

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



1 Hintergrund

Die **Klima- und Biodiversitätskrise** stellt die Gesellschaft vor existenzielle Herausforderungen. Der Landnutzungssektor nimmt global wie auch national eine Schlüsselrolle in diesen miteinander verbundenen Krisen ein.

Bei der Planung und Umsetzung der Maßnahmen muss berücksichtigt werden, dass die Wirkung einer **zeitlichen Dynamik** unterliegt, es **Wechselwirkungen** zwischen Maßnahmen gibt und die Umsetzung Auswirkungen auf andere Ziele haben kann. Es bestehen für verschiedene Landnutzungsformen aber auch **Synergien**, die realisiert werden können, wenn Klimaschutz, Biodiversitätsschutz und Klimaanpassung zusammengedacht werden.

Im März 2023 beschloss die Bundesregierung das **Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz** (ANK, BMUV 2023), dessen Ziel es ist, den Zustand von Ökosystemen und deren Klimaschutz- und Biodiversitätsleistung deutlich zu verbessern. In der aktuellen Finanzplanung 2025-2028 stehen für die kommenden Jahre 3,2 Milliarden EUR zur Verfügung. In 10 Handlungsfeldern sollen daraus einzelne Maßnahmen zum Natürlichen Klimaschutz finanziert bzw. gefördert werden.

Im Rahmen des Vorhabens „Szenarienbasierte Analyse der THG-Reduktions- und Senkenpotenziale für den Natürlichen Klimaschutz im Sektor LULUCF und Identifizierung der Synergien mit Biodiversitäts- und anderen Umweltzielen“ (FKZ: 3723 NK 901 0) im Auftrag des Umweltbundesamts wurden im Rahmen eines Workshops Synergien zwischen Klima- und Biodiversitätsschutz im LULUCF-Sektor diskutiert. Dieses Politikpapier liefert eine kurze Bestandsaufnahme zu ausgewählten Themenkomplexen des Wald-, Boden- und Moorklimaschutzes im Kontext des Natürlichen Klimaschutzes. Es fasst erste Ergebnisse des Arbeitspakets 1 zusammen, dessen Ziel es ist, auf Basis einer Literaturrecherche Erkenntnisgewinne herauszuarbeiten, welche Flächenkategorien wie genutzt werden sollten, um Klima- und Naturschutz in Einklang zu bringen und dabei möglichst Synergien zu schaffen. So werden z.B. positive Auswirkungen eines verstärkten Naturschutzes auf die Resilienz von Ökosystemen gegenüber Klimawandelauswirkungen und dessen Beitrag zur Klimawandelanpassung betrachtet.

2 Wechselwirkungen zwischen Biodiversität und Kohlenstoffspeicherung

2.1 Mineralisches Grünland

2.1.1 Die Rolle im ANK

Das ANK berücksichtigt die Rolle des Grünlands als Kohlenstoffspeicher und für die Biodiversität vor allem für die Ökosysteme Moore und Auen. Die Rolle des extensiven Grünlands für die Förderung der Biodiversität ist unter dem Punkt Wildnis und Schutzgebiete adressiert. Konkrete Maßnahmen zur Förderung von mineralischem Grünland außerhalb von Schutzgebieten und Auen sind im ANK nicht enthalten.

Im Rahmen der EU-Agrarpolitik wird die extensive Grünlandbewirtschaftung unter den Öko-Regelungen in der 1. Säule gefördert. Darüber hinaus haben die Bundesländer in der 2. Säule Maßnahmen zur Förderung von Grünland aufgesetzt.

Derzeit werden ca. 4,7 Mio. ha Grünland landwirtschaftlich genutzt. Der Anteil des Grünlands mit hohem Naturschutzwert (High Nature Value Farmland (HNV) der Qualitätsstufe I) liegt bei 1,6%, in die Qualitätsstufe II fallen ca. 2,2% und die Qualitätsstufe III ca. 2,6% des Grünlands (BfN 2023).

2.1.2 Auswirkungen der Bewirtschaftungsintensität

Die Ergebnisse der Literaturanalyse deuten darauf hin, dass eine mittlere Nutzungsintensität¹ sowohl für die Biodiversität als auch für den Bodenkohlenstoffspeicher als Optimum angesehen werden kann (Ward et al. 2016; Böhner et al. 2016; Yang et al. 2019). Allerdings gilt es zu beachten, dass die Art des Bewirtschaftungsregimes auf ober- und unterirdische Biodiversität und Kohlenstoffspeicherung unterschiedliche Auswirkungen haben kann (Burton et al. 2022). Im Grünland sind vor allem die Böden als Kohlenstoffspeicher relevant: Die meisten Böden sind noch nicht gesättigt und können weiteren Kohlenstoff speichern. Im Rahmen der Bodenzustandserhebung werden für mineralische Grünlandböden mittlere Vorräte von 88 t/ha für den Oberboden bis zu einer Tiefe von 30 cm angegeben, was sich durch eine Bilanzierungstiefe bis in einen Meter Tiefe auf 135 t/ha erhöht. Somit befinden sich im Schnitt um die 35% des organischen Kohlenstoffs im Unterboden. Hierbei gilt es zu beachten, dass sich je nach Bodentyp starke Unterschiede im Humusgehalt ergeben können, da beispielsweise tonige Böden höhere Humusgehalte erreichen als sandige (Thünen-Institut 2018). Die höchsten Kohlenstoffvorräte finden sich häufig bei moderater bis mittlerer Bewirtschaftungsintensität. Vor allem in den Oberböden (bis 20 cm) können bei mittlerer Bewirtschaftungsintensität ca. 20% mehr Kohlenstoff speichern als in einem intensiv genutzten Grünland. Umtriebsbeweidung, d.h. ein Weidemanagement, bei dem Tiere zwischen verschiedenen Weideflächen zeitlich rotiert werden und Parzellen nach dem Abweiden eine Ruhephase durchlaufen, führt im Vergleich zu Dauerbeweidung zu deutlich mehr Bildung von organischem Bodenkohlenstoff (SOC, Ward et al. 2016; Bai und Cotrufo 2022). Starke Düngung, hohe Beweidungsintensität und häufige Mahd führen zu einer Verarmung der Grünland-Artengesellschaften, schwach entwickelter Wurzelmasse, und reduzierter Kohlenstoffspeicherung im Boden. Zudem ergeben sich nachteilige Effekte für die Bodenstruktur durch Verdichtung und Zerstörung von Krumenstrukturen, die für die Stabilisierung organischer Kohlenstoffverbindungen im Boden

¹ Nach Ward et al. 2016 z.B. (z.B. 25-50 kg N ha⁻¹ a⁻¹, Besatz bis zu 1.5 LU ha⁻¹, 1 Schnitt im Mittsommer, Beweidung im Spätsommer/Herbst)

wichtig sind. Intensive Bewirtschaftung und hoher Nährstoffeintrag wirkt sich zudem negativ auf Insektenvielfalt und Vorkommen seltener Insektenarten aus. Eine zeitlich variable Nutzungsintensität über verschiedene Jahre kann die Multidiversität auf Ökosystemebene, insbesondere die der seltenen Arten, fördern.

2.1.3 Resilienz und Anpassung an den Klimawandel

Höhere Temperaturen und steigende atmosphärische CO₂-Konzentrationen haben das Potenzial, wachstumsfördernd zu wirken, jedoch können saisonale Niederschlagseinbußen diese wachstumsfördernden Effekte wieder reduzieren (Hopkins und Del Prado 2007). Vermehrt und mit stärkerer Intensität und Dauer auftretende Dürre ist ein Klimarisiko, das sowohl die Produktivität von Grünland als auch seine Resistenz und Resilienz beeinflussen kann. Von den Auswirkungen besonders stark betroffen ist artenarmes, nährstoffreiches, intensiv genutztes Grünland. Hohe Nährstoffbelastung bzw. -übersorgung führt zu funktionell verarmten Grünland-Gemeinschaften, die Trockenstress während Dürreperioden wenig entgegenzusetzen haben. Unter Dürrebedingungen besonders vorteilhaft sind artenreiche Grünlandgemeinschaften, die funktionell vielfältig sind und durch Ressourcenkomplementarität sowie Vorhandensein dürrer-unempfindlicherer Arten trockenheitsbedingte Ausfälle reduzieren können (Hofer et al. 2016).

Artenreiche, funktionell vielfältige Grünlandflächen und vor allem Grünlandböden können als Kohlenstoffspeicher einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten, da sie im Vergleich zu Wald weniger störungsanfällig sind und eine gute Resistenz und Resilienz gegenüber Dürreereignissen aufweisen (Lüscher et al. 2022). Eine Umwandlung von Grünland zu Wald aus Sicht des Klimaschutzes bringt daher in vielen Fällen keinen großen Vorteil und kann zudem die Offenland-Diversität gefährden.

2.1.4 Weitere Risiken

Überflutung im Grünland kann zu Wachstums- und Ertragseinbußen sowie verminderter Kohlenstofffestlegung führen, da sowohl Wassersättigung im Boden als auch Wasserüberstau physiologisch negative Auswirkungen auf terrestrische Arten haben (Ploschuk et al. 2017; Tong et al. 2021). Dies ist insbesondere bei Überflutung während der aktiven Vegetationsperiode bedeutsam. Allgemein ist artenreiches Grünland deutlich resilienter gegen Überflutungsauswirkungen als Ackerland (Husse et al. 2017). Zuwachsrückgänge und Mortalitätsrisiko sind artabhängig und zudem von Häufigkeit und Dauer der Überflutungsereignisse beeinflusst. Je nach Nährstoffversorgung des Grünlandbodens und dem Nährstoffgehalt im Überflutungswasser kann es sowohl zu Nährstoffein- als auch -austrägen kommen. Zudem können anoxische Bodenbedingungen zur verstärkten Freisetzung von Lachgas (N₂O) durch Denitrifikation führen (Huber et al. 2012). Kurzfristig kann es zu einer verstärkten Konkurrenz zwischen Mikroben und Pflanzen um Nährstoffe kommen. Trotz dieser Veränderungen zeigen viele Bodenmikroben Anpassungen an periodische Überflutungen, und die mikrobiellen Gemeinschaften weisen oft eine hohe Resilienz auf, sodass sie sich nach dem Rückgang des Hochwassers erholen können (Bogati und Walczak 2022).

Bodenabspülungen sollten ggf. ausgeglichen werden, Sedimentaufträge müssen je nach Mächtigkeit, Sedimentbeschaffenheit, und unterliegendem Boden ggf. abgetragen oder eingearbeitet werden. Als zusätzliches Problemfeld ist das Potenzial für Keim- und Schadstoffbelastungen sowie erhöhtes Risiko für wassergebundene Weideparasiten hervorzuheben, was ggf. situationsabhängige Eingriffsmaßnahmen erforderlich machen kann (Poglayen et al. 2023).

Durch den Klimawandel in den kommenden Jahrzehnten wird eine deutliche Zunahme invasiver Arten erwartet (Kleinbauer et al. 2010; IUCN 2021). **Invasive Arten** verringern die Resilienz natürlicher Ökosysteme gegenüber Störungen sowie dem Klimawandel. Zahlreiche Beispiele belegen, dass vor allem gebietsfremde wärmeliebende oder frostempfindliche Arten durch die Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland eine stärkere Verbreitung finden (Sittaro et al. 2023). Die Ziele des ANK können durch die Unsicherheiten, die sich aus der erwarteten Zunahme von invasiven Arten in diversen Ökosystemen ergeben, teilweise untergraben werden und ihr Erreichen wird komplexer. Die Auswirkungen von invasiven Arten sind generell negativ für die Biodiversität und erschweren die Bewirtschaftung (Poland et al. 2021). Bei Biodiversitätsmaßnahmen sollten Ausnahmeregelungen für die Bekämpfung von invasiven Arten in Betracht gezogen werden.

2.2 Agroforstsysteme

2.2.1 Die Rolle im ANK

Agroforstsysteme sind eine sehr alte Form der Landnutzung, bei der auf einer Parzelle sowohl einjährige Kulturpflanzen und/oder Tiere zusammen mit mehrjährigen Gehölzen integriert werden. Nach Öko-Regelungen der Gemeinsamen EU-Agrarpolitik (GAP) 2023-2027 sollte der Flächenanteil der Gehölze von 2 bis 35 % reichen (BMEL 2023). Es existieren unterschiedliche Nutzungsformen, wobei die Kurzumtriebsplantagen und Streuobstwiesen mit Tierbeweidung wohl zu den bekanntesten gehören. Im ANK werden Agroforstsysteme als Maßnahme zur Kohlenstoffspeicherung im Boden und der Gehölzbiomasse genannt und es wird auf die zahlreichen weiteren Ökosystemleistungen eingegangen. Insbesondere die Strukturanreicherung der Agrarlandschaft, die sich positiv auf die Biodiversität in der Landschaft auswirkt, wird hervorgehoben. In diesem Zusammenhang werden auch der Erhalt und die Neuanlage von permanenten Baumreihen und Hecken genannt. Insgesamt soll die Strukturanreicherung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen laut ANK verstärkt gefördert werden.

2.2.2 Wirkungen

Für die Kohlenstoffeinspeicherungen in der ober- und unterirdischen Gehölzbiomasse können auf der Gehölzfläche durchschnittlich -17 t CO₂ pro ha und Jahr erzielt werden (Tsonkova und Böhm 2020). Die Klimaschutzbeiträge von Agroforstsystemen können aber sehr stark schwanken, was mit ihrer jeweiligen Ausgestaltung und Bewirtschaftungsweise zusammenhängt und letztlich auch vom Standort abhängig ist. So werden besonders hohe Potenziale durch sehr schnellwüchsige Baumarten mit hohem Flächenanteil auf ertragreichen Standorten erreicht. Allerdings sind die Opportunitätskosten auf produktiven Flächen im Vergleich zum Feldfruchtanbau besonders hoch. Auf produktiven Standorten sollte die Produktion von Lebensmitteln präferiert werden, um unerwünschten Verlagerungseffekten entgegenzuwirken.

Verschiedene Studien konnten aber auch zeigen, dass Agroforstsysteme als mehrjährige Systeme, die Gehölze und krautige Arten kombinieren, von vorteilhaften biologischen Interaktionen profitieren können. Unter anderem können Interaktionen zwischen Mikroorganismen und Pflanzenarten, insbesondere jene zwischen arbuskulären Mykorrhizapilzen (AM-Pilzen) und Wurzeln, die Koexistenz von Bäumen und krautigen Pflanzen begünstigen (Carvalho et al. 2010). Durch die Etablierung von Agroforstsystemen lassen sich so insbesondere auf Grenzertragsflächen positive Effekte für den Anbau von Ackerkulturen erzielen. Diese beruhen auf den bereits oben erwähnten zahlreichen Ökosystemleistungen, die

die Gehölze auf der Ackerfläche bereitstellen. Beispielsweise wirken sie stabilisierend auf das Mikroklima und tragen zur vermehrten Humusbildung und zum Schutz vor Bodenerosion bei.

Die Gehölzstrukturen bieten zudem Lebensräume für verschiedene Tier- und Pflanzenarten, vor allem in sehr gehölzarmen Landschaften. Des Weiteren hat auch die Intensität der Bewirtschaftung einen wesentlichen Einfluss auf die Biodiversität in Agroforstsystemen. So sollte auf Pestizideinsatz verzichtet sowie auf floristische Vielfalt und möglichst lange Umtriebszeiten geachtet werden. Ein überwiegender Anteil von heimischen, standortgerechten Gehölzarten ist ebenfalls vorteilhaft, da die heimische Fauna diese besser als Nahrungsressource nutzen kann. Negative Effekte auf die Biodiversität durch Agroforstsysteme können dann entstehen, wenn sie zu Lasten des Schutzes von Offenlandlebensräumen wie extensivem Grünland angelegt werden.

2.3 Organische Böden

2.3.1 Rolle im ANK

Das ANK soll dazu beitragen, dass mit Maßnahmen zum Moorboden im Jahr 2030 das THG-Minderungsziel der Nationalen Moorschutzstrategie von 5 Mio. t CO₂-Äq. erreicht wird. Hier spielt die Bund-Länder-Zielvereinbarung zum Klimaschutz durch Moorbodenschutz aus dem Jahr 2021 eine wichtige Rolle. Im Zentrum der Vereinbarung stehen Maßnahmen zur großflächigen Wiedervernässung entwässerter Moorböden.

2.3.2 Wirkungen

In Deutschland befanden sich im Jahr 2022 323.800 ha Ackerland und 968.300 ha auf organischen Böden (UBA 2024). Organische Böden umfassen Moorfolgeböden und Anmoore. Die trockene landwirtschaftliche Nutzung von organischen Böden führt zu jährlichen Emissionen von über 38 Mio. t CO₂-Äq. Zudem werden auf 17.400 ha Torfabbaufäche 2,4 Mio. t CO₂-Äq. pro Jahr emittiert (UBA 2024). Mit Maßnahmen zum Moorbodenschutz können hohe THG-Minderungen von über 30 t CO₂-Äq. pro ha und Jahr erreichen. Etwa 85 % dieser organischen Böden werden als vernässbar angenommen, für die übrigen Flächen bestehen insbesondere durch bestehende Infrastruktur (Gebäude, Straßen etc.) Beschränkungen, den Wasserstand anzuheben. Die Kosten zum Moorbodenschutz durch Wiedervernässung setzen sich aus Investitions- und Betriebskosten sowie Opportunitätskosten aufgrund der Aufgabe der vorherigen landwirtschaftlichen Nutzung zusammen. Erfolgt nach der Vernässung organischer Böden eine Nutzung als Paludikultur und/oder als Moor-PV, können durch die neue Einnahmequelle die Opportunitätskosten verringert werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass für hohe Anteil der landwirtschaftlich genutzten organischen Böden die CO₂-Vermeidungskosten zwischen 30 und 100 €/tCO₂-Äq. liegen. Zum Vergleich: Der Preis für CO₂-Emissionsrechte (EU-ETS) notierte in der ersten Jahreshälfte 2024 zwischen 52 und 80 €/t CO₂. Laut dem Projektionsbericht der Bundesregierung (Harthan et al. 2024) ist mit bestehenden und geplanten Maßnahmen zum Moorbodenschutz bis zum Jahr 2030 eine THG-Minderung von lediglich von 2,2 Mio. t CO₂-Äq. Gegenüber der angestrebten THG-Minderung von 5 Mio. t CO₂-Äq. durch Moorbodenschutz ist eine Zielverfehlung von 2,8 Mio. t CO₂-Äq. zu erwarten.

2.3.3 Synergien und Risiken

Eine Wiedervernässung von Acker- und Grünlandflächen führt aus Sicht der biologischen Vielfalt in vielen Fällen zu einer Aufwertung. Dies ist aber im Einzelfall zu prüfen, da gerade bei bestehendem artenreichem Grünland bei der Wiedervernässung ein Verlust an wertgebenden Arten auftreten kann. Als ein weiteres Risiko ist zu nennen, dass ausgedehnte Trockenperioden

zu außerplanmäßig niedrigen Wasserständen und so zu verringerten THG-Minderungen führen können. Der Blick sollte aber nicht nur auf die THG-Bilanz gerichtet werden. Da vernässte Moorböden größere Wassermengen speichern, können sie in Trockenperioden auf Landschaftsebene ausgleichend auf den Wasserhaushalt wirken, und so das Risiko für Ernteausfälle mindern und zur Resilienz der Landwirtschaft beitragen. Auch kühlende Effekte durch Verdunstung eines Teils des Wasserkörpers können erwartet werden und einen Beitrag zur Klimaanpassung leisten.

2.3.4 Hemmnisse

Trotz politischer Zielsetzungen und Förderprogrammen liegen zahlreiche Hemmnisse vor, weshalb der Moorbodenschutz nur langsam voranschreitet. Zu nennen sind z.B.: hohe Zeit- und Personalintensität von Genehmigungsverfahren, Mangel an Fachpersonal, das Fehlen gesetzlicher CO₂-Minderungsziele, die durch Moorbodenschutz zu erreichen sind, die fehlende Verankerung des Moorbodenschutzes in der Raumordnung sowie die fehlende Bereitschaft von Eigentümer:innen Flächen bereitzustellen.

2.4 Waldbewirtschaftung und Waldmehrung

2.4.1 Rolle im ANK

Wälder spielen eine wesentliche Rolle im Klimaschutz, indem sie atmosphärisches CO₂ durch die Photosynthese der Bäume aufnehmen und Kohlenstoff über lange Zeiträume in ihrer lebenden und toten Biomasse sowie im Waldboden speichern. Gleichzeitig sind Wälder von zentraler Bedeutung für den Erhalt der heimischen Biodiversität. Im ANK wird besonders auf die Bedeutung des Schutzes alter, naturnaher Buchenwäldern hingewiesen, für deren Erhalt Deutschland als globaler Verbreitungsschwerpunkt eine besondere Verantwortung trägt. Das ANK sieht die Bereitstellung finanzieller Anreize vor, um zusätzliche Leistungen im Klima- und Biodiversitätsschutz in privaten und kommunalen Wäldern zu fördern. Es unterstreicht die Wichtigkeit des Waldumbaus hin zu klimaresilienten Laubmischwäldern, um die Widerstandsfähigkeit der Wälder gegen die Auswirkungen des Klimawandels zu stärken. Hierfür werden zusätzliche finanzielle Mittel in Betracht gezogen. Eine weitere Maßnahme des ANK ist die Mehrung der Waldfläche in Deutschland. Diese soll Kohlenstoffvorräte aufbauen und die Biodiversität fördern, indem sie zur Erhöhung der Strukturvielfalt in der Landschaft und zur Vernetzung von Biotopen beiträgt.

2.4.2 Synergien von Klima- und Biodiversitätsschutz

Der Schutz und Erhalt vorratsreicher, naturnaher Buchenwälder ist entscheidend für den Erhalt der Kohlenstoffspeicherung im Wald. Jedoch können hierzu auch andere naturnahe Laub- und Laubmischwaldökosysteme beitragen (Meyer et al. 2023). Der Schutz oder die Extensivierung von Wäldern mit hohem zukünftigen Kohlenstoffspeicherpotenzial und geringer Klimawandelvulnerabilität ist für den Klimaschutz wesentlich. Der zunehmende Vorratsaufbau dieser Wälder reduziert atmosphärisches CO₂. Mittel- und langfristig profitieren auch viele an waldbundene Arten, insbesondere durch die Förderung von Altholz- und Totholzstrukturen in bewirtschafteten Wäldern. Abgestorbene Biomasse trägt zur Humusbildung bei und speichert dadurch Kohlenstoff im Waldboden, während Humus zudem die Wasserspeicherkapazität des Waldes erhöht. Wälder mit geschlossenem Kronendach wirken kühlend auf ihre Umgebung und das feucht-schattige Waldinnenklima schützt zusätzlich vor Austrocknung.

Der Schutz oder die Extensivierung von Wäldern kann das Potenzial für die Holzrohstoffproduktion verringern. Dieser Konflikt bzw. mögliche Kompromisse sollten je nach

Standort und regionalem Bedarf sorgfältig abgewogen werden. Zum Beispiel kann durch möglichst langlebige stoffliche Nutzung und gleichzeitige Verringerung der energetischen Nutzung von Waldholz dieser Zielkonflikt wesentlich abgemildert werden.

In Folge von Sturmereignissen im Jahr 2017, gefolgt von extremen Trockenperioden von 2018 bis 2020 und aufgrund der Ausbreitung von Borkenkäfern kam es zu einer großflächigen Schädigung und zum Absterben von Bäumen, insbesondere bei der Fichte. Dies führte zu einem Aufkommen von rund 300 Mio. m³ Kalamitätsholz (Holz, das in Folge von Schadereignissen anfällt) in den Jahren 2018 bis 2023 (BMEL 2024). Dies zeigt die erhöhte Vulnerabilität von nicht standortgerechten Beständen mit geringer Baumartendiversität gegenüber zunehmenden Extremereignissen im Klimawandel. Der daraus resultierende Verlust an Waldsenke in Deutschland ist beträchtlich, wie das plötzliche erhöhte Holzaufkommen zeigt. Der Waldumbau hin zu resilienteren Wäldern schützt langfristig die Senkenleistung, auch wenn diese durch die Entnahme von fehlbestockten Beständen, z.B. Fichten, zunächst abnimmt. Ein Baumartenwechsel bietet Potenziale für die Waldbiodiversität, wenn auf eine naturnahe Baumartenzusammensetzung und ein entsprechend an Biodiversitätsziele angepasstes Management geachtet wird. Zudem erhöhen naturnahe Alters- und Baumartenstrukturen die Resilienz von Wäldern gegenüber Störungen und schaffen Synergien für die Klimaanpassung.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Wirkung von Maßnahmen des natürlichen Klimaschutzes im Wald auf die CO₂-Speicherung, Waldbiodiversität und andere Ökosystemleistungen (ÖSL)

Maßnahme	Wirkung CO ₂ -Speicherung im Wald	Wirkung auf Waldbiodiversität	Wirkung auf weitere Ökosystemleistungen	Unsicherheiten
Vorratsaufbau und Schutz von Laub- und Mischwäldern	Schneller Aufbau und Erhalt	Positiv, wenn in naturnahen Wäldern	Kurz bis mittelfristig verringertes Holzaufkommen; höhere Wasserspeicherkapazität; Kühlungseffekt	Zunehmende Störungen können die Langfristigkeit gefährden
Waldumbau	Kurzfristiger Rückgang; mittel- bis langfristiger Aufbau	Positiv, wenn mehr naturnahe Mischbestände	Kurzfristiges erhöhtes Holzaufkommen	Baumartenwahl in Zeiten des Klimawandels
Waldmehrung	Mittel- bis langfristiger Aufbau	Positiv, bei entsprechendem Management und Flächenauswahl	Förderung der typischen Wald-ÖSL insbesondere auf Flächen mit geringem Waldanteil	Flächenverfügbarkeit und Baumartenwahl

Quelle: Eigene Darstellung; Öko-Institut

Die Etablierung neuer Waldflächen, insbesondere auf Ackerflächen, bietet mittel- und langfristig Vorteile für den Klimaschutz gegenüber dem Feldfruchtanbau. Diese beruhen auf einer kontinuierlichen Zunahme der lebenden Biomasse und des Bodenkohlenstoffs. Synergien mit dem Biodiversitätsschutz entstehen, wenn standortangepasste und naturnahe Baumarten gefördert werden. Die Förderung von Sukzession unterstützt durch ihre unterschiedlichen Stadien diverse Arten. Bei der Flächenauswahl sollte der Schutz von ökologisch wertvollen Offenlandbiotopen in der Landschaft Priorität gegenüber der Waldmehrung haben. Ein gezielter Waldbiotopverbund, wie im ANK hervorgehoben, ist essenziell für die Wanderung von Arten und wichtig für deren Anpassung an den Klimawandel. Wie bei Agroforstsystemen ist bei der

Waldmehring die Konkurrenz zum Anbau von Lebens- und Futtermitteln, insbesondere auf produktiven Standorten, bei der Flächenwahl zu berücksichtigen.

2.4.3 Buche im Klimawandel

Bereits seit den 1980er Jahren weist die Buche auf trockeneren, wärmeren Standorten insbesondere in Tieflandlagen Deutschlands sowie auf bodenbedingt schwierigen Standorten Zuwachseinbußen auf, während Zuwachssteigerungen vor allem in höheren, nicht-wasserlimitierten Lagen zu verzeichnen sind. In den extremen Trockenjahren 2018 – 2020 erlitten zahlreiche Bestände ausgeprägte Schäden und Kronenverlichtungen sowie erhöhte Mortalität. Im Gegensatz zur Fichte treten die Schädigungen bei Buchen eher graduell auf und äußern sich in zunehmenden Vitalitätsverlusten und Anfälligkeit für Befall mit sekundären Schadorganismen. Wiederholte Dürre führt zu kumulativen Schäden und einer Sensibilisierung mehrfach betroffener Bäume. Innerartlich vorhandene genetische Variabilität lässt eine begrenzte Kapazität zur Anpassung an trockenere und wärmere Bedingungen vermuten. Im Reinbestand bietet die Buche wenig Raum für Habitatspezialisten und ist verglichen mit anderen Waldgesellschaften eher unterdurchschnittlich artenreich, so dass eine Durchmischung mit anderen Baumarten wie Eiche, Hainbuche, Linde und weiteren Mischbaumarten diversitätsfördernd wirken kann. Auf wärmebegünstigten Standorten kann Waldumbau zu Mischbeständen mit wärmeliebenden, trockenheitsangepassten Arten wie Edelkastanie, Zerr- und Flaumeiche, Schwarzkiefer und Atlaszeder erfolgen. Biodiversitätsrelevante Alt- und Zerfallsphasen in ungenutzten Buchenwäldern sollten künftig stärker gefördert werden, um eine Zunahme von Habitatbaumstrukturen und Totholz zu erzielen.

2.4.4 Kohlenstoff in Waldböden

Waldbewirtschaftung wirkt auf verschiedene Weise auf den Bodenkohlenstoff, überwiegend aber durch die Menge und Qualität der Kohlenstoffinputs über die Streu. Deshalb ist davon auszugehen, dass größere Änderungen in Masse und Qualität der Waldbiomasse (Baumartenzusammensetzung und Vorrat) längerfristig auch auf den Boden wirken.

Bodenkohlenstoffänderungen können mit etablierten empirischen oder auch prozess-basierten Modellen abgebildet werden und spielen auch die THG-Berichterstattung in EU-Ländern eine zunehmende Rolle.

2.4.5 Waldumbau und Holzverwendung

Wälder mit führender Baumart Fichte oder Kiefer machen in Deutschland fast die Hälfte der Waldfläche aus und sind in den meisten Fällen naturferne Bestände. Die Entwicklung von Laubmischwäldern zur Anpassung der Wälder müsste in Deutschland jährlich auf 95.000 Hektar stattfinden (Bolte et al. 2021). Durch eine Reihe sehr trockener Jahre von 2018 bis 2020 haben vor allem Fichtenbestände in tieferen Lagen schwere Schäden erlitten. Insgesamt wurden in den Jahren 2018 bis 2022 233 Mio. m³ Kalamitätsholz verzeichnet². Zum Vergleich: In den Jahren 2014 bis 2017 lag die Menge an Kalamitätsholz bei 38,5 Mio. m³.

Diese Zahlen verdeutlichen, dass das zukünftige Holzaufkommen bei allen Holzarten in Deutschland deutlich disruptiver und gleichzeitig ggf. qualitative minderwertiger ausfallen kann. Langfristig ist zudem eine Änderung der Holzartenzusammensetzung für in Deutschland

² <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Wald-Holz/aktuell-holzeinschlag.html>

produziertes Holz in Richtung mehr Laubholz zu erwarten. Dies wird auch Implikationen für die Kohlenstoffspeicherung in Waldbiomasse und Holzprodukten nach sich ziehen.

Kohlenstoff in Waldholzbiomasse und in Holzprodukten sind eng miteinander verbunden. Der Entzug von einer Tonne Kohlenstoff aus Baumbiomasse entspricht in etwa einer Veränderung des HWP von 0,25 t Kohlenstoff (UBA 2024). Die Verluste von 75 % des Biomassekohlenstoffs sind auf Holzbiomasseanteile zurückzuführen, die bei der Ernte nicht verwertet werden können (z. B. Wurzeln, Stubben, Äste, nichtverwertbare Stammteile etc.). Bei der weiteren Verarbeitung des Holzes treten Verluste entlang des Prozesskette der Rundholzverarbeitung zu Halbfertigprodukten wie Schnittholz auf.

Die Verweildauer des Kohlenstoffs in Produkten hängt stark von der Art der Verwendung bzw. der Art der Holzprodukte ab. Während Papier und Pappe den Kohlenstoff im Mittel zwei Jahre lang binden, gehen die IPCC-Richtlinien bei Platten und ähnlichen Produkten von 25, bei Sägeholzprodukten von einer Verweildauer von 35 Jahren im Mittel aus.

Eine Sensitivitätsanalyse von Reise et al. (2024) zeigt, dass eine vermehrte Nutzung von Holz in Form von langlebigen Holzprodukten den Kohlenstoffspeicher in diesen deutlich vergrößern kann. Dies sollte allerdings mit einer verringerten Nutzung von Energieholz und von kurzlebigen Holzprodukten verbunden werden. Führt die verstärkte Produktion von langlebigen Holzprodukten zu einer Erhöhung der Entnahme aus dem Wald, ist der Gesamteffekt der Wald- und Holzspeicherleistung negativ. Da Energieholz direkt aus dem Wald entnommen wird, ist eine verstärkte Verschiebung in langlebige Produkte besonders dann sinnvoll, wenn Aussicht besteht, dass der Kohlenstoff nicht lange im Wald verbleiben würde, d.h. der Kohlenstoffvorrat im Wald instabil ist.

Insgesamt machen diese Überlegungen deutlich, dass das Potenzial der vermehrten Speicherung von Kohlenstoff in Holzprodukten durch eine Erhöhung der Holzproduktion, also der Ernte von Holz, begrenzt ist. Tatsächlich überwiegen im Fall der Energie- und Papierholzernte die negativen Effekte durch den Verlust von Holzbiomasse im Wald. Durch zukünftig verringerte Substitutionswirkung mit fortschreitender Dekarbonisierung des Energie- und Industriesektors verstärken sich diese Effekte.

3 Wechselwirkungen zwischen Klima- und Biodiversitätsschutz

Die Analyse verschiedener Landnutzungsformen und Maßnahmen zeigt ein breites Spektrum an Wirkungen für den Klima- und Biodiversitätsschutz sowie für die Anpassung an den Klimawandel. Ein effektiver natürlicher Klimaschutz zielt nicht isoliert auf einzelne Maßnahmen, sondern strebt **Synergien** zwischen Klima- und Biodiversitätsschutz sowie zur Klimaanpassung an.

Durch die integrative Betrachtung von Klimaschutz, Biodiversitätserhaltung und -förderung und Klimaanpassung können negative Auswirkungen auf andere Schutzgüter und Ökosystemleistungen minimiert werden. Ein illustratives Beispiel hierfür ist die Anpassung der Waldbewirtschaftung: Durch eine gezielte Reduktion der Bewirtschaftungsintensität in Gebieten mit hohem Biodiversitätspotenzial (z.B. naturnahe Laubholzbestände) bei gleichzeitiger Optimierung der Holznutzung in anderen Gebieten (labile Fichtenbestände) können Kohlenstoffspeicher im Wald stabilisiert und zudem negative Effekte auf das Holzaufkommen und die damit verbundene Kohlenstoffspeicherung in Holzprodukten abgemildert werden. Dabei muss im Rahmen der Holzproduktnutzung vor allem dort angesetzt werden, wo bisher negative Klimaschutzeffekte durch die Holznutzung erreicht werden (Nutzung von Stammholz für Holzenergie).

Ein weiteres Beispiel ist die Wiedervernässung drainierter, landwirtschaftlich genutzter Moorböden. Mit der Wasserstandsanehebung wird eine deutliche Minderung der THG-Emissionen erreicht. Zudem trägt die Wiedervernässung signifikant zur Wiederherstellung des regionalen Landschaftswasserhaushalts bei. Dies resultiert in Kühlungseffekten und einem verbesserten Wasserrückhalt für angrenzende Landwirtschaftsflächen, und stellt somit auch eine wichtige Anpassungsstrategie an den Klimawandel dar.

Integrierte Strategien mögen zwar nicht immer die Optimierung einzelner Ziele gewährleisten, ermöglichen jedoch einen ausgewogenen Ansatz, der langfristig für den **Erhalt aller Funktionen der Ökosysteme** essenziell ist. Nur durch solch ganzheitliche Konzepte kann sichergestellt werden, dass Ökosysteme auf Systemebene auch in Zukunft langfristig ihren Beitrag zur Treibhausgasneutralität leisten können.

Tabelle 2 bietet einen Überblick über die Wechselwirkungen verschiedener Maßnahmen im Kontext von Klimaschutz, Biodiversitätserhalt und -förderung und Klimaanpassung. Dabei zeigen sich folgende Haupteckdaten:

1. **Grünlandmaßnahmen:** sowohl für die Verringerung der Bewirtschaftungsintensität als auch die Anlage von Kurzumtriebsplantagen und andere Agroforstmaßnahmen weisen durchweg positive Wechselwirkungen zwischen den drei Schutzgütern auf.
2. **Erhalt organischer Böden durch Wiedervernässung:** Diese Maßnahmen zeigen komplexere Wechselwirkungen zwischen Bewirtschaftungsform, Wasserstand und THG-Emissionen. Bei Wasserständen von etwa -5 cm wird die höchste Verringerung von THG-Emissionen aus Böden erreicht.
3. **Waldmaßnahmen** gestalten sich in den Wechselwirkungen zwischen den drei Schutzgütern ebenfalls komplexer:
 - a) Waldmehrung sowie Schutz und Erhöhung von Kohlenstoff in Waldböden werden in ihren Wechselwirkungen positiv bewertet.
 - b) Waldschutz und -erhalt, Waldumbau sowie die Erhöhung der Kohlenstoffspeicherung in Holzprodukten zeigen differenzierte Effekte. Insbesondere zwischen Klima- und

Biodiversitätsschutz können Synergien ausbleiben oder sogar negative Effekte auftreten. Das gilt z.B., wenn weniger Totholz im Wald belassen wird, um dieses stofflich zu nutzen und damit den Kohlenstoff längerfristig der Atmosphäre zu entziehen, dabei aber biodiversitätsfördernde Habitate verloren gehen.

- c) Auch zwischen Klimaanpassung und Klimaschutzwirkungen bestehen teilweise unklare Beziehungen. Zum Beispiel tragen Moore zwar als Stabilisatoren des Wasserlandschaftshaushaltes bei aber können gleichzeitig auch Schwierigkeiten in der Anpassung an den Klimawandel bekommen, sollten die Wasserressourcen in einer Region über das Jahr betrachtet zurückgehen. So könnte der vor hohen Emissionen schützende Wasserpegel von -5 cm saisonal länger unterschritten werden.

Generell lässt sich feststellen, dass die **Wechselwirkungen zwischen Biodiversitätsschutz und Klimaanpassung für alle untersuchten Maßnahmen generell positiv** sind. Auch das **Verhältnis zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung ist in den meisten Fällen positiv**. Klimaschutz- und Biodiversitätsmaßnahmen, insbesondere im Waldbereich, sind nicht immer synergetisch. Diese Beobachtungen bedeuten nicht, dass nicht auch Waldmaßnahmen wichtige Beiträge zum natürlichen Klimaschutz leisten können. Allerdings muss hier aufgrund der höheren Komplexität stärker differenziert und die **Ausgangsbedingungen genauer berücksichtigt** werden, um negative Wirkungen auf die jeweils anderen Schutzziele zu vermeiden.

Tabelle 2: Übersicht zu Wechselwirkungen (Synergien oder Konflikte) von ausgewählten Maßnahmen zwischen Klima-, Biodiversitätsschutz und Anpassung an den Klimawandel

Flächentyp	Maßnahme	Wechselwirkung [synergetisch /neutral/ antagonistisch]		
		THG-Biodiversität	THG-Anpassung	Biodiversität-Anpassung
Grünland	Änderung der Bewirtschaftungsintensität	↑	↑	↑
Ackerland	Anlage von Kurzumtriebsplantagen	↑	↑	↑
Grünland	Anlage von Kurzumtriebsplantagen	↑ - ↓	↑ - →	↑ - →
Ackerland	Weitere Agroforstmaßnahmen	↑	↑	↑
Grünland	Weitere Agroforstmaßnahmen	↑ - →	↑ - →	↑ - →
Ackerland	Wiedervernässung organischer Böden	↑	↑	↑
Grünland	Wiedervernässung organischer Böden	↑ - →	↑	↑
Wald	Waldschutz und Walderhalt	↑ - →	→	↑
Wald	Waldumbau	→	→	↑
Wald	Waldmehrung	↑	↑	↑
Wald	Schutz und Erhöhung von Kohlenstoff in Waldböden	↑	↑	↑
Wald und Holzprodukte	Erhöhung der Kohlenstoffspeicherung in Holzprodukten	↓	→	↑

Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut

4 Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

Das „Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz“ (ANK) zielt darauf ab, Synergien zwischen Klima- und Biodiversitätsschutz zu maximieren. Mittels Literaturrecherche wurden Synergien und Konflikte zwischen den Zielen des Klimaschutzes und der Biodiversitätsförderung und -erhaltung identifiziert. Folgende Schlussfolgerungen können aus der Analyse gezogen werden:

- ▶ **Grünland** spielt eine entscheidende Rolle sowohl für die Kohlenstoffspeicherung als auch für den Erhalt der Biodiversität. Artenreiche Grünlandflächen zeigen eine hohe Resilienz gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels. Artenreiche, funktionell vielfältige Grünlandflächen und vor allem ihre Böden können als Kohlenstoffspeicher einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten, da sie im Vergleich zu Wald weniger störungsanfällig sind und eine gute Resistenz und Resilienz gegenüber Dürreereignissen aufweisen. Eine Umwandlung von Grünland zu Wald aus Klimaschutzaspekten bringt daher oft keinen großen Vorteil und kann zudem die Offenlanddiversität gefährden.
- ▶ **Agroforstsysteme** bieten das Potenzial, Synergien zwischen Klima- und Biodiversitätsschutz zu schaffen. Durch die Integration von Gehölzen in landwirtschaftliche Flächen kann sowohl der Bodenkohlenstoffgehalt erhöht als auch die Biodiversität gefördert werden. Die höhere Strukturvielfalt in Agroforstsystemen steigert die Habitatvielfalt, die Diversität des Nahrungsangebots sowie das Angebot an Korridoren und Trittsteinen (Biotopvernetzung), wovon zahlreiche Artengruppen profitieren. Dies wird durch lange Umtriebszeiten, den Verzicht auf Pestizide in den Gehölzbereichen und die Anpflanzung heimischer Gehölzarten unterstützt. Eine besonders positive Wirkung von Agroforstsystemen auf die Biodiversität ist vor allem in Landschaften mit geringer Strukturvielfalt zu erwarten. Auf bereits artenreichen, schützenswerten Flächen wie extensivem Grünland sollten keine Agroforstsysteme angelegt werden.
- ▶ Die **Wiedervernässung** von entwässerten Mooren und anderen organischen Böden ist eine der wirkungsvollsten Maßnahmen zur Reduzierung von THG-Emissionen. Eine Wiedervernässung von Acker- und Grünlandflächen führt in vielen Fällen zu einer Aufwertung der biologischen Vielfalt. Dies ist aber im Einzelfall zu prüfen, da auf bestehendem artenreichen Grünland durch Wiedervernässung ein Verlust wertgebender Arten auftreten kann. Trotz politischer Zielsetzungen und Förderprogrammen liegen zahlreiche Hemmnisse vor, weshalb der Moorbodenschutz nur langsam voranschreitet. Um Hemmnisse abzubauen, sollte Personal ausgebildet und gleichzeitig Planungs- und Genehmigungsverfahren vereinfacht werden. Zudem sollte Moorbodenschutz als übergeordnetes öffentliches Interesse gesetzlich verankert werden.
- ▶ Der **Umbau von Wäldern** hin zu klimastabileren, artenreichen Mischwäldern bietet erhebliche Vorteile für Kohlenstoffspeicherung und Biodiversität. Eine artenreiche Baumartenzusammensetzung kann die Widerstandsfähigkeit der Wälder erhöhen. Die Schaffung neuer Waldflächen, insbesondere auf ehemaligen Ackerflächen, bietet langfristige Vorteile für den Klimaschutz, wenn standortgerechte und heimische Baumarten gefördert

werden. Dabei sollte jedoch auch der Schutz von ökologisch wertvollen Offenlandbiotopen, insbesondere artenreichem Grünland, berücksichtigt werden.

- ▶ **Waldböden** sind bedeutende Kohlenstoffspeicher, deren Erhalt für den Klimaschutz essenziell ist. Die Politik sollte Programme zur Förderung nachhaltiger Waldbewirtschaftung auflegen, die nicht nur den Erhalt der oberirdischen Biomasse, sondern auch den Schutz der Bodenkohlenstoffvorräte sichern. Dies kann durch eine schonende Bewirtschaftung und den Verzicht auf intensive Eingriffe in die Waldökosysteme erreicht werden. Etablierte Simulationsmodelle bilden diesbezüglich jedoch lediglich Effekte durch Diversität der Baumartenzusammensetzung ab. Laut Modellierungsergebnissen zur Entwicklung des Waldbodenkohlenstoffs ist zu erwarten, dass die Senkenleistung bis zum Jahr 2045 stark abnimmt, da die CO₂-Einbindung in Sättigung geht.
- ▶ Das Potenzial der vermehrten Speicherung von Kohlenstoff in **Holzprodukten** durch eine Erhöhung der Holzproduktion ist begrenzt. Aufgrund bestehender negativer Effekte durch die Nutzung von Holz zu energetischen Zwecken und für kurzlebige Holzprodukte sollte eine Umschichtung der Nutzung hin zu möglichst langlebigen Holzprodukten angestrebt werden.
- ▶ Maßnahmen im Bereich des natürlichen Klimaschutzes können **Synergien** schaffen, sollten aber stets in **Wechselwirkung** mit anderen politischen Zielen betrachtet werden. Beispielsweise kann die Wiedervernässung von Mooren sowohl den Klimaschutz als auch den Erhalt der Biodiversität unterstützen. Es ist wichtig, potenzielle Zielkonflikte zu erkennen und durch integrierte Planungsansätze zu minimieren.
- ▶ Es bestehen verschiedene **Hindernisse** bei der Umsetzung der Maßnahmen des ANK, darunter hohe Kosten, rechtliche Unsicherheiten und Widerstand von Interessengruppen. Die Politik muss klare und stabile Rahmenbedingungen schaffen, die finanzielle Anreize für Landbesitzende und Landbewirtschaftende bieten. Gleichzeitig sollten Forschung und Monitoring ausgebaut werden, um die **Wirksamkeit** der Maßnahmen langfristig zu überprüfen und Anpassungen vorzunehmen.
- ▶ Da nicht alle Maßnahmen gleichermaßen effektiv sind, ist es wichtig, wissenschaftlich basierte **Prioritäten** zu setzen. Maßnahmen mit den höchsten Synergiepotenzialen sollten Vorrang haben, wie beispielsweise die Wiedervernässung von Mooren oder der Umbau von Wäldern. Politische Entscheidungstragende sollten sich auf jene Interventionen konzentrieren, die langfristig sowohl für den Klimaschutz als auch für die Biodiversität den größten Nutzen bringen und unter Bedingungen des Klimawandels tragen.
- ▶ Der Bericht hat **Lücken** im aktuellen ANK identifiziert. So fehlt beispielsweise ein umfassender Ansatz für die Förderung von Grünland auf mineralischen Böden außerhalb von Schutzgebieten. Grünland wird nur indirekt berücksichtigt, zum Beispiel im Bereich „Böden als Kohlenstoffspeicher“, obwohl es eine wichtige Rolle bei der Kohlenstoffspeicherung spielt. Bei der Erhaltung und Wiedervernässung von Moorböden sind oft auch Grünlandflächen betroffen, ebenso wie bei der Förderung von Agroforstsystemen, die teilweise auf Grünland umgesetzt werden. Es wird zwar die Bedeutung von Grünland für die Kohlenstoffspeicherung und die Biodiversität, und hier

insbesondere die Rolle von extensivem Grünland, in den Handlungsfeldern „Moore und Auen“ sowie „Wildnis und Schutzgebiete“ angesprochen. Es fehlen aber spezifische Maßnahmen zur Förderung von Biodiversität und Kohlenstoffbindung in mineralischem Grünland außerhalb von Schutzgebieten und Auen. Die Politik sollte diese Lücken durch gezielte Programme schließen, um das volle Potenzial natürlicher Klimaschutzmaßnahmen zu nutzen.

- Die erfolgreiche Umsetzung des ANK hängt von einer langfristigen und stabilen **Finanzierung** ab. Die Politik muss sicherstellen, dass ausreichend Mittel bereitgestellt werden, um nachhaltige Landnutzungsänderungen zu fördern und den notwendigen Anpassungen an den Klimawandel gerecht zu werden. Gleichzeitig sollten rechtliche Rahmenbedingungen angepasst werden, um Akzeptanz und Beteiligung zu gewährleisten. Viele Maßnahmen werden erst nach mehreren Jahren oder Jahrzehnten ihre volle Wirkung entfalten. Politische Entscheidungsträger brauchen deshalb einen langen Atem, um sicherzustellen, dass die heute eingeleiteten Maßnahmen auch in Zukunft finanziell und politisch unterstützt werden.

Priorisiert werden sollten Maßnahmen, die hohe Synergien zwischen Klimaschutz, Klimaanpassung und Biodiversitätserhalt bzw. -förderung versprechen, z.B. Moorbodenschutz und Waldmehrung, und die gleichzeitig für die Kohlenstoffspeicherung mengenmäßig bedeutsam sind. Idealerweise sollte ein Kriterienkatalog zur Maßnahmenbewertung entwickelt werden, mit dem Einzelmaßnahmen beschrieben und vergleichend gegenübergestellt werden können. Eine zusätzliche Wichtung von Kriterien kann vorgenommen werden. Folgende Schritte und Kriterien sollten dabei berücksichtigt werden:

- **Klimawirksamkeit:** Diese kann differenziert werden in:
 - **Absolute und spezifische Wirksamkeit:** Wie hoch ist das CO₂-Einbindungspotenzial je Flächeneinheit und in Summe für Deutschland?
 - **Stabilität der CO₂-Einbindung:** Je nach Flächentyp unterscheiden sich die Stabilität der CO₂-Einbindung bzw. das Risiko, eingebundenes CO₂, wieder zu verlieren. Beispielsweise ist das Risiko, dass der aufgebaute CO₂-Speicher durch Zersetzung wieder freigesetzt wird, bei einer Waldmehrungsfläche mit einem jungen Baumbestand deutlich geringer als beim Vorratsaufbau in einem alten Buchenbestand.
 - **Zeitliche Entwicklung der Wirksamkeit:** Wie lange wirkt eine Maßnahme? Z.B. erreicht die Wiedervernässung von Moorböden fortgesetzt eine jährliche THG-Minderung. Bei der Anlage von Kurzumtriebsplantagen ist durch regelmäßige Beerntung und einer üblichen Räumung der Fläche nach 20 Jahren die Wirksamkeit der Kohlenstoffspeicherung deutlich kurzfristiger.
- **Synergien:** Mit welchen anderen Ökosystemleistungen, Schutzgütern und weiteren Zielen sind Synergien zu erwarten (z.B. Erhalt und Förderung der Biodiversität, Hochwasserschutz, Regulierung des Landschaftswasserhaushalts, Verbesserung der Luftqualität), und wie hoch fallen sie aus?

- ▶ **Akzeptanz bei Stakeholdern:** Wer sind die von den Maßnahmen betroffenen Stakeholder, und welche Akzeptanz ist zu erwarten? Gibt es Möglichkeiten, die Akzeptanz zu erhöhen?
- ▶ **Umsetzbarkeit und Zeitrahmen:** Wie aufwändig ist es, eine gegebene Maßnahme umzusetzen, und wie lange wird es dauern, bis die Maßnahme anfängt Wirkung zu zeigen?
- ▶ **Kosteneffizienz:** Für jede Maßnahmen sollte ermittelt werden, wie hoch die THG-Vermeidungskosten bzw. die CO₂-Einbindungskosten sind.

5 Quellenverzeichnis

Bai, Y.; Cotrufo, M. F. (2022): Grassland soil carbon sequestration: Current understanding, challenges, and solutions. In: *Science (New York, N.Y.)* 377 (6606), S. 603–608. DOI: 10.1126/science.abo2380.

BfN (2023): Monitoring von Landwirtschaftsflächen mit hohem Naturwert, Bundesamt für Naturschutz. Bundesamt für Naturschutz (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.bfn.de/monitoring-von-landwirtschaftsflaechen-mit-hohem-naturwert>

BMEL - Bundesministerium für Ernährung für Landwirtschaft (2024): Wald in Deutschland - Weiter massive Schäden - Einsatz für Wälder und Waldumbau nötig. Online verfügbar unter <https://www.bmel.de/DE/themen/wald/wald-in-deutschland/wald-trockenheit-klimawandel.html>, zuletzt aktualisiert am 07.04.2024, zuletzt geprüft am 16.09.2024.

BMEL - Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hg.) (2023): Umsetzung der Gemeinsamen Agrarpolitik der Europäischen Union 2023 in Deutschland, Direktzahlungen, Öko-Regelungen, InVeKoS und Konditionalität. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/gap-2023.pdf?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt geprüft am 27.05.2024.

BMUV (2023): Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz, Kabinettsbeschluss vom 29. März 2023. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (Hg.). Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/ank_2023_kabinett_lang_bf.pdf, zuletzt geprüft am 17.11.2023.

Bogati, K.; Walczak, M. (2022): The Impact of Drought Stress on Soil Microbial Community, Enzyme Activities and Plants. In: *Agronomy* 12 (1), S. 189. DOI: 10.3390/agronomy12010189.

Bohner, A.; Foldal, C. B.; Jandl, R. (2016): Kohlenstoffspeicherung in Grünlandökosystemen - eine Fallstudie aus dem österreichischen Berggebiet / Carbon storage in grassland ecosystems – A case study from a mountainous region of Austria. In: *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment* 67 (4), S. 225–237. DOI: 10.1515/boku-2016-0018.

Bolte, A.; Höhl, M.; Hennig, P.; Schad, T.; Kroiher, F.; Seintsch, B.; Englert, H.; Rosenkranz, L. (2021): Zukunftsaufgabe Waldanpassung. In: *AFZ DerWald* (4), S. 12–16.

Burton, V. J.; Contu, S.; Palma, A. de; Hill, S. L. L.; Albrecht, H.; Bone, J. S.; Carpenter, D.; Corstanje, R.; Smedt, P. de; Farrell, M.; Ford, H. V.; Hudson, L. N.; Inward, K. et al. (2022): Land use and soil characteristics affect soil organisms differently from above-ground assemblages. In: *BMC Ecol Evo* 22 (1), S. 1–9. DOI: 10.1186/s12862-022-02089-4.

Carvalho, A. M. X. de; Castro Tavares, R. de; Cardoso, I. M.; Kuyper, T. W. (2010): Mycorrhizal Associations in Agroforestry Systems. In: Dion, P. (Hg.): *Soil biology and agriculture in the tropics*. Berlin, Heidelberg: Springer (Soil Biology, 21), S. 185–208. Online verfügbar unter https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-05076-3_9, zuletzt geprüft am 01.10.2024.

Harthan, R. O.; Förster, H.; Borkowski, K.; Braungardt, S.; Bürger, V.; Cook, V.; Emele, L.; Götz, W. K.; Hennenberg, K.; Jansen, L. L.; Jörß, W.; Kasten, P.; Loreck, C. et al. (2024): Technischer Anhang der Treibhausgas-Projektionen 2024 für Deutschland (Projektionsbericht 2024). Umweltbundesamt (Hg.). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/projektionen_technischer_anhang_0.pdf, zuletzt geprüft am 10.07.2024.

- Hofer, D.; Suter, M.; Haughey, E.; Finn, J. A.; Hoekstra, N. J.; Buchmann, N.; Lüscher, A. (2016): Yield of temperate forage grassland species is either largely resistant or resilient to experimental summer drought. In: *Journal of Applied Ecology* 53 (4), S. 1023–1034. DOI: 10.1111/1365-2664.12694.
- Hopkins, A.; Del Prado, A. (2007): Implications of climate change for grassland in Europe: impacts, adaptations and mitigation options: a review. In: *Grass and Forage Science* 62 (2), S. 118–126. DOI: 10.1111/j.1365-2494.2007.00575.x.
- Huber, B.; L., J.; Bernasconi, S. M.; Shrestha, J.; Graf Pannatier, E. (2012): Nitrate leaching from short-hydroperiod floodplain soils. In: *Biogeosciences* 9 (11), S. 4385–4397. DOI: 10.5194/bg-9-4385-2012.
- Husse, S.; Lüscher, A.; Buchmann, N.; Hoekstra, N. J.; Huguenin-Elie, O. (2017): Effects of mixing forage species contrasting in vertical and temporal nutrient capture on nutrient yields and fertilizer recovery in productive grasslands. In: *Plant Soil* 420 (1), S. 505–521. DOI: 10.1007/s11104-017-3372-0.
- IUCN - International Union for Conservation of Nature (Hg.) (2021): Invasive alien species and climate change, Issues Brief. Gland, Switzerland. Online verfügbar unter https://www.iucn.org/sites/default/files/2022-04/ias_and_climate_change_issues_brief_2021.pdf, zuletzt geprüft am 16.05.2024.
- Kleinbauer, I.; Dullinger, S.; Klingenstein, F.; May, R.; Nehring, S.; Essl, F. (2010): Ausbreitungspotenzial ausgewählter neophytischer Gefäßpflanzen unter Klimawandel in Deutschland und Österreich, Ergebnisse aus dem F+E-Vorhaben FKZ 806 82 330, Bundesamt für Naturschutz; Österreich / Umweltbundesamt (BfN-Skripten (1.1998 - 630.2022), 275). Bonn: Bundesamt für Naturschutz. Online verfügbar unter <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:b219-5036>, zuletzt geprüft am 01.10.2024.
- Lüscher, A.; Barkaoui, K.; Finn, J. A.; Suter, D.; Suter, M.; Volaire, F. (2022): Using plant diversity to reduce vulnerability and increase drought resilience of permanent and sown productive grasslands. In: *Grass and Forage Science* 77 (4), S. 235–246. DOI: 10.1111/gfs.12578.
- Meyer, P.; Lindner, M.; Bauhus, J.; Müller, J.; Farwig, N.; Lang, F.; Dieter, M.; Endres, E.; Hafner, A.; R. Kätzel; Knoke, T.; Kleinschmit, B.; Schraml, U. et al. (2023): Zum Umgang mit alten, naturnahen Laubwäldern in Deutschland im Spannungsfeld zwischen Biodiversitätsschutz, Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel, Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirates für Waldpolitik. Wissenschaftlicher Beirat für Globale Umweltveränderungen (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Ministerium/Beiraete/waldpolitik/stellungnahme-wbw-laubwaelder.pdf?blob=publicationFile&v=5>, zuletzt geprüft am 17.05.2024.
- Ploschuk, R. A.; Grimoldi, A. A.; Ploschuk, E. L.; Striker, G. G. (2017): Growth during recovery evidences the waterlogging tolerance of forage grasses. In: *Crop Pasture Sci.* 68 (6), S. 574. DOI: 10.1071/CP17137.
- Poglayen, G.; Gelati, A.; Scala, A.; Naitana, S.; Vincenzo Musella; Martina Nocerino; Giuseppe Cringoli; Antonio Frangipane di Regalbono; Annette Habluetzel (2023): Do natural catastrophic events and exceptional climatic conditions also affect parasites? In: *Parasitology* 150 (12), S. 1158–1166. DOI: 10.1017/S0031182023000471.
- Poland, T. M.; Patel-Weynand, T.; Finch, D. M.; Miniati, C. F.; Hayes, D. C.; Lopez, V. M. (2021): Invasive Species in Forests and Rangelands of the United States, A Comprehensive Science Synthesis for the United States Forest Sector 1st ed. 2021. Cham: Springer International Publishing; Imprint Springer.
- Reise, J.; Hennenberg, K.; Benndorf, A.; Böttcher, H. (2024): Klimaschutzmaßnahmen im LULUCF-Sektor: Potenziale und Sensitivitäten, Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt Transformation zu einem vollständig treibhausgasneutralen Deutschland (CARE) (Climate Change, 10/2024). Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/10_2024_cc_lulucf_.pdf, zuletzt geprüft am 21.05.2024.

Sittaro, F.; Hutengs, C.; Vohland, M. (2023): Which factors determine the invasion of plant species? Machine learning based habitat modelling integrating environmental factors and climate scenarios. In: *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 116, S. 103158. DOI: 10.1016/j.jag.2022.103158.

Thünen-Institut (2018): Humus in landwirtschaftlich genutzten Böden Deutschlands. Online verfügbar unter https://www.thuenen.de/media/institute/ak/Allgemein/news/Bodenzustandserhebung_Landwirtschaft_Kurzfassung.pdf, zuletzt geprüft am 23.09.2024.

Tong, C.; Hill, C. B.; Zhou, G.; Zhang, X.-Q.; Jia, Y.; Li, C. (2021): Opportunities for Improving Waterlogging Tolerance in Cereal Crops-Physiological Traits and Genetic Mechanisms. In: *Plants (Basel, Switzerland)* 10 (8). DOI: 10.3390/plants10081560.

Tsonkova, P.; Böhm, C. (2020): CO₂-Bindung durch Agroforst-Gehölze als Beitrag zum Klimaschutz, "Innovationsgruppe AUFWERTEN – Agroforstliche Umweltleistungen für Wertschöpfung und Energie". Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Sanftleben (Hg.). Cottbus. Online verfügbar unter https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2021/02/06_CO2-Bindung.pdf, zuletzt geprüft am 14.06.2021.

UBA - Umweltbundesamt (Hg.) (2023): Projektionsbericht 2023 für Deutschland. Öko-Institut e.V; Frauenhofer ISI; IREES GmbH; Thünen Institut. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/projektionsbericht-2023-fuer-deutschland> zuletzt geprüft am 29.05.2024.

UBA - Umweltbundesamt (Hg.) (2024): Nationales Inventardokument zum deutschen Treibhausgasinventar 1990-2022, Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2024 (Climate Change). Online verfügbar unter https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/govreg/inventory/envzfm0va/DE_NID_2024_clean_13.03.2024_de.pdf, zuletzt geprüft am 17.04.2024.

Ward, S. E.; Simon M. Smart; Helen Quirk; Jerry R. B. Tallwin; Simon R. Mortimer; Robert S. Shiel; Andrew Wilby; Richard D. Bardgett (2016): Legacy effects of grassland management on soil carbon to depth. In: *Global Change Biology* 22 (8), S. 2929–2938. DOI: 10.1111/gcb.13246.

Yang, Y.; Tilman, D.; Furey, G.; Lehman, C. (2019): Soil carbon sequestration accelerated by restoration of grassland biodiversity. In: *Nat Commun* 10 (1), S. 1–7. DOI: 10.1038/s41467-019-08636-w.

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
buergerservice@uba.de
Internet:
www.umweltbundesamt.de
[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)
[t/umweltbundesamt](https://www.twitter.com/umweltbundesamt)

Stand: Oktober/2024

Autorenschaft, Institution

Dr. Hannes Böttcher, Margarethe Scheffler, Dr.
Miriam Pfeiffer, Dr. Klaus Hennenberg, Judith
Reise, Kirsten Wiegmann; Öko-Institut e.V.

Redaktion

Judith Voß-Stemping; Umweltbundesamt

Die Verantwortung für die Inhalte liegt bei den
Autorinnen und Autoren.