

## 7 KLIMASCHUTZ: NACHHALTIGE BODENNUTZUNG, RENATURIERUNG UND AUFFORSTUNG

Die in den vergangenen Jahrhunderten immer ausgedehntere Landnutzung durch den Menschen hat dazu geführt, dass auf vielen Flächen weltweit inzwischen ganz andere Vegetationsformationen und Kulturen stocken, die der natürlichen Vegetation wenig entsprechen. In der Mehrzahl der Klimazonen der Erde sind Wälder unterschiedlichster Art die natürliche Pflanzenformation, mit ihrem Humus im Boden sind sie riesige Kohlenstoffspeicher; nur in sehr trockenen Regionen (Halbwüsten und Wüsten) und bei sehr kurzer Vegetationszeit und langen Wintern (Tundra) ist die Vegetationsbedeckung viel offener. Die vielfältige und ständig ausgeweitete Landnutzung mit intensiver Landwirtschaft und Forstwirtschaft, aber auch die Anlage von Verkehrswegen, Siedlungen und Städten mit ihrer ausgedehnten Infrastruktur und dem ständig steigenden „Energiehunger“ hat dazu geführt, dass inzwischen die biogeochemischen Bedingungen in der Atmosphäre verschoben sind und ein Klimawandel begonnen hat, der noch nicht genau absehbare, aber doch sehr negative Folgen befürchten lässt. Es ist daher geboten, möglichst weltweit eine nachhaltige Bodennutzung, Renaturierungen und Aufforstungen in möglichst umfassendem Umfang zu erreichen. Die Beiträge dieses Kapitels befassen sich mit Möglichkeiten in der Zukunft Klimaneutralität zu erreichen. Was kann dazu die Landwirtschaft beitragen, wie kann der Bodenzustand verbessert werden, was ist die Bedeutung des Küstenschutzes, es sind viele Fragen, die gelöst werden müssen. Weiträumig sind Landdegradierung und Desertifikation, nicht nur in Trockengebieten, Einhalt zu gebieten. Mit etlichen Beispielen wird auf die möglichen Klimateffekte und den Klimaschutz hingewiesen.

### 7.1 Treibhausgasneutralität: Wie können natürliche Senken in Deutschland zur »grünen Null« beitragen?

HANNES BÖTTCHER, KLAUS JOSEPH HENNEBERG,  
JUDITH REISE & ANKE BENNDORF

*Natürliche Senken sind Ökosysteme, die neben der Aufnahme und Speicherung von Kohlenstoff eine Vielzahl von Funktionen haben. Sie dienen verschiedensten Arten als Lebensraum, und ein Zustand, der viele natürliche Prozesse im Ökosystem zulässt, ist essenziell für den Schutz der Biodiversität. Zur Erreichung von Treibhausgasneutralität müssen natürliche Senken in großem Umfang wiederhergestellt oder erhalten werden, um langfristig nicht vermeidbare Emissionen kompensieren zu können. Die benötigte Nettosenke muss langfristig und von hoher Beständigkeit sein sowie zur allgemeinen Umweltintegrität beitragen, um so eine tatsächlich »grüne Null« zu erreichen. Für die effektive Anrechnung solcher Senken ist es wichtig, eine hohe Dauerhaftigkeit zu erreichen und Verdrängungseffekte zu vermeiden. Der Landnutzungssektor in Deutschland stellt im Jahr 2018 insgesamt eine Nettosenke von rund -30 Mio. t CO<sub>2</sub>eq. dar. Vor allem durch Maßnahmen im Bereich Waldbewirtschaftung und Schutz von Moorböden lässt sich die Senke halten bzw., wie in der nationalen und internationalen Zielsetzung gefordert, ggf. auch steigern. Allerdings sind auch in Deutschland Senken durch Nutzungsintensivierung und natürliche Störungen bedroht. Die langfristige Kohlenstoffspeicherung durch natürliche Senken ist eine Herausforderung, die nur erfolgreich bewältigt werden kann, wenn auch Biodiversitäts- und Klimaanpassungsziele damit verbunden werden. Nur so können das Potenzial von Wäldern, Feuchtgebieten und Böden aufrechterhalten und gespeicherte Kohlenstoffvorräte geschützt werden.*

**Greenhouse gas neutrality: How can natural sinks in Germany contribute to the »green zero«?:** Natural sinks are ecosystems that have a variety of functions in addition to absorbing and storing carbon. They serve as habitats for a wide range of species, and a state that allows many natural processes in the ecosystem is essential for the protection of biodiversity. To achieve greenhouse gas neutrality, natural sinks must be restored on a large scale to compensate for unavoidable emissions in the long term. A net sink to compensate for the remaining emissions that cannot be avoided must be long-term and of high permanence, as well as contribute to overall environmental integrity, thus achieving a truly »green zero«. For the effective accounting of such sinks, it is important to achieve high permanence and avoid leakage effects. Today, the land use sector in Germany represents a total net sink of around -30 Mt CO<sub>2</sub>eq. Measures related to forest management and protection of peatland soils in particular can maintain the sink or, as in the national and international objectives, increase it if necessary. However, sinks in Germany are also threatened by intensification of use and natural disturbances. Long-term carbon storage by natural sinks is a challenge that can only be successfully met if biodiversity and climate adaptation goals are also linked to it. Only in this way can the sink potential of forests, wetlands and soils be maintained, and stored carbon stocks be protected.

**Neutralidad de los gases de efecto invernadero: ¿Cómo pueden contribuir los sumideros naturales en Alemania al «cero verde»? - Los sumideros naturales son ecosistemas que tienen multitud de funciones además de absorber y almacenar carbono. Sirven de hábitat para una amplia variedad de especies, y un estado que permita muchos procesos naturales en el ecosistema es fundamental para la protección de la biodiversidad. Para lograr la neutralidad de los gases de efecto invernadero, los sumideros naturales deben restaurarse o mantenerse a gran escala para poder compensar las emisiones que no se pueden evitar a largo plazo. El sumidero de red requerido debe ser a largo plazo y altamente estable, además de contribuir a la integridad ambiental general para lograr un verdadero «cero verde». Para que dichos sumideros se tengan en cuenta de manera eficaz, es importante lograr un alto nivel de durabilidad y evitar los efectos de desplazamiento. El sector del uso de la tierra en Alemania representa un sumidero neto de alrededor de -30 millones de t CO<sub>2</sub>eq en 2018. Sobre todo, a través de medidas en el campo de la ordenación forestal y la protección de las turberas, la depresión puede mantenerse o, si es necesario, aumentarse según lo requieran los objetivos nacionales e internacionales. Sin embargo, también en Alemania, los fregaderos están amenazados por un mayor uso y perturbaciones naturales. El almacenamiento de carbono a largo plazo a través de sumideros naturales es un desafío que solo puede superarse con éxito si también se combinan con él los objetivos de biodiversidad y adaptación al clima. Ésta es la única forma de mantener el potencial de los bosques, los humedales y los suelos y proteger las reservas de carbono almacenadas.**

### Wie definiert sich Klimaneutralität?

Die Neuauflage des deutschen Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG) vom Juni 2021 sieht vor, dass Deutschland bis zum Jahr 2045 Treibhausgasneutralität erreicht. Auch die EU hat sich 2020 das Ziel der Klimaneutralität gesetzt und richtet ihre Politiken in vielen Feldern danach aus. Damit setzen beide Zielvorgaben des Pariser Klimaschutzabkommens von 2015 um. Es hat zum Ziel, anthropogen verursachte Emissionen bis 2050 drastisch zu reduzieren, um den Anstieg der Konzentration von Treibhausgasen (THG) in der Atmosphäre zu begrenzen. Das Pariser Klimaschutzabkommen sieht auch vor, dass natürliche Senken in großem Umfang wiederhergestellt werden, um langfristig nicht vermeidbare Emissionen kompensieren zu können. Auch im Privatsektor streben viele Unternehmen mittlerweile mehr oder weniger ambitionierte Ziele der CO<sub>2</sub>-Neutralität an.

Doch was bedeutet Treibhausgasneutralität eigentlich und wie kann diese erreicht werden? Der Begriff »Neutralität« impliziert, dass Emissionen ausgeglichen werden und so die Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre nicht weiter steigt. Dies wird von den natürlichen oder technischen Kohlenstoffsinken erwartet, die CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre aufnehmen und binden können. Gelingt es, die Wirkung der Senken über das Niveau der Emissionen zu bringen, können sogar »negative Emissionen« erreicht werden, d.h. die Konzentration von THG in der Atmosphäre sinkt. Andere verwendete Begriffe für Treibhausgasneutralität sind CO<sub>2</sub>-Neutralität oder auch Klimaneutralität (PEUKERT 2021). Während sich CO<sub>2</sub>-Neutralität nur auf Kohlendioxid als Emission bezieht, umfasst Treibhausgasneutralität auch andere Klimagase, wie Methan und Lachgas, deren Neutralisierung für die Erreichung von Klimazielen ebenso wichtig ist. Klimaneutralität dagegen schließt weitere Prozesse ein, die zu einer globalen

Erwärmung oder Abkühlung beitragen können, z.B. Albedoeffekte (Rückstrahlungseffekte durch unterschiedliche Oberflächen) und Aerosole (Schwebeteilchen in der Luft). Die Nutzung technischer Senken, durch die mit Hilfe von CO<sub>2</sub>-Abscheidung negative Emissionen erzeugt werden, soll hier nicht betrachtet werden.

Im Folgenden wird der Begriff Treibhausgasneutralität verwendet, der also einen Ausgleich zwischen menschlich verursachten Emissionsquellen und natürlichen Senken beschreibt. Hierbei werden Quellen der wichtigsten Klimagase, wie CO<sub>2</sub>, aber auch Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O), die als sogenannte CO<sub>2</sub>-Äquivalente (CO<sub>2</sub>Äq.) zusammengefasst werden, berücksichtigt. Natürliche Senken dagegen nehmen ausschließlich CO<sub>2</sub> auf und speichern es in Form von Kohlenstoff.

Das Gegenrechnen von Senken zur Erreichung von Treibhausgasneutralität wird teilweise stark kritisiert, da es dazu führen kann, dass es vom eigentlichen Ziel des Klimaschutzes, der Reduktion von THG-Emissionen, abgelenkt wird (PEUKERT 2021). Tatsächlich findet durch die bilanzielle Neutralisierung eine Verlagerung des Kohlenstoffs aus den dauerhaften Lagerstätten der fossilen Brennstoffe in dynamische Ökosysteme statt. Auch deshalb ist es wichtig zu verstehen, wie natürliche Senken wirken, welchen Risiken sie ausgesetzt sind, wie wir sie beeinflussen können und welche Regeln gelten sollten, wenn sie der Erreichung von Treibhausgasneutralität dienen sollen.

### Wie wirken natürliche Senken im Landnutzungssektor?

Natürliche Kohlenstoffsinken sind Reservoirs, die über einen längeren Zeitraum hinweg Kohlenstoff in Form von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre ziehen. Dies geschieht überwiegend durch den Prozess der Photosynthese. Durch das Pflanzenwachstum steigen Kohlenstoffspei-

cher in der lebenden Biomasse an. Sie speichern den über die Photosynthese gebundenen atmosphärischen Kohlenstoff in sogenannten Pools. Dazu gehören die lebende und tote Biomasse (z.B. Bäume und Totholz), die Streu (Blätter und Nadeln) sowie der Boden (mineralisch, organisch) und Holzprodukte. Sterben die Pflanzen ab, sei es durch natürliche Prozesse oder menschliche Eingriffe, wird der Kohlenstoff durch Zersetzung oder Verbrennung wieder in die Atmosphäre freigesetzt (Kohlenstoffquelle). Darüber hinaus entweicht über den Prozess der Atmung  $\text{CO}_2$  aus allen Lebewesen. Auf diese Weise erreichen Ökosysteme nach längerer Zeit ohne Störungen ein Gleichgewicht der Kohlenstoffaufnahme und -abgabe und die Pools damit eine Sättigung. Durch Einlagerung im Boden, vor allem Mooren, kann ein Teil des Kohlenstoffs allerdings sehr langfristig zurückgehalten werden. Ebenso stellen Bäume durch ihre sehr lang andauernde Lebensspanne einen wichtigen Kohlenstoffspeicher dar. Aber auch langfristig genutzte Holzprodukte, z.B. als Bauholz, können zur Speicherung von Kohlenstoff beitragen. Somit können natürliche Senken wesentlich zur Verringerung der  $\text{CO}_2$ -Konzentration in der Atmosphäre beitragen. Global betrachtet nehmen Landökosysteme ungefähr ein Drittel aller anthropogenen Emissionen als natürliche Senken auf (FRIEDLINGSTEIN et al. 2020). Zu den wichtigsten natürlichen Senken an Land in Deutschland gehören Wälder, Grünland auf mineralischen Böden und Feuchtgebiete. Aber auch marine Ökosysteme sind wichtige Senken, in Deutschland sind dies Seegrasswiesen und marine Salzmarschen.

Unter den internationalen Bestimmungen zum Klimaschutz der UN Rahmenkonvention (UNFCCC) werden die Senken und Quellen aus der Landnutzung unter dem Sektor »Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft« (LULUCF, *Land Use, Land Use Change and Forestry*) erfasst und jährlich berichtet. Dabei werden die Flächen verschiedener Landnutzungskategorien betrachtet. Auch Deutschland berichtet auf diese Weise über die ermittelten Senken und Quellen seiner Wälder (11 Mio. ha), des Ackerlandes (13 Mio. ha), des Grünlandes (6,7 Mio. ha), der Feuchtgebiete (0,7 Mio. ha) und der Siedlungen (4,6 Mio. ha), sowie über die Entwicklung des Kohlenstoffspeichers der Holzprodukte (UBA) 2021.

### **Welche Risiken gibt es für natürliche Senken?**

Die Speicherung von Kohlenstoff in Pflanzen, Boden und Holzprodukten ist nicht dauerhaft. Verschiedene natürliche und menschenverursachte Prozesse können dazu führen, dass der in der Biomasse gespeicherte

Kohlenstoff als  $\text{CO}_2$  wieder in die Atmosphäre entweicht. Ein Risiko für natürliche Kohlenstoffspeicher in Deutschland stellen eine intensive Bewirtschaftung sowie die Änderung der Landnutzung dar. Werden durch Intensivierung der Holznutzung Wälder stark beansprucht, verringert sich der mittlere Kohlenstoffgehalt der Waldflächen und die Bäume werden daran gehindert, höhere Vorräte an Kohlenstoff zu akkumulieren. Aber auch die landwirtschaftliche Nutzung von entwässerten Moorflächen führt zu hohen Verlusten an Kohlenstoff und damit Emissionen (s. Kap. 1.1 und 3.6). Landnutzungsänderungen führen zusätzlich dazu, dass z.B. durch die Rodung von Wald oder die Umwandlung von Grünland für die Ausbreitung von Siedlungsflächen Kohlenstoff aus Pflanzen und dem Boden entweicht.

Im aktuellen Bericht des Bundesministeriums für Umwelt (BMU) zum ökologischen Zustand der Lebensräume in Deutschland werden insgesamt nur 30% der Lebensräume mit einem günstigen Zustand bewertet (BMU 2020). Besonders ungünstig bis schlecht ist der Zustand der Grünlandlebensräume (ca. 55%), der sich im Vergleich zum Jahr 2013 deutlich verschlechtert hat. Dies ist vor allem auf die Intensivierung der Grünlandnutzung zurückzuführen, so dass extensive Grünlandlebensräume (z.B. Nasswiesen, Mähwiesen) zunehmend verschwinden. Moore und Wälder sind zu ca. 30% in einem ungünstig-schlechten Zustand (BMU 2020). Ein schlechter Zustand bedeutet, dass Verbreitungsgebiet, Fläche, spezifische Strukturen und Funktionen und auch Zukunftsaussichten dieser Lebensräume negativ bewertet werden. Damit ist oft auch die Funktion als natürliche Senke eingeschränkt bzw. durch Degradation der Verlust von Kohlenstoff die Folge. Zudem ist die Resilienz dieser Flächen gegenüber Störungen herabgesetzt (NORRIS et al. 2011; O'HARA & RAMAGE 2013).

Natürliche Störungen, wie Stürme, Feuer, Dürreperioden (abiotische Störungen) und Insektenkalamitäten oder Pathogene (biotische Störungen), stellen einen Risikofaktor für die langfristige Aufnahme und Speicherung von Kohlenstoff in Biomasse und Böden dar. Natürliche Störungen sind zunächst einmal oft integraler Bestandteil von Ökosystemen und führen nicht zwangsläufig zu einem Wechsel der Ökosystemfunktionen. Allerdings ist davon auszugehen, dass aufgrund des fortschreitenden Klimawandels gerade die Frequenz und Intensität abiotischer Störungen zunehmen könnte (SEIDL et al. 2017; IPCC 2019b). In europäischen Wäldern gehören Stürme und Trockenheit zu den wesentlichen natürlichen Störungen, die sehr häufig durch Käferkalamitäten begleitet werden. In einer Studie von SEIDL et al. (2014) wird für die europäischen Wälder eine Reduktion der Netto-Sen-

kenleistung um bis zu 50% (180 Mio. t CO<sub>2</sub> jährlich) aufgrund von natürlichen Störungen in den Jahren 2021 bis 2030 angenommen. Bereits in den vergangenen drei Jahren (2018 bis 2020) sind viele Waldbestände in Deutschland durch Sturm, gefolgt von extremer Trockenheit und Borkenkäferbefall, beschädigt worden bzw. abgestorben (s. Kap.3.1).

### **Wie können natürliche Senken gemessen werden?**

Um den Beitrag des Landnutzungssektors zur Erreichung der Treibhausgasneutralität, aber auch die Wirksamkeit von Maßnahmen in der Landnutzung zu bestimmen, müssen die Quellen und Senken nach vergleichbaren und einheitlichen Ansätzen quantifiziert und bilanziert werden. Die Berichterstattung über Emissionen von Treibhausgasen und Speicherung von Kohlenstoff durch den Landnutzungssektor verwendet international vereinbarte Regeln für nationale Treibhausgasinventare. Die wichtigste Grundlage sind die Leitlinien des Weltklimarats (IPCC) für nationale THG-Inventare von 2006 (IPCC 2006), die kürzlich durch eine Aktualisierung ergänzt wurde (IPCC 2019a).

Die Bedeutung der Emissionen des LULUCF-Sektors hat mit den internationalen und nationalen Zielen der Treibhausgasneutralität zugenommen. Dies erfordert eine kritische Überprüfung der Vollständigkeit, Genauigkeit und Konsistenz der Berichterstattung. Eine ungenaue Erfassung der Quellen und Senken führt zu versteckten Emissionen, aber auch zu versteckten Minderungspotenzialen, was sich auf die Schaffung von Anreizen für Änderungen in der Bewirtschaftung auswirkt (BÖTTCHER & REISE 2020).

Besonders ungenau ist in der EU die Berichterstattung zu Ackerland (EUROPEAN COMMISSION. DIRECTORATE GENERAL FOR CLIMATE ACTION et al. 2021). Wenn tatsächlich Treibhausgasneutralitätsziele, die natürliche Senken enthalten, erreicht werden sollen, braucht es eine engere Verbindung zwischen konkreten Bewirtschaftungspraktiken (z.B. ökologischer Landbau) und THG-Inventaren. Kohlenstoffspeicherung in Ackerflächen kann nur dann geltend gemacht werden, wenn die Berichterstattung wesentlich detaillierter ist, als dies derzeit von den EU-Mitgliedstaaten praktiziert wird.

Auch die eher grobe Darstellung von geernteten Holzprodukten (HWP, *harvested wood products*) in den meisten THG-Bilanzen der EU-Länder könnte die Anreize für Minderungsmaßnahmen, die HWP betreffen, insgesamt verringern. Eine genaue Initialisierung der HWP-Pools ist sehr wichtig, aber auch eine Herausforderung für die Mitgliedstaaten, die mit einem Mangel an Daten zu kämpfen haben.

Auswirkungen von Änderungen in der Waldbewirtschaftung auf die Kohlenstoffvorräte der Wälder werden EU-weit relativ genau erfasst. Durch nationale Waldinventuren mit hoher Genauigkeit werden zwar nicht unbedingt Änderungen in der Bewirtschaftung sichtbar, jedoch die Änderung des Kohlenstoffspeichers. Allerdings finden aufgrund des Aufwandes z.B. in Deutschland Inventuren nur ca. alle 10 Jahre statt. Gerade mit der Zunahme von Jahren mit Extremereignissen ist es wichtig die Waldsenke über Fernerkundungsmethoden und mit statistischen Modellen deutlich engmaschiger zu überwachen.

Die Überprüfung der Buchführung und Berichterstattung über ehemalige Moorböden hat gezeigt, dass zwischen den verschiedenen Informationsquellen große Diskrepanzen in Bezug auf das Ausmaß dieser organischen Böden, ihren Zustand und die daraus resultierenden Emissionen bestehen. Dabei sind gerade Moorböden Hotspots von Emissionen in vielen Ländern. Es ist wichtig, dass die Eingangsdaten für die Treibhausgasbilanz der Mitgliedstaaten gerade in diesem Bereich verbessert werden. Vergleiche mit unabhängigen Datenquellen können nützlich sein, um die Qualität der THG-Inventare für Feuchtgebiete und organische Böden zu bewerten.

Die meisten der festgestellten Probleme in Bezug auf Genauigkeit und Vollständigkeit können durch eine höhere Detailgenauigkeit und verbesserte Datenquellen für die Berichterstattung gelöst werden. Solche Verbesserungen kommen jedoch nicht immer direkt den Ländern zugute, da sie mit höheren Kosten für die Überwachung verbunden sind. Letztendlich sind sie für eine wirksame Planung und Umsetzung von Minderungsmaßnahmen zur Erreichung von Treibhausgasneutralität aber unverzichtbar.

### **Welche Anforderungen an natürliche Senken sind nötig zur Erreichung von Treibhausgasneutralität?**

Das Pariser Abkommen erlaubt den Vertragsparteien, internationale Kohlenstoffmarkt-Mechanismen zu nutzen, um ihre selbst gesetzten Ziele zu erreichen. Inwieweit Maßnahmen im Landnutzungssektor in die Kohlenstoffmarktmechanismen aufgenommen werden, ist noch offen und birgt eine Reihe von Herausforderungen und Risiken. Anhand solcher möglicher Marktmechanismen, in denen Senkenzertifikate zwischen Ländern gehandelt werden könnten, sollen die Anforderungen an natürliche Senken skizziert werden, die zur Erreichung von Treibhausgasneutralität nötig sind.

Das größte Risiko besteht darin, dass die Kohlenstoffbindung im Landnutzungssektor nicht dauerhaft ist, denn der zusätzlich gebundene Kohlenstoff kann

leicht wieder entweichen bzw. vermiedene Emissionen können doch wieder auftreten. Im Gegensatz zu den meisten anderen Minderungsmaßnahmen kann die Dauerhaftigkeit von Emissionsminderungen oder Senkenerhöhungen im Landnutzungssektor nicht garantiert werden. Beispielsweise wird durch Holzerte Kohlenstoff frei, aber auch durch Störungen, wenn Bäume geschädigt werden oder absterben. Diese Umkehrrisiken können durch Maßnahmen, wie z.B. vertraglichen Bestandsschutz von Wäldern oder Anlage resilienter Mischwälder, abgemildert werden. Aktivitäten, die ein hohes Umkehrisiko haben, sollten nicht zur Erreichung von Treibhausgasneutralitätszielen angerechnet werden, wie z.B. Anlage von industriellen Holzplantagen. Die Überwachung und verpflichtende Kompensation von nachträglichem Verlust des Kohlenstoffs sollte über ausreichend lange Zeiträume, z.B. 100 Jahre, erfolgen. Die Anlage von Pufferreserven oder Versicherungen sind erforderlich, um katastrophale Situationen, die zu Kohlenstoffverlust führen, zu bewältigen.

Das Risiko von Verdrängungseffekten kann die Gesamtminderungsleistung von Aktivitäten stark verringern. Deshalb sollten Aufforstungen beispielsweise eher auf ungenutzten Flächen stattfinden. Außerdem sollte nur dort Wald neu angelegt werden, wo dies ökologisch sinnvoll ist. Auch Änderungen der Waldbewirtschaftung oder landwirtschaftlicher Praktiken können Verdrängungseffekte zur Folge haben. International abgestimmte Regeln und Maßnahmen zur Verringerung des Konsums können flankierend das Risiko mindern.

Bei Maßnahmen zur Vermeidung von Entwaldung und Waldschädigung stellt die Bewertung der Zusätz-

lichkeit große Herausforderungen dar, die nur schwer zu bewältigen sind. Die beobachteten Veränderungen der Kohlenstoffvorräte können mehrere Ursachen haben, von denen die anrechenbare Minderungsmaßnahme nur eine ist.

In Anbetracht der unterschiedlichen Risiken und Möglichkeiten, sollten die politischen Entscheidungsträger sorgfältig abwägen, welche Art von Aktivitäten für die Erreichung von Treibhausgasneutralität angerechnet werden sollten. Marktbasierte Anrechnungsmechanismen sollten nur für solche Aktivitäten zugelassen werden, bei denen die Wahrscheinlichkeit der Zusätzlichkeit hoch und das Umkehrisiko gering ist.

### Natürliche Senken durch Landnutzung in Deutschland

Im Jahr 2019 stellte der Landnutzungssektor in Deutschland insgesamt eine Nettosenke von rund -17 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. dar (Abb. 7.1-1). Insbesondere durch die Wälder wurden große Mengen CO<sub>2</sub> von -57 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. aus der Atmosphäre gebunden. In Holzprodukten wurden insgesamt -3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. gespeichert. Bei der Aufnahme und Speicherung von Kohlenstoff im Wald spielen vor allem die ober- und unterirdische Biomasse eine wesentliche Rolle (-40 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.). Weitere relevante Mengen werden durch den mineralischen Waldboden (-16 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.) gespeichert. Dagegen werden den Ackerland- und Grünlandflächen Emissionen in Höhe von je 16 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. zugeordnet. Dabei entfallen 34 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. auf die Nutzung von organischen Böden, was rund zwei Drittel aller Emissionen im LULUCF-Sektor in Deutschland

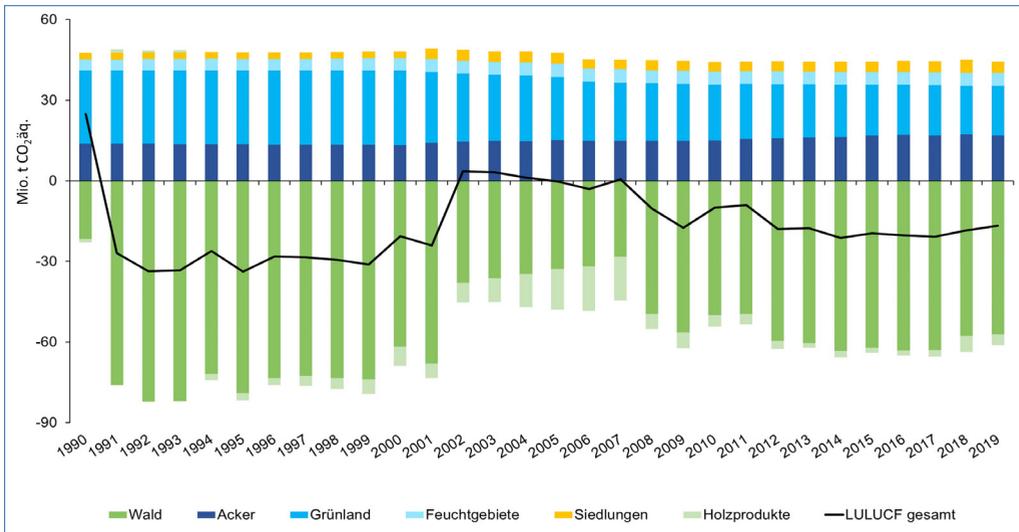


Abb. 7.1-1: Historische Emissionen (blau, orange) und CO<sub>2</sub>-Speicherungen (grün) im Landnutzungssektor in Deutschland. Quelle: UBA 2021.

entspricht. Die Netto-Neuanlage von Grünland auf mineralischen Böden verbessert die Bilanz hingegen um -2 Mio. t CO<sub>2</sub>Äq. Organische Böden in Deutschland befinden sich vor allem im Norden Deutschlands und im Voralpenraum, wo ehemals Moore nach der letzten Eiszeit entstanden waren. Moore sind Feuchtgebiete, da sie überwiegend aus Wasser bestehen. Sie speichern große Mengen Kohlenstoff für viele Jahrhunderte in Form von abgestorbenen Pflanzenresten (dabei bildet sich Torf), die durch den Luftabschluss unter Wasser nicht vollständig verrotten können, wodurch Moore andererseits Methan emittieren. Noch heute wird in Deutschland Torf auf rund 18.000 ha abgebaut, was zu Emissionen von rund 2 Mio. t CO<sub>2</sub>Äq. im Jahr 2019 führte. Insgesamt gehört Deutschland neben Finnland, Polen und Irland zu den größten Verursachern von Emissionen aus entwässerten organischen Böden (O'BROLCHAIN 2020).

Der Beitrag des Landnutzungssektors zur möglichen Treibhausgasneutralität Deutschlands wird also durch Landnutzungsemissionen, vor allem aus bewirtschafteten Moorböden, stark geschmälert. Gegenwärtig steht nur etwa 40% der Bruttosenke, die durch Wald und Holzprodukte erzeugt wird, tatsächlich für einen Ausgleich von Emissionen aus anderen Sektoren zur Verfügung (Abb. 7.1-1). Um den Nettobeitrag natürlicher Senken zu erhöhen, müssten sowohl THG-Emissionen verringert als auch Kohlenstoffspeicherung erhöht werden.

### Was sind Perspektiven für natürliche Senken in Deutschland?

Durch Maßnahmen in einzelnen Bereichen der Landnutzung in Deutschland lassen sich potenziell zukünftige THG-Emissionen vermeiden und Kohlenstoffsinken erhöhen. Tab. 7.1-1 stellt die Klimaschutzpotenziale verschiedener Landnutzungsformen für Deutschland zusammen.

Bis 2030 reichen die Potenziale von 2,5-7,3 t CO<sub>2</sub>/ha für Aufforstungen bis zu 17 t CO<sub>2</sub>/ha für die schnellwachsende Holzbiomasse in Agroforstsystemen (Tab. 7.1-1). Durch ein extensiveres Waldmanagement (siehe Kap. 7.5) können bis zu 3,8 t CO<sub>2</sub>/ha an Senkenleistung jährlich realisiert und durch die Wiedervernässung landwirtschaftlich genutzter organischer Böden bis 2030 Emissionen von ca. 25 t CO<sub>2</sub>/ha vermieden werden. Zusätzlich kann durch die Aufgabe des Torfabbaus und einer folgenden Wiedervernässung ein besonders hohes flächengewichtetes Potenzial von 122 t CO<sub>2</sub>/ha realisiert werden (Tab. 7.1-1).

Der Wald hat aufgrund seines großen Flächenanteils eine besonders hohe Bedeutung als natürliche Senke in Deutschland. Durch die Wiederherstellung von Ökosystemen, wie Mooren, und durch eine Extensivierung der Waldbewirtschaftung sowie durch die Anreicherung der landwirtschaftlichen Flächen mit Gehölzstrukturen,

können neben dem Klimaschutz auch positive Effekte für die Biodiversität, die Bodenvitalität und die Wasserretention in der Landschaft erreicht werden.

Der Landnutzungssektor steht nicht nur in Deutschland unter vielfältigem Druck. Klimaschutz, Ernährungssicherung und Erhaltung der biologischen Vielfalt erzeugen ein »Trilemma der Landnutzung«, bei dem die Gefahr besteht, dass Lösungen für die eine Herausforderung auf Kosten der anderen gehen (WBGU 2020). Dies kann vermieden werden, wenn statt sektoraler Lösungen (Fokussieren auf nur eine der Herausforderungen) ein »integrierter Umgang mit Land, der die multiplen Ziele zusammendenkt und, wo möglich, auf ein und derselben Fläche realisiert« angestrebt wird (WBGU 2020).

Eine mehr integrierte Betrachtung der Potenziale kann durch die Anwendung von Simulationsmodellen (*Integrated Assessment Models*) erreicht werden. In modellierten Szenarien lassen sich die Interaktionen zwischen Maßnahmen darstellen und auch die Auswirkungen auf andere Bereiche aufzeigen, z.B. die Wirkung von Änderungen der Waldbewirtschaftung auf das Holzaufkommen, die Wiedervernässung von Flächen auf die landwirtschaftliche Produktivität und die Flächenkonkurrenz, die zwischen Maßnahmen besteht (z.B. Aufforstung versus Grünlanderhalt).

Nach Ergebnissen solcher globalen integrierten Studien können einige Minderungsoptionen angewandt werden, ohne direkt zusätzlich Land zu beanspruchen, die aber mehrere Zusatznutzen zu bieten (SMITH et al. 2019). Trotzdem können sie sich negativ auf die Produktion von land- und forstwirtschaftlichen Gütern auswirken und dadurch Verlagerungen der Produktion in andere Teile der Welt auslösen. Um diese zu vermeiden, braucht es flankierende Maßnahmen, wie z.B. die Steigerung der Nahrungsmittelproduktivität, die Änderung der Ernährungsgewohnheiten und die Verringerung von Nahrungsmittelverlusten und -abfällen, wodurch potenziell Flächen frei werden und damit Raum für Minderungsmaßnahmen entsteht (SMITH et al. 2019). Andere Szenarien zeigen, dass, wenn keine flankierenden Maßnahmen ergriffen werden, die Nahrungsmittelproduktion und die Energieerzeugung im Zeitraum 2015-2050 um etwa 60% und der Wasserverbrauch um etwa 20% steigen könnten, was zu einer weiteren Verschlechterung der Ökosysteme und ihrer Kapazitäten führen würde (VAN VUUREN et al. 2019).

### Synthese

Natürliche Senken sind Ökosysteme, die neben der Aufnahme und Speicherung von Kohlenstoff eine Vielzahl von Funktionen haben. Sie dienen verschiedensten Arten als Lebensraum, und ein Zustand, der viele na-

Tab. 7.1-1: Übersicht zu Potenzialen zur Verringerung von Emissionen und Erhöhung von Kohlenstoffspeicherung für verschiedene Landnutzungsoptionen in Deutschland.

Optionen	Aufforstung	Waldwirtschaft inkl. Holzprodukte	Erhöhung C <sub>org</sub> auf Ackerböden	Agroforstwirtschaft	Vermeidung Grünlandumbruch	Wiedervermässung organischer Böden	Aufgabe des Torfabbaus
Studien	[1] [2] <sup>1</sup>	[3] [4]	[5] <sup>2</sup>	[6] <sup>3</sup>	[7]	[8] [9] [10] <sup>4</sup>	[9]
Minderungs- oder Senkenpotenzial in Mio. t CO <sub>2</sub> 2030	18	31 - 40	0,3–0,4	10	2,6	7-17	2,2
Spezifisches Minderungs- oder Senkenpotenzial t CO <sub>2</sub> /ha bis 2030	2,5 – 7,3	2,8 – 3,8	NN	17	NN	25,2	122
Minderungs- oder Senkenpotenzial in Mio. t CO <sub>2</sub> 2050	7,3 - 120	35 - 68	NN	10	NN	7,0–35,8	2,2
Spezifisches Minderungs- oder Senkenpotenzial t CO <sub>2</sub> /ha bis 2050	3,7	3,2 - 6,5	NN	17	NN	20–40	122
Minderungsart	Speicherung	Speicherung, vermiedene Emissionen	Speicherung	Speicherung	Vermiedene Emissionen	Vermiedene Emissionen	Vermiedene Emissionen
Änderung der Landnutzung und/oder der Bewirtschaftung	Landnutzungsänderung	Änderung der Bewirtschaftung	Änderung der Bewirtschaftung	Änderung der Bewirtschaftung	Umbbruchverbot beibehalten	Landnutzungs- und Bewirtschaftungsänderung	Landnutzungs- und Bewirtschaftungsänderung
Zusätzlicher Flächenbedarf	Ja	Nein	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein
Risiko der Verlagerung von Aktivitäten	Verdrängungsrisiken durch die Verlagerung von Aktivitäten müssen berücksichtigt werden. Optionen müssen von Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz und zur Minderung des Gesamtverbrauchs begleitet werden.						
Synergien und Konflikte mit gesellschaftlichen Zielen	Sozioökonomisch, Holzproduktion, Biodiversität, Wasser, Boden, Nahrungsmittelproduktion	Biodiversität, Erholung, Wasser, Boden, Nahrungsmittelproduktion	Biodiversität, Bodenfruchtbarkeit, Nahrungsmittelproduktion	Biodiversität, Erholung, Wasser, Boden, Nahrungsmittelproduktion	Biodiversität, Wasser, Boden	Biodiversität, Wasser, Erholung, Methan	Boden
Dauerhaftigkeit bzw. Reversibilität	Risiken des Klimawandels müssen berücksichtigt werden. Optionen müssen von Anpassungsmaßnahmen begleitet werden, um die Anfälligkeit der Ökosysteme für natürliche Störungen zu verringern.						

<sup>1</sup> Wert ist ein Review aus Werten der nationalen Berichterstattung unter UNFCCC.

<sup>2</sup> Studie bezieht sich auf Bayern.

<sup>3</sup> Daten beziehen sich nur auf den Gehölzanteil des Systems, Mittelwert über verschiedene Systeme schnellwachsender Pflanzen und längerer Umliebszeiten von 5 – 100 Jahren.

<sup>4</sup> Daten beinhalten auch die Aufgabe des Torfabbaus.

[1] Wiss. Beiträge BMEL (2016)

[2] UNFCCC CRF (2020), (2021)

[3] RÜTER et al. (2017) OEHMICHEN et al. (2018); WEHAM-Naturschutzpräferenzszenario

[4] BÖTTCHER et al. (2018); FA/Bio-Waldvision

[5] WYEMMEIER et al. (2017)

[6] TSONKOVA & BÖHM (2020)

[7] UBA (2019); Projektionsbericht der Bundesregierung von 2019

[8] Wiss. Beiträge BMEL (2016)

[9] PROGNOSES et al. (2020)

[10] TANNENBERGER et al. (2021)

türliche Prozesse im Ökosystem zulässt, ist essentiell für den Schutz der Biodiversität. Außerdem tragen sie wesentlich zur Grundwasserneubildung bei. Laub- und Mischwälder können ihre Umgebung mit Hilfe von Verdunstungsenergie an heißen Tagen kühlen. Moore sind wichtige dynamische Wasserreservoirs, die viel Wasser aufnehmen, aber auch abgeben können und somit einen wesentlichen Beitrag zu einem funktions-tüchtigen Wasserlandschaftshaushalt leisten. Darüber hinaus sind Wälder, artenreiche Grünländer und struk-turreiche Agrarflächen sowie Moore unverzichtbare Erholungsgebiete für uns Menschen, und für einige von uns sichern sie den Arbeitsplatz. Daher sollte bei der Planung und Zielsetzung für die angestrebten Sen-kenpotenziale die Multifunktionalität der Ökosysteme gewahrt und gefördert werden. Eine Maximierung der Senkenleistung kann also nur unter Betrachtung und Berücksichtigung aller anderen Funktionen der als nat-ürliche Senken fungierenden Ökosysteme erfolgen. Nur so kann langfristig auch die Resilienz der nat-ürlichen Senken gegenüber einem sich immer schneller ändernden Klima sichergestellt werden.

Eine Nettosenke zum Ausgleich der verbleibenden Emissionen in der Landwirtschaft und Industrie, die nicht vermieden werden können, muss langfristig und von hoher Beständigkeit sein sowie zur allgemeinen Umweltintegrität beitragen, um so eine tatsächlich »grüne Null« zu erreichen. Die langfristige Kohlenstoff-speicherung ist die wichtigste Herausforderung, die nur

erfolgreich bewältigt werden kann, wenn das Senkenpotenzial von Wäldern, Feuchtgebieten und Böden durch nachhaltige Nutzung aufrechterhalten wird und die ge-speicherten Kohlenstoffvorräte geschützt werden.

Dabei bestehen für alle Landnutzungsformen Synergien zwischen Schutz- und Nutzungszielen, die realisiert werden können, wenn Klimaschutz, Biodiver-sitätsschutz und Klimaanpassung zusammengedacht werden (Abb. 7.1-2). Integrierte Strategien mögen nicht den optimalen Nutzen für einzelne Ziele darstellen. Aber sie ermöglichen einen Ausgleich, der langfristig für den Erhalt aller Funktionen der Ökosysteme wich-tig ist und wodurch diese auch langfristig ihren Beitrag zur Treibhausgasneutralität leisten können.

**Literatur**

BMU (2020): Die Lage der Natur in Deutschland. Ergebnisse von EU-Vogelschutz- und FFH-Bericht. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Berlin, Bonn. [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Naturschutz/bericht\\_lage\\_natur\\_2020\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/bericht_lage_natur_2020_bf.pdf) (abgerufen am 14.05.2021).

BÖTTCHER, H., K. J. HENNEBERG & C. WINGER (2018): Wald-vision Deutschland - Beschreibung von Methoden, Annahmen und Ergebnissen. Öko-Institut e.V. Berlin. <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Waldvision-Methoden-und-Ergebnisse.pdf>.

BÖTTCHER, H. & J. REISE (2020): The climate impact of forest and land management in the EU and the role of current reportig and accounting rules. An investigation into the incentives provided by LULUCF reporting and accounting and their implications. Briefing for ECF and FERN. Öko-Institut. <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Briefing-LULUCF-FERN.pdf> (Abgerufen am 12.05.2021).

BÖTTCHER, H., J. REISE & K. HENNEBERG (2021): Explor-

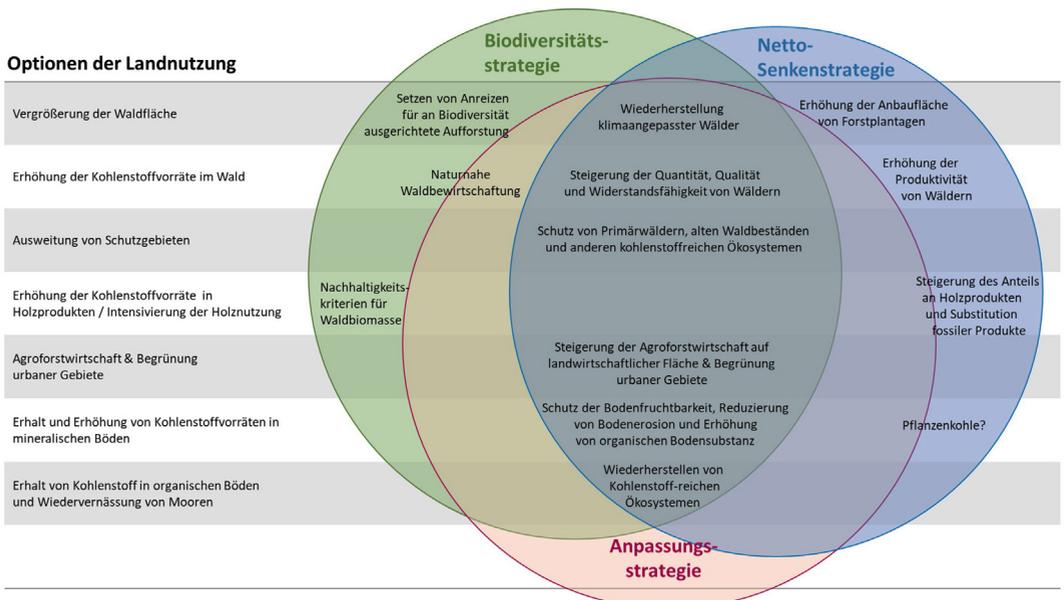


Abb. 7.1-2: Synergien von Landnutzungsoptionen für natürliche Senken, Anpassung an den Klimawandel und Biodiversitätsschutz. Quelle: BÖTTCHER et al. 2021.

- atory Analysis of an EU Sink and Restoration Target. Commissioned by Greenpeace Germany. Öko-Institut. Berlin. <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/GP-Sink-Target.pdf> (Abgerufen am 19.03.2021).
- EUROPEAN COMMISSION. DIRECTORATE GENERAL FOR CLIMATE ACTION.; COWI.; EXERGIA.; SILVESTRUM.; TECHNOPSIS. (2021): Reviewing the contribution of the land use, land-use change and forestry sector to the Green Deal: final study: Publications Office.
- FRIEDLINGSTEIN, P., M. O'SULLIVAN, M. W. JONES, R. ANDREW et al. (2020): Global Carbon Budget 2020. In: Earth Syst. Sci. Data 12 (4), S. 3269–3340. DOI: 10.5194/essd-12-3269-2020.
- IPCC (2006): IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hrsg. S. EGGLESTON, L. BUENDIA, K. MIWA, T. NGARA & K. TANABE. Japan: IGES. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>.
- IPCC (2019a): 2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/> (Abgerufen am 03.09.2019).
- IPCC (2019b): Summary for Policymakers. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/srcc/>.
- NORRIS, C., P. HOBSON & P. L. IBISCH (2011): Microclimate and vegetation function as indicators of forest thermodynamic efficiency. In: Journal of Applied Ecology 102, no-no. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2011.02084.x.
- O'BROLCHAIN, N. (2020): CAP Policy Brief Peatlands in the new European Union Version 4.8. <https://www.eurosite.org/wp-content/uploads/CAP-Policy-Brief-Peatlands-in-the-new-European-Union-Version-4.8.pdf>.
- OEHMICHEN, K., S. KLATT, K. GERBER, H. POLLEY et al. (2018): Die alternativen WEHAM-Szenarien: Holzpräferenz, Naturschutzpräferenz und Trendfortschreibung. Szenarienentwicklung, Ergebnisse und Analyse. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut (Thünen Report, 59).
- O'HARA, K. L. & B. S. RAMAGE (2013): Silviculture in an uncertain world: utilizing multi-aged management systems to integrate disturbance. In: Forestry (Lond) 86 (4), S. 401–410. DOI: 10.1093/forestry/cpt012.
- PEUKERT, H. (2021): Klimaneutralität jetzt! Politiken der Klimaneutralität auf dem Prüfstand: IPCC-Berichte, Pariser Abkommen, europäischer Emissionshandel und Green Deal, internationale freiwillige Klimakompensationsprojekte und die deutsche Klimapolitik. Marburg: Metropolis.
- PROGNOS; ÖKO-INSTITUT; WÜPPERTAL-INSTITUT (2020): Klimaneutrales Deutschland. Zusammenfassung im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität. Berlin. [https://static.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2020/2020\\_10\\_KNDE/A-EW\\_192\\_KNDE\\_Zusammenfassung\\_DE\\_WEB.pdf](https://static.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2020/2020_10_KNDE/A-EW_192_KNDE_Zusammenfassung_DE_WEB.pdf) (Abgerufen am 23.10.2020).
- RÜTER, S., W. STÜMER & K. DUNGER (2017): Treibhausgasbilanzen der WEHAM-Szenarien. In: AFZ DerWald (13), S. 30–31.
- SEIDL, R., M.-J. SCHELHAAS, W. RAMMER & P. J. VERKERK (2014): Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage. In: Nature Climate Change 4 (9), S. 806–810. DOI: 10.1038/nclimate2318.
- SEIDL, R., D. THOM, M. KAUTZ, D. MARTIN-BENITO et al. (2017): Forest disturbances under climate change. In: Nature Climate Change 7, S. 395–402. DOI: 10.1038/nclimate3303.
- SMITH, P., C. CALVIN, J. NKEM, D. CAMPBELL et al. (2019): Which practices co-deliver food security, climate change mitigation and adaptation, and combat land degradation and desertification? In: Global Change Biology. DOI: 10.1111/gcb.14878.
- TANNEBERGER, F., S. ABEL, J. COUWENBERG, T. DAHMS et al. (2021): Towards net zero CO<sub>2</sub> in 2050: An emission reduction pathway for organic soils in Germany. In: Mires and Peat (27). DOI: 10.19189/MaP.2020.SNPG.Sta.1951.
- TSONKOVA, P. & C. BÖHM (2020): CO<sub>2</sub>-Bindung durch Agroforst-Gehölze als Beitrag zum Klimaschutz. "Innovationsgruppe AUFWERTEN – Agroforstliche Umweltleistungen für Wertschöpfung und Energie". Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Sanfleben (Hrsg.). [https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2021/02/06\\_CO2-Bindung.pdf](https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2021/02/06_CO2-Bindung.pdf) (Abgerufen am 14.06.2021).
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2019): Projektionsbericht 2019 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013. Umweltbundesamt. [https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art04-13-14\\_leds\\_pams\\_projections/projections/envxnw7wq/Projektionsbericht-der-Bundesregierung-2019.pdf](https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art04-13-14_leds_pams_projections/projections/envxnw7wq/Projektionsbericht-der-Bundesregierung-2019.pdf).
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2021): Nationaler Inventarbericht. Detaillierte Berichtstabellen CRF 2021. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau. [https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art07\\_inventory/ghg\\_inventory/envy-d8tq/](https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art07_inventory/ghg_inventory/envy-d8tq/) (Abgerufen am 24.06.2021).
- UNFCCC CRF (2020): National Inventory Submissions 2020. Hg. v. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). <https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2020> (Abgerufen am 16.06.2021).
- UNFCCC CRF (2021): National Inventory Submissions 2021. <https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2021> (Abgerufen am 16.06.2021).
- VAN VUUREN, D. P., D. L. BIJL, P. BOGAART, E. STEHFEST et al. (2019): Integrated scenarios to support analysis of the food–energy–water nexus. In: Nat Sustain 2 (12), S. 1132–1141. DOI: 10.1038/s41893-019-0418-8.
- WBGU (2020): Landwende im Anthropozän: Von der Konkurrenz zur Integration. Berlin. [https://www.wbgu.de/fileadmin/user\\_upload/wbgu/publikationen/hauptgutachten/hg2020/pdf/WBGU\\_HG2020\\_ZF.pdf](https://www.wbgu.de/fileadmin/user_upload/wbgu/publikationen/hauptgutachten/hg2020/pdf/WBGU_HG2020_ZF.pdf) (Abgerufen am 02.06.2021).
- WIESMEIER, M., J. BURMEISTER, M. TREISCH & R. BRAND-HUBER (2017): Klimaschutz durch Humusaufbau – Umsetzungsmöglichkeiten der 4 Promille-Initiative in Bayern. [https://www.researchgate.net/publication/321141231\\_Klimaschutz\\_durch\\_Humusaufbau\\_-\\_Umsetzungsmoeglichkeiten\\_der\\_4\\_Promille-Initiative\\_in\\_Bayern](https://www.researchgate.net/publication/321141231_Klimaschutz_durch_Humusaufbau_-_Umsetzungsmoeglichkeiten_der_4_Promille-Initiative_in_Bayern) (Abgerufen am 26.03.2021).
- WISS. BEIRÄTE BMEL (2016): Klimaschutz in der Land- und Forstwirtschaft sowie den nachgelagerten Bereichen Ernährung und Holzverwendung. Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlicher Verbraucherschutz beim BMEL; Wissenschaftlicher Beirat für Waldpolitik beim BMEL. Berlin. [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Ministerium/Beiraete/agrarpolitik/Klimaschutzgutachten\\_2016.html](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Ministerium/Beiraete/agrarpolitik/Klimaschutzgutachten_2016.html) (Abgerufen am 04.05.2020).

**Kontakt:**

Dr. Hannes Böttcher

Dr. Klaus Joseph Hennenberg

Judith Reise

Anke Benndorf

Öko-Institut e.V. - Berlin

Institut für angewandte Ökologie

H.Boettcher@oeko.de

**BÖTTCHER, H., K. J. HENNENBERG, J. REISE & A. BENNDORF (2021): Treibhausgasneutralität: Wie können natürliche Senken in Deutschland zur »grünen Null« beitragen? In: LOZAN J. L., S.-W. BRECKLE, H. GRAßL & D. KASANG (Hrsg.). Warnsignal Klima: Boden & Landnutzung. S. 319-327. Wissenschaftliche Auswertungen in Kooperation mit GEO, Hamburg. [www.warnsignal-klima.de](http://www.warnsignal-klima.de). DOI:10.25592/warnsignal.klima.boden-landnutzung.44**