LB5_03-22RS gesetzt, jedoch wurde zusätzlich die Nadelholz-Entnahmeintensität (Durchforstung, Ernte) erhöht und eine reduzierte Entnahmeintensität im Laubholz eingestellt. Durch die Nachfragesteuerung der Holzentnahme durch Ernte macht sich dies insbesondere im Laubholz vor allem in Form einer reduzierten Durchforstungsintensität bemerkbar, ausgeglichen durch erhöhte Ernte bei gleichbleibender Holznachfrage.
- W-VO_LB5mSG_03-22RS: Für diese Sensitivität wurden alle Einstellungen wie im W-VO_LB5_03-22RS getroffen, es erfolgte aber zusätzlich eine kontinuierliche Erhöhung der Schutzgebietskulisse bis auf 10 % der Waldfläche in Deutschland bis zum Jahr 2050 durch sukzessive Nutzungsaufgabe in alten, durchmesserstarken Laubbeständen.

Die Angaben zum veränderten Waldmanagement im Projektionsbericht der Bundesregierung reichen nicht aus, um sie im FABio-Forest abzubilden. Als Vereinfachung wird angenommen, dass die Maßnahmen im MMS – wenn in FABio-Forest abgebildet – zu einer vergleichbaren THG-Minderung führen würden, und die THG-Minderungen in MMS werden auf die Ergebnisse zu den W-VO-Sensitivitäten hinzuaddiert. In der folgenden Darstellung wird in der Benennung unterschieden zwischen „mitMMS“ und „ohneMMS“.

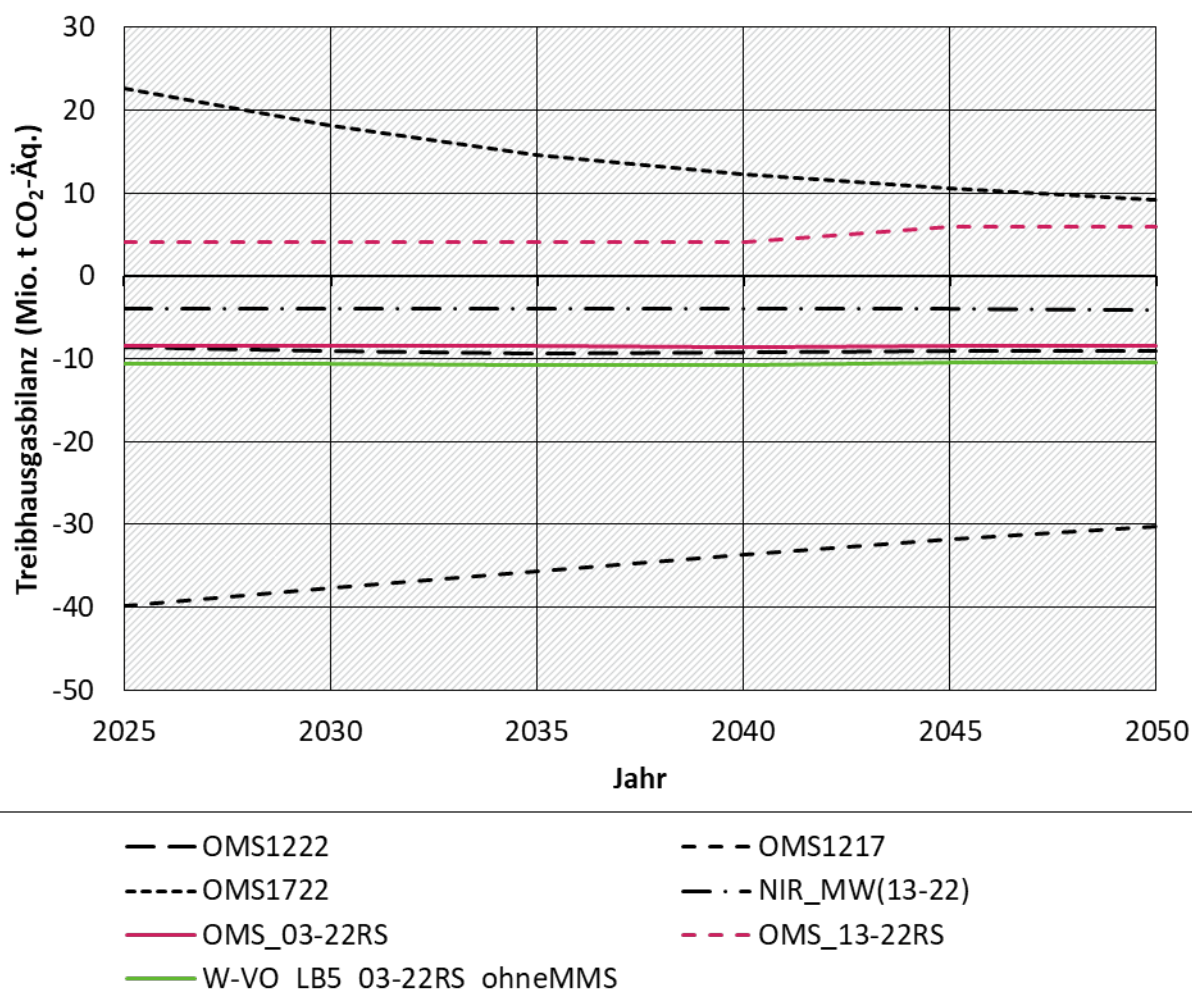
Die Ergebnisse von FABio-Forest weisen aufgrund der klimasensitiven Modellierung in jährlicher Auflösung deutliche Schwankungen auf (Abbildung 8). Durch den Abgleich mit den Ergebnissen der BWI4 und der CI2017 konnten die klimasensitiven Zuwachsfunktionen so kalibriert werden, dass – unter Berücksichtigung historischer Mortalitätsraten und Holzentnahmen – die berichtete THG-Bilanz sehr gut reproduziert wird (siehe Details in Pfeiffer et al. 2026). Dies gilt sowohl für die Jahre 2014 bis 2017 mit günstigen Wuchsbedingungen als auch für die Periode 2018 bis 2022 mit ungünstigen Wuchsbedingungen (Abbildung 8). In Abbildung 8 sind zudem für das Szenario „W-VO_LB5“ zwei klimasensitive Modellläufe in jährlicher Auflösung dargestellt. Diese zeigen, dass in der Sensitivität „W-VO_LB5_13-22RS“ der Wald aufgrund der häufiger vorkommenden ungünstigen Jahre deutlich öfter zu einer THG-Quelle wird als in der Sensitivität „W-VO_LB5_03-22RS“. Für den Szenarienvergleich wird ein 20-jähriger Mittelwert herangezogen (Abbildung 8), da in diesem Zeitraum die Wiederholung historischer Witterungsverläufe erfolgt (vgl. Abschnitt 8.3.2).

Abbildung 8: Treibhausgasbilanzen der lebenden Biomasse in der historischen Entwicklung und der klimasensitiven Waldmodellierung in FABio-Forest

FABio = FABio-Forest, NIR (2025) = berichtete Ergebnisse im deutschen Nationalen Treibhausgasinventar, 1J = jahresscharfe Darstellung, MW20J = Darstellung der Mittelwerte über 20 Jahre; W-VO = Sensitivitäten zum möglichen Waldmanagement im Rahmen der W-VO (siehe Text).

Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung der CRF-Tabellen zu UBA (2025), Öko Institut.

Die Szenarien „OMS1217“ und „OMS1722“ spannen einen breiten Korridor für die THG-Bilanz der Waldfläche in Deutschland auf. Unter Annahme vergleichbarer Bedingungen wie in den guten Wuchsjahren 2013 bis 2017 erreicht das Szenario „OMS1217“ eine Senke von -40 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2025, die bis zum Jahr 2050 auf -30 Mio. t CO₂-Äq. abnimmt. Im Gegensatz dazu wird der Wald bei schlechten Wuchsbedingungen wie in den Jahren 2018 bis 2022 im Szenario „OMS1722“ zu einer Quelle von 23 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2025, die bis zum Jahr 2050 auf rund 9 Mio. t CO₂-Äq. zurückgeht (Abbildung 9). Diese Szenarien stellen extreme Fälle dar, da eine Konstanz der günstigen bzw. ungünstigen Wuchsbedingungen bis 2050 unwahrscheinlich ist. Im Szenario „OMS1222“, das die Bedingungen der Jahre 2013 bis 2022 fortschreibt und damit ausgeglichene Anteile günstiger und ungünstiger Wuchsbedingungen annimmt, ergibt sich für die lebende Biomasse eine Senke von ca. -9 Mio. t CO₂-Äq. pro Jahr (Abbildung 9). Die Angaben der Szenarien OMS1222, OMS1217 und OMS1722 beziehen sich auf die gesamte Waldfläche inkl. neu begründeter Waldflächen.

Abbildung 9: Treibhausgasbilanzen der lebenden Biomasse in Waldszenarien zum Waldmanagement

Siehe Beschreibung der Szenarien bzw. Sensitivitäten im Text.

Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung, (Rock et al. 2025) und CRF-Tabellen zu UBA (2025), Öko Institut

Eine Fortschreibung der CO₂-Einbindung in der lebenden Biomasse laut THG-Inventar als Mittelwert der Jahre 2013 bis 2022 ergibt für die bestehende Waldfläche -4,0 Mio. t CO₂-Äq. pro Jahr (Abbildung 9). Unter Berücksichtigung neuer Waldflächen steigt die Senkenleistung auf -4,5 Mio. t CO₂-Äq. pro Jahr, was ca. 4,5 Mio. t CO₂-Äq. pro Jahr unter der Senkenleistung des Szenarios OMS1222 liegt.

Im FABio-Forest-Szenario „OMS_03-22RS“ ist eine Senkenleistung von ca. -8,5 Mio. t CO₂-Äq. pro Jahr zu erwarten (Abbildung 9). Diese Bilanz umfasst jedoch nicht die Senkenleistung neuer Waldflächen, die nach dem Nationalen THG-Inventar mit ca. -0,5 Mio. t CO₂-Äq. pro Jahr geschätzt wird. Somit sind die THG-Bilanzen der Szenarien „OMS_03-22RS“ und „OMS1222“ vergleichbar, und das Szenario „Basis_03-22RS“ dient als Ausgangspunkt für die Modellierung der W-VO- Sensitivitäten.

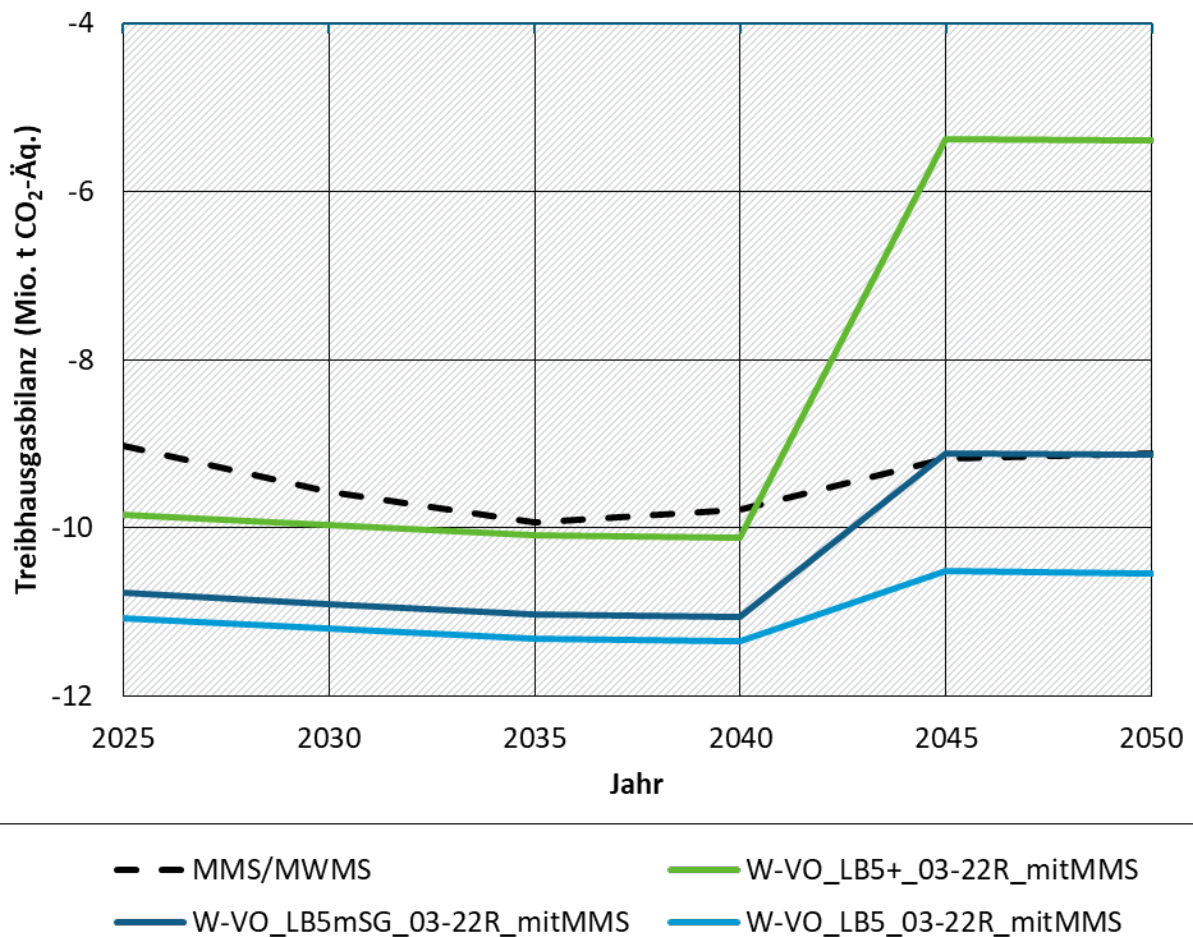
Im Szenario „OMS_03-22RS“ wurde die Holzentnahme an das „OMS1222“ angepasst, aber die Annahmen zur Fortschreibung der Witterung bezieht sich auf die Jahre 2003 bis 2022 und nicht – wie im OMS1222 – auf die Bedingungen in den Jahren 2013 bis 2022. Bei Verwendung der Jahre 2013 bis 2022 für die Witterungsfortschreibung in FABio-Forest ergibt sich für die lebende Biomasse eine Quelle von 4,1 bis 5,9 Mio. t CO₂-Äq. pro Jahr (Abbildung 9). Dies entspricht einer Verschlechterung der THG-Bilanz im Szenario „OMS_13-22RS“ gegenüber

„OMS_03-22RS“ um 12,5 bis 14,3 Mio. t CO₂-Äq. pro Jahr. Der Grund für diesen starken klimatischen Effekt auf die Treibhausgasbilanz besteht in der jahresscharfen klimasensitiven Modellierung in FABio-Forest im Vergleich zu einer Fortschreibung mittlerer klimatischer Bedingungen der Klimareferenzperiode. Werden jährliche klimatische Extremereignisse nicht als solche abgebildet, führt dies zu einer Überschätzung der Zuwächse, Vorräte und CO₂-Senkenleistung, da Reaktionen auf schlechte Witterungsbedingungen nichtlinear sind und somit in ihrer Wirkung unterschätzt werden, wenn sie nur im Mittel berücksichtigt werden (vgl. Pfeiffer et al. 2026).

Unter der Annahme, dass die Umsetzung der W-VO zu einem Waldumbau durch Förderung des Einwuchses von Laubbäumen bei gleichzeitig moderater Reduktion der Laubholzentnahme führt – insgesamt 78,9 Mio. m³ bis 2050 (im Mittel 3,0 Mio. m³/a weniger Nachfrage) –, ergibt sich gegenüber MMS bzw. MWMS eine THG-Minderung von -2,0 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2025 bis -1,3 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2045 (siehe W-VO_LB5_03-22RS in Abbildung 10, Abbildung 11 und Tabelle 19).

Bei einem verstärkten Waldumbau durch stärkere Entnahme von Nadelbäumen (W-VO_LB5+_13-22RS) verschlechtert sich die THG-Bilanz zu Beginn der Modellierungsperiode um rund 1 Mio. t CO₂-Äq. Ab dem Jahr 2045 steigt diese Verschlechterung auf 5 Mio. t CO₂-Äq., sodass gegenüber MMS/MWMS keine THG-Minderung, sondern eine Verschlechterung eintritt (Abbildung 10, Abbildung 11). Die verstärkte Entnahme von Nadelholz führt zwar zu einer Beschleunigung des Waldumbaus hin zu artenreichen Laub- und Mischbeständen, erfolgt jedoch zulasten von Gesamtvorrat und -zuwachs, da die geringere Wuchsleistung des durch die Förderung neu hinzukommenden jungen Laubholzes die wegfallende CO₂-Senkenleistung des schneller ausgeschiedenen Nadelholzes nicht vollständig kompensiert.

Im Vergleich zur Sensitivität „W-VO_LB5_13-22RS“ führt eine schrittweise Nutzungsaufgabe in alten, durchmesserstarken Laubbeständen bis zum Jahr 2040 gegenüber der Sensitivität „W-VO_LB5mS_03-22RS“ zu einer leichten Verschlechterung der CO₂-Senkenleistung um etwa 0,3 Mio. t CO₂ pro Jahr. Nach dem Jahr 2040 vergrößert sich diese Differenz auf ca. 1,4 Mio. t CO₂ pro Jahr, sodass das Waldumbauszenario mit Nutzungsaufgabe bezogen auf die CO₂-Senkenleistung dem MMS/MWMS gleichkommt (siehe W-VO_LB5mS_03-22RS in Abbildung 11). Diese Entwicklung resultiert aus der Verschiebung der Laubholznachfrage innerhalb der Laubbestände: Obwohl die Holznachfrage bei „W-VO_LB5_03-22RS“ und „W-VO_LB5mS_03-22RS“ identisch ist, stehen im „W-VO_LB5mS_03-22RS“ im Zeitverlauf immer weniger bewirtschaftbare Laubbestände zur Verfügung. Daher werden die verbleibenden bewirtschafteten Bestände verstärkt genutzt, um die Ausfälle der nicht mehr genutzten Flächen zu kompensieren. Da gezielt alte, durchmesserstarke Bestände aus der Nutzung genommen werden, führt dies zu einem intensiveren Einschlag in mittelalten, wuchsstarken Beständen, deren Vorratsaufbau dadurch gemindert wird. Während die aus der Nutzung genommenen Altbestände zwar insgesamt höhere Vorräte besitzen, weisen sie eine geringere Vorratsaufbauleistung als die mittelalten Bestände auf, was zusammen die CO₂-Senkenleistung verschlechtert.

Abbildung 10: Treibhausgasbilanz der lebenden Biomasse von MMS/MWMS und W-VO-Sensitivitäten

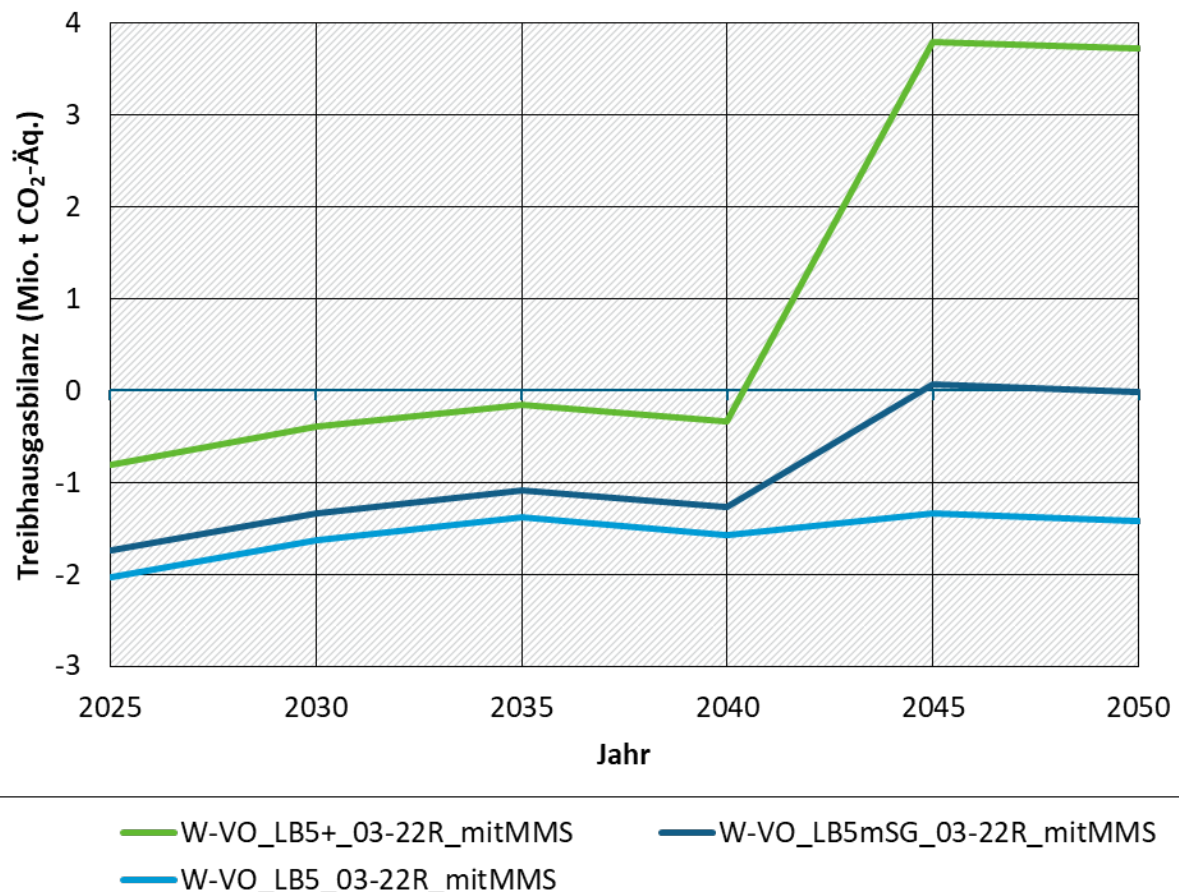
Siehe Beschreibung der Szenarien bzw. Sensitivitäten im Text.

Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung, Öko Institut sowie Rock et al. (2025)

Tabelle 19: Treibhausgasbilanz der lebenden Biomasse in OMS, MMS/MWMS und den W-VO-Sensitivitäten

Szenario bzw. Sensitivität	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Mio. t CO ₂ -Äq.						
OMS1222	-8,63	-9,07	-9,34	-9,18	-9,08	-9,02
MMS/MWMS	-9,03	-9,57	-9,94	-9,78	-9,18	-9,12
WVO_LB5+_03-22RS_mitMMS	-9,84	-9,96	-10,08	-10,11	-5,38	-5,40
WVO_LB5mSG_03-22RS_mitMMS	-10,77	-10,90	-11,03	-11,05	-9,11	-9,13
WVO_LB5_03-22RS_mitMMS	-11,06	-11,19	-11,32	-11,35	-10,52	-10,54

Quelle: Daten zu OMS aus Rock et al. (2025) und zu MMS/MWMS aus Förster et al. (2025), eigene Berechnung und Darstellung, Öko Institut.

Abbildung 11: Treibhausgasminderung der lebenden Biomasse in W-VO-Sensitivitäten für Waldmanagement gegenüber MMS/MWMS

Dargestellt ist die THG-Minderung gegenüber dem MMS. Siehe Beschreibung der Szenarien bzw. Sensitivitäten im Text.
 Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung, Öko-Institut

8.3.4 Exkurs Totholz

Totholz trägt zur Kohlenstoffspeicherung im Wald bei und leistet zugleich einen wichtigen Beitrag zum Natur- und Artenschutz, da es Lebensraum für zahlreiche Arten bietet. Die jährliche Senkenleistung im Totholz ergibt sich bilanziell aus dem Verhältnis von Zufluss und Zersetzung. Übersteigt die Menge des im neu entstehenden Totholz gebundenen CO₂ die durch Zersetzung freigesetzte Menge, wirkt Totholz als CO₂-Senke; im umgekehrten Fall als Quelle.

Im Waldmodell FABio-Forest setzt sich der Totholzpool aus Derby- und Nichtderbholz zusammen. Dieses entsteht einerseits durch natürliche Mortalität, andererseits durch Schlagabraum gefällter und entnommener Bäume. Die Zersetzung erfolgt modellseitig nach der Annahme, dass – abhängig von der Holzart – jährlich ein bestimmter Anteil gemäß vorgegebener Zersetzungsrate abgebaut wird: diese beträgt für Nadelholz 5,25 % je Jahr, für Eichenholz 3,72 % je Jahr und für sonstige Laubholzarten pauschal 6,7 % je Jahr (Rock et al. 2008; Kroiher und Oehmichen 2010). Klimatische, edaphische und weitere standortspezifische Einflussfaktoren auf die Holzzersetzung werden in FABio-Forest derzeit nicht berücksichtigt.

Zum Zeitpunkt der vorliegenden Studie lagen für die BWI4 keine Totholz mengen auf Ebene der Traktecken vor. Daher ist es in FABio-Forest zum aktuellen Zeitpunkt für den Totholzpool aus dem Jahr 2022 nur möglich, ihn für ganz Deutschland ohne räumliche Differenzierung anhand der genannten Zersetzungsraten fortzuschreiben.

Für das Jahr 2022 werden für Nadeltotholz 95,3 Mio. t CO₂, für Eichentotholz 13,2 Mio. t CO₂ und für sonstiges Laubtotholz 60,3 Mio. t CO₂ angegeben (Thünen-Institut 2022a). Dabei ist zu berücksichtigen, dass in der BWI4 ausschließlich Derbholz mit einem Durchmesser > 10 cm erfasst wird, während in FABio-Forest zusätzlich Nichtderbholz in die Bilanz einfließt. Durch den Nicht-Derbholzanteil im Totholz erhöht sich in FABio-Forest für Nadelholz das Totholzvolumen typischerweise in einer Größenordnung von Faktor 1,25 und für Laubholz um einen Faktor von ca. 1,3. Durch Anwenden dieser Faktoren lassen sich die genannten Totholz mengen aus der BWI4 anpassen, um den Nicht-Derbholzanteil zu berücksichtigen.

Zusätzlich werden in FABio-Forest ab dem Jahr 2023 räumlich differenziert die jährlichen Zuflussmengen und deren Zersetzungsverläufe für Derbholz und Nicht-Derbholz abgebildet. Diese Ergebnisse werden deutschlandweit aggregiert. Der Totholzpoo l in einem Jahr ergibt sich aus:

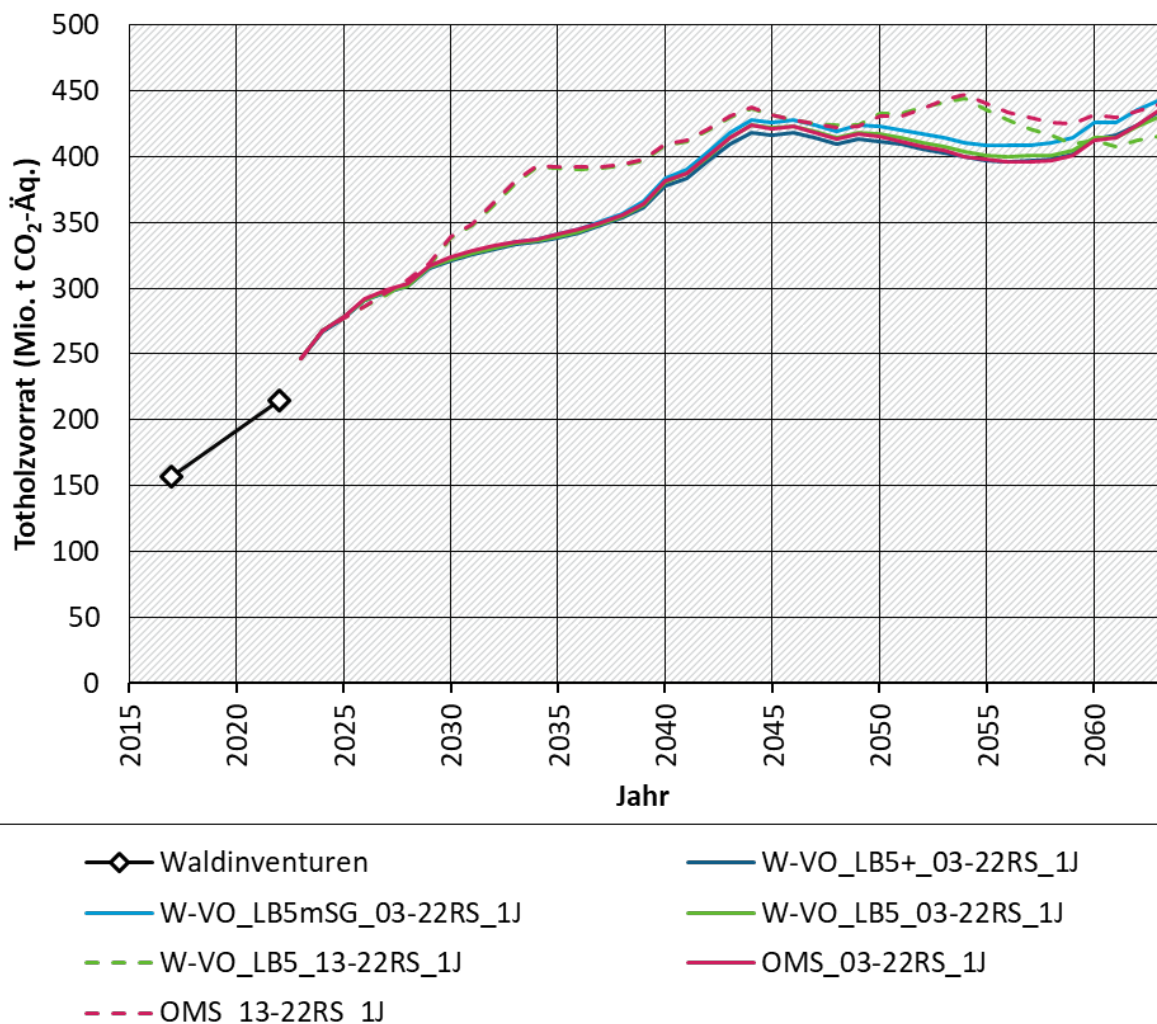
- ▶ Fortschreibung der Zersetzung des Totholzes, das im Jahr 2022 vorhanden war (deutschlandweite Betrachtung)
- ▶ Zufluss an neuem Totholz, das ab dem Jahr 2023 neu anfällt, und seine Zersetzung (Betrachtung auf Ebene der Traktecken, Aggregation für die deutschlandweite Betrachtung)

Als Summe ergibt sich die jährliche Gesamtmenge des im Totholz gespeicherten CO₂ (Abbildung 12) sowie daraus abgeleitet die jeweilige Senkenleistung, die sich aus den Veränderungen im Totholz voo rrat ergibt (Abbildung 13).

Bereits zwischen den Inventuren aus den Jahren 2017 und 2022 ist ein Anstieg der CO₂-Speicherung im Totholz zu erkennen. Ausgehend vom Inventurwert 2022 von rund 220 Mio. t CO₂-Äq. steigt der modellierte Totholz voo rrat in allen Szenarien bzw. W-VO-Sensitivitäten deutlich auf Werte von etwa 400-450 Mio. t CO₂-Äq., wobei ab dem Jahr 2045 eine Sättigungsphase eintritt. Die Kurven unterscheiden sich eher graduell als grundsätzlich, da keiner der Modellläufe zu einem Totholz rückgang, sondern lediglich zu unterschiedlich starken Zunahmen führt (Abbildung 12).

Die enge Bündelung der Kurven für die Klimavariante 03-22RS bis etwa 2040 verdeutlicht, dass sich die W-VO-Sensitivitäten kurzfristig kaum vom OMS unterscheiden. Die Entwicklung wird hier stark von bereits etablierten Trends und Bestandsstrukturen geprägt (Abbildung 12). Erst im weiteren Verlauf wirken sich unterschiedliche Nutzungs- und Störungsannahmen deutlicher auf den Totholz voo rrat aus. Die Totholz voo rräte in den W-VO-Sensitivitäten differenzieren sich erst ab ca. 2040 moderat. Am stärksten wirkt die Variante mit zusätzlicher Nutzungsaufgabe in Laubholzbeständen (W-VO_LB5mSG_03-22RS_1J): Hier akkumuliert in ungenutzten alten Laubholzbeständen zusätzliches Totholz, was zu den höchsten Vorräten innerhalb der W-VO-Varianten mit der Klimasensitivität 03-22RS führt (Abbildung 12).

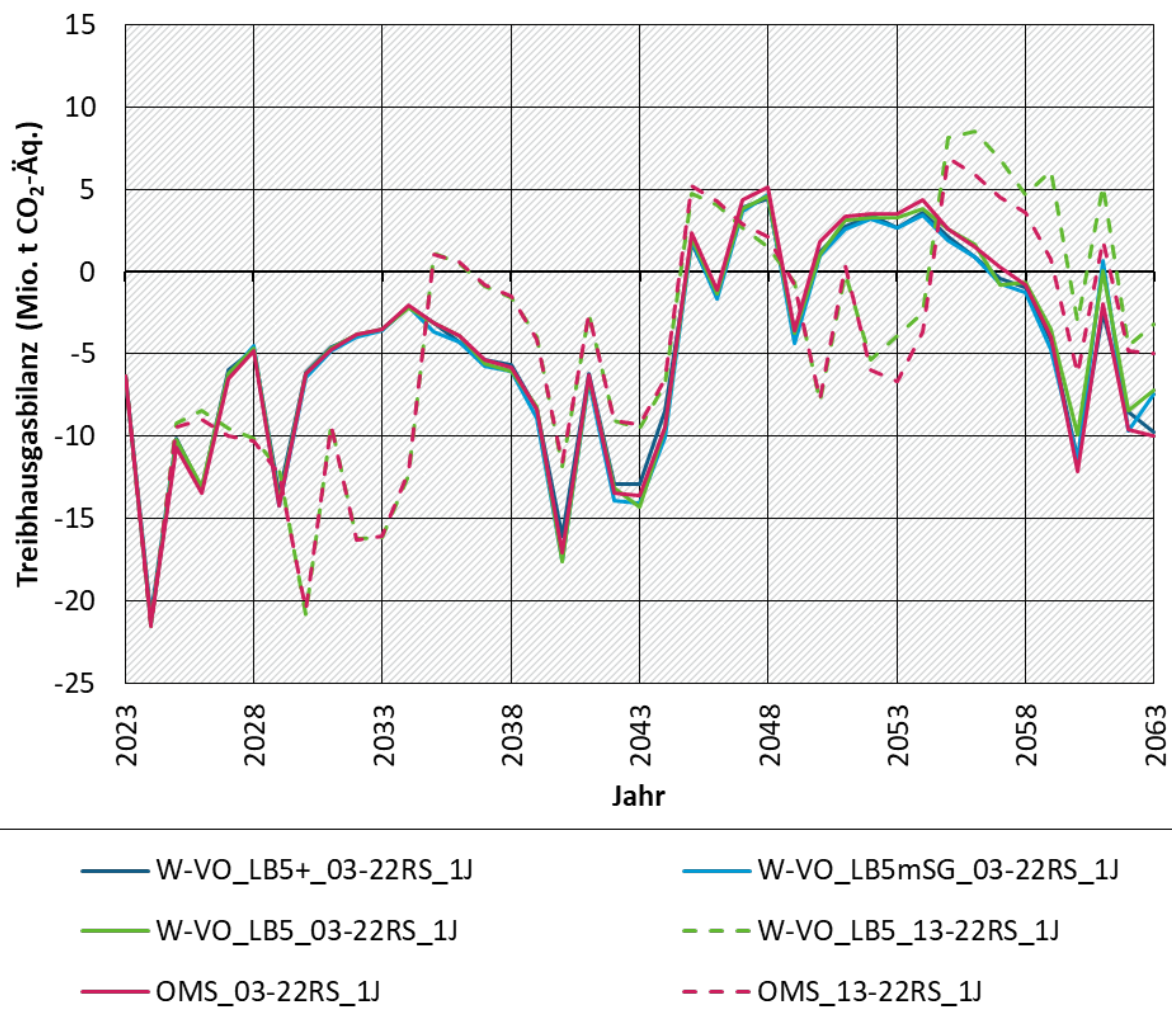
Die Szenarien der ungünstigeren Klimavariante 13-22RS zeigen zwischen 2030 und 2045 – bedingt durch höhere Mortalitätsausfälle – deutlich erhöhte Totholz voo rräte. Danach nähern sie sich wieder den Werten der moderateren Variante 03-22RS an. In den frühen 2050er Jahren kommt es jedoch erneut zu einem zeitweiligen Anstieg, ausgelöst durch die sich wiederholenden klimatischen Extrembedingungen (Wiederholung der Jahre 2018-2022, Abbildung 12).

Abbildung 12: Totholzvorrat in Waldinventuren, Waldszenarien und -sensitivitäten

Siehe Beschreibung der Szenarien bzw. Sensitivitäten im Text. Waldinventuren = Kohlenstoffinventur für das Jahr 2017 und 4. Bundeswaldinventur BWI4 für das Jahr 2022. Angaben zum Totholz beziehen sich auf Totholz ab einem Durchmesser von 10 cm. In FABio-Forest werden zudem Äste <10 cm im Totholzpoo berücksichtigt, so dass sich das Totholz bei Nadelbäumen um einen Faktor von ca. 1,25 und bei Laubholz um 1,30 erhöht. Um diese Faktoren wurde in dieser Darstellung der Totholzvorrat aus den Waldinventuren erhöht.

Quelle: Daten der Historie Thünen-Institut (2022b), Projektion eigene Berechnungen in FABio-Forest und Darstellung, Öko-Institut

Die in Abbildung 13 gezeigten jährlichen Treibhausgasbilanzen des Totholzes für die verschiedenen Waldszenarien und Klimavarianten schwanken ab ca. 2040 stark zwischen positiven (Nettoemissionen) und negativen (Nettoeinbindungen) Werten, was die dynamische Natur des Totholzumsatzes widerspiegelt. In Phasen, in denen die Totholzzersetzung die Neubildung übersteigt, agiert das Totholz als CO₂-Quelle, in Phasen starker Störungen mit erhöhter Mortalität und Totholzentstehung hingegen als Senke. Aus dem Vergleich der Klimavarianten 03-22RS und 13-22RS wird deutlich, dass klimatisch extreme Jahre mit z. B. starker Trockenheit die Treibhausgasbilanz im Totholz sowie die Totholzdynamik stark beeinflussen, mit potenziell höheren Senken in stressbelasteten Jahren, in denen sich im Gegenzug die CO₂-Bilanz der lebenden Bestände durch abnehmende Zuwächse und mortalitätsbedingte Vorratsverluste verschlechtert. Ab etwa dem Jahr 2045 gehen die Totholzvorräte in eine Sättigung über. Dies spiegelt sich auch darin wider, dass Jahre bzw. Perioden mit positiven und negativen THG-Bilanzen für den Totholzpoo sich abwechseln.

Abbildung 13: Treibhausgasbilanzen des Totholzes in Waldszenarien und -sensitivitäten

1J = jahresscharfe Darstellung, W-VO = Sensitivitäten zum möglichen Waldmanagement im Rahmen der W-VO (siehe Text).
 Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung, Öko-Institut

9 Kombination von Wiederherstellungsmaßnahmen in „W-VO-Szenarien“

Die in Abschnitt 3 bis 8 bisher diskutierten möglichen Maßnahmen zur Umsetzung der W-VO haben den Charakter von Sensitivitäten, die helfen, die Wirkung einzelner Maßnahmen auf die THG-Bilanz zu ermitteln und mögliche Synergien zwischen Klima- und Biodiversitätsschutz darzustellen. Allerdings werden diese Maßnahmen nicht isoliert umgesetzt werden, sondern in Kombination. Um einen Eindruck davon zu bekommen, wie die diskutierten Maßnahmen im Zusammenspiel wirken könnten⁷, wurden drei „W-VO-Szenarien“ entworfen, die die zeitgleiche Umsetzung von Maßnahmen annehmen (Tabelle 20). Für die einzelnen Themenfelder führen die unterschiedlichen Maßnahmen zu mehr oder weniger hohen THG-Minderungen. Im W-VO-Szenario „geringe Synergien“ (gS) wird angenommen, dass in jedem Themenfeld die Maßnahme mit der geringsten THG-Minderung zur Umsetzung kommt. Dieses Szenario bildet ab, welche positive Wirkung aus der Umsetzung der W-VO auf den Klimaschutz mindestens erwartet werden kann. Im W-VO-Szenario „hohe Synergien“ (hS) wird hingegen unterstellt, dass in allen Themenfeldern stets die Sensitivität mit der höchsten THG-Minderung umgesetzt wird. Damit stellt dieses Szenario die maximal erwartbaren THG-Minderungen dar, die bei der Ausgestaltung der W-VO zusätzlich zum MWMS erreicht werden könnten. Im W-VO-Szenario „mittlere Synergien“ (mS) wurden je Themenfeld Maßnahmen ausgewählt, deren erwartete THG-Minderung sich jeweils zwischen der Maßnahme mit der höchsten und niedrigsten Synergie einordnet (Tabelle 20).

Tabelle 20: Annahmen zu „W-VO-Szenarien“

Maßnahmentyp	W-VO-Szenario „geringe Synergien“ (gS)	W-VO-Szenario „mittlere Synergien“ (mS)	W-VO-Szenario „hohe Synergien“ (hS)
Moorbodenschutz	Moor_WVO_-5cm_Wald	Moor_WVO_-5cm	Moor_WVO_-5cm_75%Paludi
Feuchtgebiete	25%_schlecht	50%_schlecht	100%_schlecht
Agroforst	WBNK_42%	CARETech_42%	CARETarget_10%
Siedlungen	SI_1%Bio_2050	SI_5%Bio_2050	SI_10%Bio_2050
Waldmehrung	BiodivStrat_10Tha-2030	ANK_80Tha-2030	ANK_80Tha-2030_280Tha-2050
Waldmanagement	WVO_LB5+_03-22RS	WVO_LB5mSG_03-22RS	W-VO_LB5_03-22RS

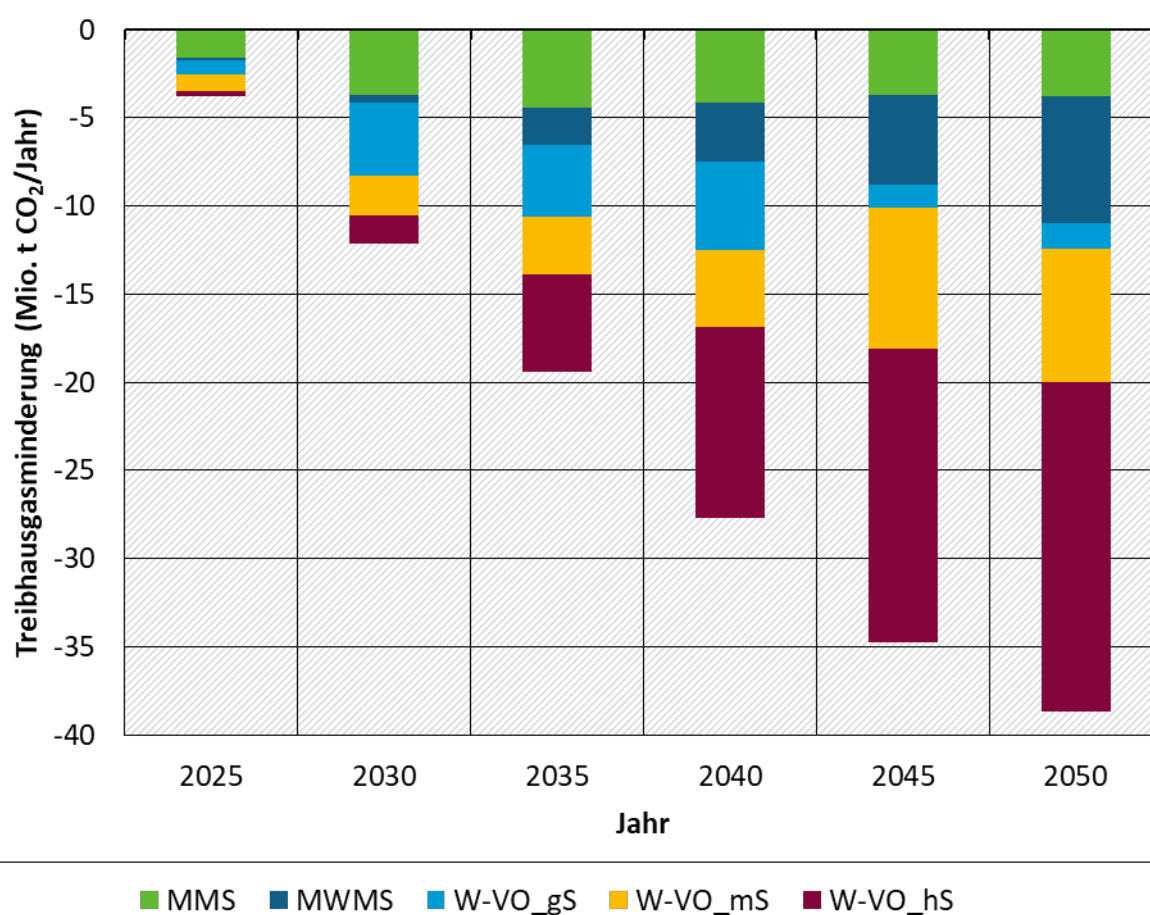
Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut

Mit den Maßnahmen im MMS wird bis zum Jahr 2050 eine THG-Minderung gegenüber dem OMS von -3,8 Mio. t CO₂-Äq. erwartet. Bei Umsetzung der bereits geplanten Maßnahmen im MWMS kann erwartet werden, dass die Minderungen im Jahr 2050 um weitere -7,2 Mio. t CO₂-Äq. auf -11,0 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2050 ansteigen (Abbildung 14). Dies ist insbesondere ein Resultat der geplanten Wiedervernässung von landwirtschaftlich genutzten Moorböden (vgl. Tabelle 21). Bei Umsetzung der Maßnahmen im Szenario gS wird ein weiterer Anstieg der THG-Minderung erwartet, so dass – in Summe mit MMS und MWMS – im Jahr 2040 eine THG-Minderung von -12,5 Mio. t CO₂-Äq. und im Jahr 2050 von -12,4 Mio. t CO₂-Äq. erreicht wird (Abbildung 14). Dabei tragen alle Themenfelder und wieder insbesondere die Wiedervernässung von

⁷ Wechselwirkungen zwischen den Maßnahmen wie die Konkurrenz um landwirtschaftliche Flächen für z. B. Moorvernässung, Anlage von Agroforst und Waldmehrung konnten im Rahmen dieser Studie nicht abgebildet werden.

Moorböden zur Verbesserung der THG-Minderung bei. Eine Ausnahme ist die erhöhte CO₂-Freisetzung auf der Waldfläche im Zuge des angenommenen Waldumbaus mit hoher Nadelholzentnahme, die die THG-Minderung im gS in den Jahren 2045 und 2050 reduziert (vgl. Tabelle 21). Im Szenario mS werden mit dem angenommenen Satz an Maßnahmen weitere THG-Minderungen erzielt, die vor allem in den Themenfeldern Wald und Agroforst auftreten. In Summe, unter Annahme der Umsetzung von MMS, MWMS und gS kann im Szenario mS im Jahr 2050 eine THG-Minderung von -20,0 Mio. t CO₂-Äq. erreicht werden (Abbildung 14, Tabelle 21). Mit dem Szenario hS steigt die mögliche THG-Minderung, die als Synergie bei der Umsetzung der W-VO-Verordnung auftreten kann, weiter deutlich an, so dass in Summe im Jahr 2050 eine THG-Minderung von -38,7 Mio. t CO₂-Äq. bilanziert wird (Abbildung 14). Der größte Anteil an dieser Verbesserung der THG-Bilanz entfällt auf die Anlage von Agroforst, gefolgt von der Anlage neuer Waldflächen (Tabelle 21).

Abbildung 14: Zusätzliche Treibhausgas-minderung der Szenarien gegenüber OMS



MMS = Mit-Maßnahmen-Szenario, MWMS = Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario, W-VO_gS/mS/hS = Szenario zur Wiederherstellungsverordnung mit geringen/mittleren/hohen Synergien.

Quelle: Eigene Darstellung, Öko Institut mit Daten zu MMS und MWMS aus Förster et al. (2025), Daten zu W-VO-Szenarien aus Abschnitt 3 bis 8 (siehe Details in Tabelle 21).

In Summe zeigt die Analyse, dass die Umsetzung der W-VO-Anforderungen zu deutlichen Synergien mit dem Klimaschutz führen kann. So besteht das Potenzial, dass ein deutlicher Beitrag zu den THG-Minderungszielen im Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) für den LULUCF-Sektor von -25 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2030, von -35 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2040 und von -40 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2045 erreicht werden kann. Da die berechneten THG-Minderungen aber noch hinter den Zielen zurückbleiben, sind weitere Klimaschutzmaßnahmen nötig. Zu

nennen ist insbesondere der Ausbau des Holzproduktspeichers, der als technische THG-Minderungsoption nicht im Zusammenhang mit der Umsetzung der W-VO steht.

Tabelle 21: Zusätzliche Minderung in MMS, MWMS und W-VO-Szenarien

Maßnahmentyp	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Mio. t CO ₂ -Äq.						
Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)						
Moorvernässung	-0,6	-2,1	-3,1	-3,8	-4,2	-4,6
EE-Ausgleichsflächen	-0,4	-1,1	-0,8	-0,1	0,0	0,1
Siedlungen	-0,2	0,0	0,1	0,4	0,6	0,8
Wald	-0,4	-0,5	-0,6	-0,6	-0,1	-0,1
Summe (MMS, zusätzlich)	-1,6	-3,7	-4,4	-4,1	-3,7	-3,8
Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS), zusätzlich zu MMS						
Moorvernässung	0,0	-0,2	-2,0	-3,7	-5,4	-7,3
Agroforst	0,0	-0,2	-0,4	0,0	0,1	0,0
Siedlungen	-0,1	0,0	0,3	0,3	0,2	0,1
Summe (MWMS, zusätzlich)	-0,1	-0,4	-2,1	-3,4	-5,1	-7,2
W-VO-Szenario "geringe Synergien" (gS), zusätzlich zu MMS und MWMS						
Moorvernässung	0,00	-3,27	-3,08	-2,87	-2,59	-2,79
Agroforst	0,00	-0,30	-0,60	-1,50	-2,10	-2,00
Waldmehrung	0,00	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,01
Feuchtgebiete	0,00	-0,03	-0,04	-0,05	-0,07	-0,08
Siedlungen	0,00	0,00	-0,06	-0,13	-0,19	-0,25
Wald	-0,81	-0,39	-0,15	-0,33	3,80	3,72
Summe (gS, zusätzlich)	-0,81	-4,14	-4,09	-5,03	-1,30	-1,42
W-VO-Szenario "mittlere Synergien" (mS), zusätzlich zu MMS, MWMS und gS						
Moorvernässung	0,00	-0,40	-0,55	-0,70	-0,67	-0,18
Agroforst	0,00	0,14	-0,47	-1,08	-1,69	-2,44
Waldmehrung	0,00	-1,06	-1,06	-1,06	-1,06	-0,10
Feuchtgebiete	0,00	-0,03	-0,04	-0,05	-0,07	-0,08
Siedlungen	0,00	0,00	-0,25	-0,51	-0,76	-1,01
Wald	-0,94	-0,94	-0,94	-0,94	-3,73	-3,74
Summe (mS, zusätzlich)	-0,94	-2,29	-3,32	-4,34	-7,98	-7,55

Maßnahmentyp	2025	2030	2035	2040	2045	2050
W-VO-Szenario "hohe Synergien" (hS), zusätzlich zu MMS, MWMS, gS und mS						
Moorvernässung	0,00	-1,14	-1,22	-1,28	-1,18	-1,07
Agroforst	0,00	-0,13	-2,85	-6,98	-10,70	-11,77
Waldmehrung	0,00	0,00	-0,76	-1,52	-2,28	-3,04
Feuchtgebiete	0,00	-0,05	-0,08	-0,11	-0,14	-0,16
Siedlungen	0,00	0,00	-0,32	-0,63	-0,95	-1,27
Wald	-0,29	-0,29	-0,29	-0,29	-1,41	-1,41
Summe (hS, zusätzlich)	-0,29	-1,61	-5,52	-10,81	-16,64	-18,71

Quelle: Daten zu MMS und MWMS aus Förster et al. (2025), Daten zu W-VO-Szenarien aus Abschnitt 3 bis 8.

10 Schlussfolgerungen

Die W-VO zielt darauf ab, bis zum Jahr 2050 alle Ökosysteme, die nicht in günstigem Erhaltungszustand sind, wieder in einen guten Zustand zu bringen und einen Aufwärtstrend bei der Biodiversität in der gesamten EU zu erreichen. Ein zentraler Aspekt der W-VO liegt in ihren Synergien mit dem Klimaschutz: Durch Maßnahmen wie Waldumbau, Moorbiedervernässung, Renaturierung von Auen und Förderung agroforstlicher Systeme soll die Treibhausgasbilanz verbessert werden, indem die Kohlenstoffspeicherung gesteigert, Emissionen aus organischen Böden reduziert und klimaresiliente Landschaften geschaffen werden.

In dieser Studie wurden mögliche Varianten der nationalen Umsetzung der W-VO in Deutschland in Bezug auf ihre THG-Minderungswirkung quantifiziert. Der Fokus lag dabei auf den im LULUCF-Sektor bilanzierten Quellgruppen. Folgende Schlussfolgerungen mit Bezug zu den Klimaschutzzielen im KSG können gezogen werden:

- ▶ **Wiedervernässung organischer Böden:** Gegenüber dem MWMS ergeben die Sensitivitäten zur Wiedervernässung von Moorböden nach W-VO im Jahr 2045 eine zusätzliche Treibhausgasreduzierung von –2,6 bis –4,4 Mio. t CO₂ Äq. pro Jahr. Diese zusätzliche Reduzierung resultiert aus den höheren Flächenanforderungen der W-VO, die über die im MWMS vorgesehenen Wiedervernässungen hinausgehen. So müssen im Jahr 2030 nach den Anforderungen der W-VO nach Annahmen dieser Analyse 406.000 ha wiedervernässt werden – mehr als 300.000 ha zusätzlich gegenüber dem MWMS. Im Jahr 2045 sollten nach W-VO 677.000 ha an wiedervernässten Flächen erreicht werden (265.000 ha mehr als im MWMS). Mit der Umsetzung der W-VO kann somit im Bereich der organischen Böden die Wiedervernässung ambitionierter ausfallen und damit Synergien mit Klimaschutzzielen entstehen.
- ▶ **Wiederherstellung von terrestrischen Feuchtgebieten:** Auf den 132.000 ha terrestrischer Feuchtgebiete auf organischen Böden besteht ein nur kleines THG-Minderungspotenzial, das im Zuge der Wiederherstellung dieser Flächen erreicht werden kann. Bis zum Jahr 2045 können die zusätzlichen THG-Minderungen zwischen 0,07 und 0,27 Mio. t CO₂-Äq. liegen. In den Sensitivitäten hängt die erwartbare THG-Minderung maßgeblich von der Annahme ab, welcher Anteil der Flächen sich in einem schlechten Zustand befindet und wiederhergestellt werden muss. Daraus lässt sich schließen, dass über ausreichendes Wissen zu den Erhaltungszuständen und mit einer Priorisierung auf Flächen mit aktuell hohen THG-Emissionen Synergien mit Klimaschutz erreicht werden können.
- ▶ **Agroforstsysteme auf Acker- und Grünland:** Die Anlage und Förderung von Agroforstsystemen – etwa durch die Einbringung von Gehölzstrukturen in Acker- oder Grünlandflächen – bietet den Vorteil einer gezielten Integration von Biodiversitäts- und Klimaschutzmaßnahmen in landwirtschaftliche Nutzungssysteme. Das Potenzial ist vom Flächenanteil der Gehölzelemente, der Wahl der Gehölzarten und der Bewirtschaftungs- bzw. Holzentnahmeintensität abhängig. Über 20 Jahre können zwischen **-3,67 und -14,67 t CO₂-Äq. pro Hektar und Jahr** erreicht werden. Aktuelle Förderprogramme, die im MMS und MWMS berücksichtigt sind, erlauben voraussichtlich nur eine geringe Anlage von Agroforstsystemen von wenigen tausend Hektar und entsprechend niedrigen absoluten Kohlenstoffbindungen. Die Anforderungen in der W-VO erlauben keine direkten Rückschlüsse auf eine zukünftig zu erwartende Flächenkulisse, weshalb Literaturwerte herangezogen wurden. Die analysierten Studien gehen davon aus, dass bis zum Jahr 2045 Gehölzelemente in Agroforstsystemen auf 0,20 bis 1,06 Mio. ha angelegt werden. Gegenüber

dem MWMS mit lediglich 0,01 Mio. ha an Agroforst im Jahr 2045 kann eine THG-Minderung von -2,1 bis -14,5 Mio. t CO₂-Äq. erreicht werden.

- ▶ **Anlage von Grünflächen in städtischen Ökosystemen:** Durch die Anlage zusätzlicher städtischer Grünflächen auf bestehenden Siedlungs- und Verkehrsflächen kann bis 2050 eine zusätzliche THG-Minderung erreicht werden. Die zusätzlich in Biomasse gespeicherte Menge an CO₂ hängt stark davon ab, wie viel Bäume und Sträucher konkret in bestehende Siedlungsflächen eingebracht werden können und kann so im Jahr 2045 von -0,2 bis zu -1,9 Mio. t CO₂-Äq. gegenüber dem MWMS betragen. Neben der direkten Kohlenstoffbindung entstehen zusätzliche Synergien für das Stadtklima: Bäume und Sträucher tragen durch Transpiration und Beschattung zur Kühlung bei und mindern so Wärmeinseleffekte in urbanen Gebieten.
- ▶ **Pflanzung zusätzlicher Bäume und Waldmehrung:** Die Zielsetzung in der W-VO, drei Milliarden Bäume bis zum Jahr 2030 zu pflanzen, kann anteilig auf Deutschland übertragen werden, es lässt deutlichen Interpretationsspielraum zu. Abgeleitete THG-Minderungspotenziale gegenüber dem MWMS durch Umsetzung der W-VO-Anforderungen zu Waldmehrung liegen zwischen -0,15 Mio. t CO₂ Äq. und -3,5 Mio. t CO₂-Äq..

Wiederherstellung von Waldökosystemen: Mögliche Maßnahmen zur Umsetzung der W-VO im Wald sind Waldumbau können die Förderung von Laubmischbeständen zur Schaffung klimaresilienter Bestände und zur Reduktion fehlbestockter Nadelholzflächen sowie die Etablierung von Prozessschutzflächen durch sukzessive Nutzungsaufgabe in alten, durchmesserstarken Laubbeständen sein. Ein Waldumbau durch Förderung des Einwuchses von Laubbäumen führt zu einer THG-Minderung gegenüber dem MMS/MWMS von -2,0 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2025 bis -1,3 Mio. t CO₂-Äq. im Jahr 2045. Eine zusätzliche schrittweise Nutzungsaufgabe in alten Laubwäldern führt zu einer leichten Verschlechterung der THG-Minderung gegenüber MMSW/MWMS durch die Verschiebung der Holzernte in wachstumsstärkere Wälder. Hier zeigt sich, dass Synergien mit Klimaschutz nur dann entstehen, wenn begleitende Politiken auch die Holznachfrage in den Blick nehmen. Wird der Waldumbau durch eine verstärkte Entnahme von Nadelbäumen begleitet, verschlechtert sich die THG-Minderung sehr deutlich, so dass im Jahr 2045 gegenüber MMS/MWMS 3,8 Mio. t CO₂-Äq. weniger CO₂ eingebunden wird. Aus Sicht der THG-Bilanz sollte eine verstärkte Nadelholzentnahme behutsam eingesetzt sowie gegenüber ökonomischen Gründen (schlechte Holzqualität bei Schadholz, unkontrollierte Absterbeereignisse) und der THG-Bilanz im Holzproduktspeicher abgewogen werden.

11 Quellenverzeichnis

BMUKN (2025): Weiterentwicklung des Aktionsprogramms Natürlicher Klimaschutz (Stand: 26.09.2025), Vorschlag des BMUKN. Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (Hg.). Online verfügbar unter

https://www.bundesumweltministerium.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/natuerlicher_klimaschutz/250926_weiterentwicklung_ank.pdf.

BMUV - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2022): Nationale Moorschutzstrategie. Online verfügbar unter

https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/nationale_moorschutzstrategie_bf.pdf, zuletzt geprüft am 07.03.2024.

BMUV (2023): Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz, Kabinettsbeschluss vom 29. März 2023.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (Hg.). Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/ank_publikation_bf.pdf, zuletzt geprüft am 22.05.2025.

BMUV (2024): Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt 2030, Beschluss des Bundeskabinetts vom 18.

Dezember 2024. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (Hg.). Online verfügbar unter

https://www.bundesumweltministerium.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/nbs_2030_strategie_bf.pdf, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Bockermann, C.; Eickenscheidt, T.; Drösler, M. (2024): Adaptation of fen peatlands to climate change: rewetting and management shift can reduce greenhouse gas emissions and offset climate warming effects. In:

Biogeochemistry 167, S. 563–588. DOI: 10.1007/s10533-023-01113-z.

Böhm, C.; Eysel-Zahl, G.; Hübner, R.; Kay, S.; Kudlich, W.; Kürsten, E.; Morhart, C.; Schwarz, K.; Wack, J. M.;

Weitz, M.; Zehlius-Eckert, W. (2025): Themenblatt Nr. 10: Klimawirksamkeit von Agroforstsystemen. Deutscher Fachverband für Agroforstwirtschaft (Hg.). Online verfügbar unter https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2025/05/Themenblatt_Nr.10_Web.pdf.

Böttcher, H.; Scheffler, M.; Reise, J.; Pfeiffer, M.; Wiegmann, K.; Janas, L.; Hennenberg, K. (2024): Das Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz: Wie können Synergien zwischen Biodiversitäts- und Klimaschutz gehoben werden?, Eine Analyse ausgewählter Wechselwirkungen im UBA-Forschungsprojekt zu Szenarien für den Natürlichen Klimaschutz (Climate Change) (57/2024). Umweltbundesamt (Hg.). Online verfügbar unter <https://doi.org/10.60810/openumwelt-7567>.

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 (Hg.). Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.60810/openumwelt-7906>.

Günther, A.; Barthelmes, A.; Huth, V.; Joosten, H.; Jurasinski, G.; Koebsch, F.; Couwenberg, J. (2020): Prompt rewetting of drained peatlands reduces climate warming despite methane emissions. In: Nat Commun 11 (1), S. 1–5. DOI: 10.1038/s41467-020-15499-z.

Harthan, R. O.; Repenning, J.; Bei der Wieden, M.; Bürger, V.; Braungardt, S.; Cook, V.; Emele, L.; Hennenberg, K.; Jörß, W.; Kasten, P.; Ludig, S.; Mendelevitch, R.; Moosmann, L.; Scheffler, M.; Steinbach, I.; Wiegmann, K.; Bussmann, S.; Fleiter, T.; Lotz, M. T.; ...Yu, S. (2025a): Ambitionierte Pfade für Treibhausgasneutralität in Deutschland: CARESupreme und CARETech, Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt Transformation zu einem vollständig treibhausgasneutralen Deutschland (CARE). FKZ 3720 41 506 0. Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.60810/openumwelt-7983>.

Harthan, R. O.; Repenning, J.; Bei der Wieden, M.; Bürger, V.; Braungardt, S.; Cook, V.; Emele, L.; Hennenberg, K.; Kasten, P.; Ludig, S.; Mendelevitch, R.; Moosmann, L.; Pfeiffer, M.; Scheffler, M.; Seibert, D.; Steinbach, I.; Wiegmann, K.; Lotz, M. T.; Mandel, T.; ...Yu, S. (2025b): Treibhausgasneutralität in Deutschland: CARETarget, Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt „Transformation zu einem vollständig treibhausgasneutralen Deutschland (CARE)“. Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.60810/openumwelt-8099>.

Hennenberg, K.; Böttcher, H. (2023): Biomasse und Klimaschutz, Im Rahmen des Vorhabens „Wissenschaftliche Analysen zu aktuellen klimapolitischen Fragen im Bereich der Energieeffizienz insbesondere in den Sektoren Industrie, GHD und Gebäude“ (67KE0064). Öko-Institut (Hg.). Berlin, Darmstadt. Online verfügbar unter https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Biomasse-und-Klimaschutz_BMWK.pdf, zuletzt geprüft am 24.11.2023.

Herfort, S.; Tschuikowa, S.; Ibáñez, A. (2012): CO₂-Bindungsvermögen der für die Bauwerksbegrünung typischen Pflanzen. Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte an der Humboldt-universität zu Berlin (Hg.). Online verfügbar unter https://www.gebaeudegruen.info/wp-content/uploads/2025/06/F002_co2_bindung.pdf, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Herold, A.; Drösler, M.; Boetius, A.; Bolte, A.; Evers, M.; Gattinger, A.; Grethe, H.; Hansen, R.; Ibisch, P. L.; Köck, W.; Pongratz, J.; Rehdanz, K.; Settele, J. et al. (2025): Optionen zur Weiterentwicklung des Aktionsprogramms Natürlicher Klimaschutz, Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats für Natürlichen Klimaschutz für das Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit. ISBN 978-3-949245-37-4. Online verfügbar unter https://www.wissenschaftlicher-beirat-fuer-natuerlichen-klimaschutz.de/wp-content/uploads/WBNK_Stellungnahme_Weiterentwicklung_ANK.pdf, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Hübner, R. (2025): Status-quo der Umsetzung der Agroforstwirtschaft in Deutschland, Hemmnisse bei der Umsetzung sowie Handlungsempfehlungen, Gutachten 25/02 im Auftrag des Wissenschaftlichen Beirats für Natürlichen Klimaschutz (WBNK). ISBN 978-3-949245-36-7. Wissenschaftlicher Beirat für Natürlichen Klimaschutz (Hg.). Online verfügbar unter https://www.wissenschaftlicher-beirat-fuer-natuerlichen-klimaschutz.de/wp-content/uploads/20251015_WBNK-Gutachten_Agroforstwirtschaft.pdf, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Kay, S.; Rega, C.; Moreno, G.; Herder, M. den; Palma, J. H.; Borek, R.; Crous-Duran, J.; Freese, D.; Giannitsopoulos, M.; Graves, A.; Jäger, M.; Lamersdorf, N.; Memedemin, D. et al. (2019): Agroforestry creates carbon sinks whilst enhancing the environment in agricultural landscapes in Europe. In: *Land Use Policy* 83, S. 581–593. DOI: 10.1016/j.landusepol.2019.02.025.

Koch, J.; Elsgaard, L.; Greve, M. H.; Gyldenkerne, S.; Hermansen, C.; Levin, G.; Wu, S.; Stisen, S. (2023): Water-table-driven greenhouse gas emission estimates guide peatland restoration at national scale. In: *Biogeosciences* 20 (12), S. 2387–2403. DOI: 10.5194/bg-20-2387-2023.

Kroiher, F.; Oehmichen, K. (2010): Das Potenzial der Totholzakkumulation im deutschen Wald | Potential of deadwood accumulation in German forests. In: *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 161 (5), S. 171–180. DOI: 10.3188/szf.2010.0171.

Martens, M.; Karlsson, N. P.; Ehde, P. M.; Mattsson, M.; Weisner, S. E. (2021): The greenhouse gas emission effects of rewetting drained peatlands and growing wetland plants for biogas fuel production. In: *Journal of environmental management* 277, S. 111391. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.111391.

Paul, C.; Weber, M.; Mosandl, R. (2009): Kohlenstoffbindung junger Aufforstungsflächen, Literaturstudie. Unter Mitarbeit von Karl Gayer Institut in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Waldbau der Technischen Universität München. Online verfügbar unter https://karlgayer.de/Forschung_Aufforstung.pdf, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Pfeiffer, M.; Hennenberg, K.; Böttcher, H. (2026): Klimasensitive Waldmodellierung. Szenarienanalyse zu Klimaschutzpotenzialen im Wald – Bewertung der Ergebnisse des CARESupreme-Szenarios (Climate Change). Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau. DOI: <https://doi.org/10.60810/openumwelt-8354>

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 (Hg.). Berlin, Darmstadt. Online verfügbar unter https://www.oeko.de//fileadmin/oekodoc/DIFENs_Sachbericht_Waldmodellierung.pdf, zuletzt geprüft am 25.09.2025.

Protze, D.; Schulz, C.; Hilgenfeld, M.; Spathelf, P.; Dunger, S., Wellbrock, N., Luthard, V. (in Veröffentlichung): Waldmoore: ihr Beitrag für den Biodiversitäts- und Klimaschutz (WaMoBiKi). Katalog der Bestandestypen - Steckbriefe (BfN-Schriften, 202). Bundesamt für Naturschutz (BfN), Thünen-Institut für Waldökosysteme und Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde. Eberswalde (Hg.).

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 Working Paper, 268). Thünen-Institut (Hg.). Braunschweig.

Rock, J.; Badeck, F.-W.; Harmon, M. E. (2008): Estimating decomposition rate constants for European tree species from literature sources. In: Eur J Forest Res 127 (4), S. 301–313. DOI: 10.1007/s10342-008-0206-x.

Thünen-Institut (2022a): Vierte Bundeswaldinventur - Ergebnisdatenbank, <https://bwi.info>, Aufruf am: 11.08.2025, Auftragskürzel: 43V1PI_L200of_1222, Archivierungsdatum: 2024-8-2 16:55:5.127, Überschrift: Veränderung des Totholzvorrats [m³/ha] nach Eigentumsart und Land Filter: Baumartengruppe Totholz=Laubbäume ohne Eiche ; Periode=2012-2022. Thünen-Institut (Hg.).

Thünen-Institut (2022b): Vierte Bundeswaldinventur - Ergebnisdatenbank, <https://bwi.info>. Thünen-Institut (Hg.).

Tiemeyer, B.; Freibauer, A.; Borraz, E. A.; Augustin, J.; Bechtold, M.; Beetz, S.; Beyer, C.; Ebli, M.; Eickenscheidt, T.; Fiedler, S.; Förster, Christoph, Gensior, Andreas; Giebels, M.; Glatzel, S. et al. (2020): A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. In: Ecological Indicators 109. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105838>.

UBA - Umweltbundesamt (Hg.) (2025): Submission under the United Nations Framework Convention 2025, National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990 – 2023. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://unfccc.int/sites/default/files/resource/NID_Germany_2025.pdf?download, zuletzt geprüft am 16.05.2025.