



---

## Ausarbeitung

---

### **CO<sub>2</sub>-Emissionen landwirtschaftlich genutzter Flächen**

## **CO<sub>2</sub>-Emissionen landwirtschaftlich genutzter Flächen**

Aktenzeichen: WD 8 - 3000 - 099/21

Abschluss der Arbeit: 17. Dezember 2021

Fachbereich: WD 8: Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit,  
Bildung und Forschung

---

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzugeben und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Grundlagen des Kohlenstoff-Kreislaufes</b>	<b>5</b>
2.1.	CO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> -Äquivalente und Treibhausgase	5
2.2.	Kohlenstoffspeicher und Kohlenstoffsenken	6
2.3.	Berechnung und Erfassungsmechanismen	6
2.4.	Zertifikate für Humus	10
2.5.	Zur Ambivalenz hinsichtlich der Klimawirkung von Agrarflächen	13
2.6.	Zum Vergleich der Energiebilanzierung verschiedener Energieträger	15
<b>3.</b>	<b>Daten zur CO<sub>2</sub>-Speicherung in verschiedenen Böden</b>	<b>16</b>
3.1.	Allgemeine Hinweise zu den Ökosystemen Wald, Landwirtschaftlich genutzte Böden und Moore	16
3.2.	Waldböden	19
3.3.	Moore	22
3.4.	Landwirtschaftlich genutzte Böden	25
<b>4.</b>	<b>Allgemeinverständliche Darstellungen</b>	<b>31</b>
4.1.	Bodenatlas 2015	31
4.2.	Max Planck Gesellschaft	32
4.3.	Spektrum der Wissenschaft	32
4.4.	Umweltbundesamt	32
4.5.	Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung	33
4.6.	Thünen-Institut	33

## 1. Einleitung

Landwirtschaftlich genutzte Flächen (Ackerland, Dauergrünland, Wechselgrünland, Dauerkulturen etc.) sind hinsichtlich ihrer klimatischen Wirkung ambivalent. Auf der einen Seite kann das von Pflanzen gebundene Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) ggf. über Jahre der Atmosphäre entzogen bleiben. Daher arbeiten auch Wissenschaftler an der Modifikation von Pflanzen, die  $\text{CO}_2$  besonders gut verwerten können und besonders effizient Photosynthese betreiben.<sup>1</sup> Ackerpflanzen können auch einen Beitrag zur Humusbildung (wenn aktiv Humusaufbau betrieben wird) leisten. Dieser besteht zu etwa 60 Prozent aus Kohlenstoff. Auf der anderen Seite gilt der landwirtschaftliche Sektor aber als Emittent von Treibhausgasen. Dies liegt in besonderem Maße an Düngungs- und Landumwandlungsprozessen. Je nach Art und Intensität der Bearbeitung des landwirtschaftlich genutzten Bodens fallen die Treibhausgasemissionen unterschiedlich stark aus.

Böden (d.h. die Pedosphäre) bilden die Grenzfläche zwischen der Atmosphäre und Biosphäre<sup>2</sup> auf der einen Seite und der Erdkruste und äußersten Schicht des Erdmantels auf der anderen Seite.

Sie erfüllen verschiedene Aufgaben: Sie sind Lebensgrundlage für terrestrische Pflanzen, sie regulieren den Wassergehalt (Wasserspeicher), filtern Wasser und dienen als Schadstoffpufferung. Böden bilden den Lebensraum für zahlreiche Bodenorganismen. Insbesondere sind sie auch für den Kohlenstoff-Kreislauf von Bedeutung. Im Boden wird mehr als doppelt so viel Kohlenstoff wie in der oberirdischen Pflanzendecke gespeichert (im Boden gespeicherter organischer Kohlenstoff = soil organic carbon = SOC<sup>3</sup>). Treten Veränderungen auf (z.B. im Zuge des Klimawandels), so können sich auch die Bodeneigenschaften nachhaltig ändern.

Prinzipiell werden in gesunden Böden erhebliche Mengen an klimawirksamen Verbindungen, darunter auch  $\text{CO}_2$ , gespeichert. Dies gilt in unterschiedlichem Ausmaß für verschiedene Bodentypen wie Waldböden, Feuchtgebiete, Ackerböden und Grünland. Dies führt dazu, dass für die Definition von Maßnahmen, durch die klimaschädlichen Wirkungen von Treibhausgasen eingedämmt werden sollen, die Betrachtung von Landnutzungsveränderungen und von Bewirtschaft-

---

1 Eine allgemeinverständliche Einführung findet sich im Informationsportal „Transparenz Gentechnik“ unter: <https://www.transgen.de/forschung/2734.photosynthese.html>.

Pressemitteilung zur Publikation Wang H et al.: Rubisco condensate formation by CcmM in  $\beta$ -carboxysome biogenesis. Nature, Januar 2019. <https://www.nature.com/articles/s41586-019-0880-5>; <https://www.biophys.mpg.de/20190123-wang-hayerhartl>.

Siehe auch Interview mit Prof. Westhoff, Universität Düsseldorf: [https://www.pflanzenforschung.de/application/files/5915/7355/9023/GXPS\\_Schuelerheft\\_2015\\_lr.pdf](https://www.pflanzenforschung.de/application/files/5915/7355/9023/GXPS_Schuelerheft_2015_lr.pdf) (Seite 11 ff).

2 Der von Organismen bewohnbare Raum der Erde. Die Biosphäre umfasst die Wasserlebensräume (Hydro-Biosphäre) und die Landlebensräume (Geo-Biosphäre). <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/biosphaere/1576>.

3 Bodenkohlenstoff = Soil Carbon kann entweder als organischer Kohlenstoff oder anorganischer auftreten. Bei anorganischem Kohlenstoff im Boden handelt es sich um mineralische Formen von Kohlenstoff. Sie entstehen aus Verwitterungen oder aus der Reaktion von Bodenmineralien mit atmosphärischem  $\text{CO}_2$ . Organischer Kohlenstoff im Boden ist als organische Substanz im Boden vorhanden (Pflanzenreste, Humus und Holzkohle).

tung der Böden besonders wichtig sind. Durch Veränderungen und nicht nachhaltige Bewirtschaftung können Böden mehr Treibhausgase abgeben (Quelle), als sie speichern bzw. aufnehmen. Darum verfolgen Maßnahmen, durch die ein wirksamer Klimaschutz erreicht werden soll, das Ziel, die natürliche C-Senkenfunktion der Böden (mehr Kohlenstoff wird aufgenommen als abgegeben) weitmöglichst zu erhalten oder wiederherzustellen.

In der vorliegenden Arbeit wird zunächst auf verschiedene Grundlagen zum Verständnis des Kohlenstoff-Kreislaufes, der für die landwirtschaftliche Betrachtung von Bedeutung ist, eingegangen und Erfassungsmechanismen vorgestellt. Sodann wird erläutert, inwiefern eine Ambivalenz hinsichtlich der klimaschädlichen Wirkung von landwirtschaftlich genutzten Flächen besteht. Es wird auf Einzelaspekte der vergleichenden Energiebilanzierung von fossilen Energieträgern und Biomasse eingegangen. Sodann werden Daten zur Speicherung von CO<sub>2</sub> in verschiedenen Bodentypen vorgestellt.

Abschließend wird eine Literaturauswahl allgemeinverständlicher Literatur aufgeführt, die verschiedene Aspekte der Speicherung organischer Kohlenstoff-Verbindungen in unterschiedlichen Bodentypen thematisieren.

## 2. Grundlagen des Kohlenstoff-Kreislaufes

### 2.1. CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>-Äquivalente und Treibhausgase

Treibhausgase (THG) sind Gase, die, wenn sie in die Atmosphäre gelangen, zu einer Temperaturerhöhung führen. Sie können sowohl natürlichen Ursprungs sein, als auch durch den Menschen verursacht auftreten (anthropogen). Sie haben die Eigenschaft, dass sie einen Teil der vom Boden abgestrahlten Wärme nicht ins Weltall durchlassen, sondern absorbieren. Das wichtigste Treibhausgas, das durch den Menschen verursacht wird, ist Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). Daneben existieren weitere klimawirksame Treibhausgase, z.B. Methan (CH<sub>4</sub>) oder Lachgas (N<sub>2</sub>O). Die Gase unterscheiden sich in ihrer Wirksamkeit und in ihrer Verweildauer in der Atmosphäre.

Um diese unterschiedlichen Gase miteinander vergleichen zu können, wurde vom „Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC“ das so genannte „Global Warming Potential“ (GWP, auch Treibhauspotenzial genannt) definiert. Dies ist eine Maßzahl, die den Beitrag einer Verbindung zum Treibhauseffekt beziffern soll. Hierbei wird angegeben wie stark die Emissionen von einer Tonne eines Gases über einen bestimmten Zeitraum im Verhältnis zu den Emissionen von ebenfalls einer Tonne Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) zur globalen Erwärmung beitragen. Je größer das GWP, desto stärker erwärmt ein bestimmtes Gas die Erde im Vergleich zu CO<sub>2</sub> in diesem Zeitraum. Üblicherweise wird für GWPs ein Zeitraum von 100 Jahren verwendet. **Kohlendioxid** hat deftigionsgemäß ein GWP von 1, da es das Gas ist, das als Referenz verwendet wird. CO<sub>2</sub> verbleibt sehr lange im Klimagesystem: CO<sub>2</sub>-Emissionen verursachen eine Zunahme der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration, die Jahrtausende andauern.

**Methan** (CH<sub>4</sub>) hat eine mindestens 28fach stärkere Klimawirkung als CO<sub>2</sub> (GWP von 28–36 über 100 Jahre), verbleibt allerdings auch weniger lange in der Atmosphäre (ca. 10 Jahre). Die Klimawirkung von **Lachgas** (N<sub>2</sub>O) hingegen ist ca. 300fach höher als die von CO<sub>2</sub> (GWP von 265–298 über 100 Jahre) und verbleibt ca. 100 Jahre in der Atmosphäre. Sowohl Methan als auch Lachgas entstehen als anthropogene Quelle in der Landwirtschaft durch den Einsatz von Stickstoffdünger und die Nutztierhaltung.

Auch wenn die Klimawirkung von Methan und Lachgas höher ausfällt als die von CO<sub>2</sub>, hat Kohlendioxid - das langlebigste Treibhausgas - den stärksten Anteil am Treibhauseffekt der Erde. Der Effekt von Treibhausgasen wird in Watt pro Quadratmeter (W/m<sup>2</sup>) beziffert; der gesamte Effekt aller Treibhausgase beträgt 3,141 W/m<sup>2</sup>. Davon entfallen laut Angaben des Umweltbundesamtes 66,1 Prozent auf CO<sub>2</sub>, 16,4 Prozent auf Methan und 6,4 Prozent auf Lachgas.<sup>4</sup>

Um zu kennzeichnen, dass es sich bei der Treibhauswirkung nicht um CO<sub>2</sub> selbst handelt, sondern um ein anderes klimawirksames Gas, spricht man von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (auch als CO<sub>2</sub>e bezeichnet).<sup>5</sup>

## 2.2. Kohlenstoffspeicher und Kohlenstoffsenken

Für die klimapolitische Debatte ist es wichtig zwischen den Begriffen **Kohlenstoffsenke** und **Kohlenstoffspeicher** zu unterscheiden, obwohl teilweise diese Begriffe synonym verwandt werden.

Eine Kohlenstoffsenke (auch als CO<sub>2</sub>-Senke bezeichnet) beschreibt ein zeitweiliges oder dauerhaftes Reservoir, das Kohlenstoff(verbindingen) sowohl aufnimmt als auch speichert. Wichtig ist dabei der dynamische Charakter, d.h. Senken nehmen im Zeitverlauf Kohlenstoff auf.

Bei der Definition von Senken (sink) wird auf den Internetseiten des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) daher auch von einem „Prozess“ gesprochen und damit der zeitliche Charakter des Entziehens von Treibhausgasen aus der Atmosphäre unterstrichen:

„Sink: Any process, activity or mechanism which removes a greenhouse Gas, an aerosol or a precursor of a greenhouse gas from the atmosphere. Forests and other vegetation are considered sinks because they remove carbon dioxide through photosynthesis.“<sup>6</sup>

Ein Speicher hingegen ist ein statisches Reservoir und beschreibt die Bindung einer gewissen Menge an CO<sub>2</sub>. Aus einem Speicher heraus kann Kohlenstoff bevoorratet werden (nachhaltiger Humusvorrat), aber auch freigesetzt werden (Trockenlegung von Mooren oder Humusbau).

## 2.3. Berechnung und Erfassungsmechanismen

Deutschland ist im Rahmen der **Klimarahmenkonvention** (UNFCCC) verpflichtet, regelmäßig Emissionsberichte zu erstellen. Hierfür müssen die sechs direkten Treibhausgase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC, SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>) und die vier indirekten Treibhausgase (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NMVOC, CO) angegeben

---

4 <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/atmosphaerische-treibhausgas-konzentrationen#beitrag-langlebiger-treibhausgase-zum-treibhauseffekt>.

5 Weitergehende Informationen siehe: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>.

6 <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-convention/glossary-of-climate-change-acronyms-and-terms>.

werden. Die Emissionen der Treibhausgase werden nach international einheitlichen Vorgaben berechnet und erfasst. Dies stellt sicher, dass es eine einheitliche und vergleichbare Basis gibt.

*„Das Kyoto-Protokoll als Teil der Klimarahmenkonvention schreibt vor, dass jedes Land ein `Nationales System` für die Berechnung der Treibhausgasinventare einrichtet. [...] In Deutschland hat das **Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit** (BMUB) dieses System auf ministerieller Ebene etabliert. Fachlich wichtige Beiträge bei der Erstellung der Emissionsinventare leisten neben den Experten im Umweltbundesamt das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, das Verteidigungsministerium, das Verkehrsministerium und das Statistische Bundesamt sowie weitere Institutionen, die statistische Daten bereitstellen. Im Umweltbundesamt ist dazu die **nationale Koordinierungsstelle für die Emissionsberichterstattung** in Deutschland eingerichtet. Zu den wichtigsten Aufgaben der nationalen Koordinierungsstelle gehören die Planung, Erstellung und Archivierung der Inventare. Außerdem verfasst das UBA [Umweltbundesamt] den Nationalen Inventarbericht (NIR) und ist für die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung bei allen relevanten Prozessschritten verantwortlich. Gleichzeitig ist die nationale Koordinierungsstelle die zentrale Anlaufstelle aller beteiligten Institutionen.“<sup>7</sup>*

Es liegt nahe, dass nicht sämtliche Emissionen direkt gemessen werden können, sondern indirekt ermittelt werden müssen. Zum Erfassungsverfahren gibt das UBA an:

*„Für alle Treibhausgase und Luftschaadstoffe wurden die Emissionsquellen innerhalb der Landesgrenzen ermittelt. Für diese Quellen wurde untersucht, wie hoch die Emissionen sind und unter welchen Bedingungen sie freigesetzt wurden. Daraus lassen sich spezifische Emissionsfaktoren ableiten. Multipliziert man die Aktivitätsdaten einer Quelle mit dem Emissionsfaktor erhält man die Emissionsmenge, kurz Emission. Um das Emissionsinventar zu erstellen, müssen sehr große Datenmengen erfasst und verarbeitet werden. Hierfür unterhält das Umweltbundesamt ein detailliertes Datenbanksystem, das `Zentrales System Emissionen`.“<sup>8</sup>*

Eine weitergehende Einführung in das nationale Berichterstattungssystem wird auf den Internetseiten des UBA bereitgestellt.<sup>9</sup> Spezifische Emissionsdaten zu Landnutzung, -änderung und Forstwirtschaft sind ebenfalls auf den Seiten des UBA abrufbar.<sup>10</sup> Die Daten für die Jahre 1990 bis

---

7 <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/wie-funktioniert-die-berichterstattung>.

8 Ebd.

9 <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/wie-funktioniert-die-berichterstattung>.

10 <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland/emissionen-der-landnutzung-aenderung>.



Am **Institut für Agrarklimaschutz** des Thünen-Instituts werden **jährlich die nationalen Emissionsinventare** als wissenschaftliche Bestandsaufnahmen der Emissionssituation erarbeitet. Das Johann Heinrich von Thünen-Institut (kurz Thünen-Institut) existiert seit 2008 und ist eine Resortforschungseinrichtung des Bundes, die aus drei Vorgänger-Bundesforschungsanstalten entstanden ist: aus der Bundesforschungsanstalt für Fischerei (BFAFi), der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH) sowie großen Teilen der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL). Darum existieren innerhalb des Thünen-Instituts die drei Fachinstitute „Felder“, „Wälder“, „Meere“. Innerhalb des fachlichen Bereichs „Felder“ ist das Institut für Agrarklimaschutz angesiedelt, u.a. mit dem Arbeitsbereich „Emissionsinventare“.<sup>11</sup> Vor dem Hintergrund der Emissionsberichterstattung 2021 ist ein Bericht zu Methoden und Daten unter dem Titel „Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 – 2019“, erschienen, der im Internet frei verfügbar ist.<sup>12</sup>

*„Der Bericht dokumentiert die im deutschen landwirtschaftlichem Inventarmodell Py-GAS-EM<sup>13</sup> integrierten Berechnungsverfahren sowie die Eingangsdaten, Emissionsergebnisse und Unsicherheiten der Berichterstattung 2021 für die Jahre 1990 bis 2019. [...] Die Berechnungsverfahren beruhen in erster Linie auf den internationalen Regelwerken zur Emissionsberichterstattung und wurden durch die Arbeitsgruppe „Landwirtschaftliche Emissionsinventare“ des Thünen-Instituts in den vergangenen Jahren beständig weiterentwickelt [...]. Zusätzlich wurden technische Maßnahmen wie Abluftreinigung (Minderung von Ammoniakemissionen) und die Vergärung von Wirtschaftsdünger (Minderung von Methan- und Lachgasemissionen) berücksichtigt. Für die Berechnung von Emissionen aus der Vergärung von Wirtschaftsdünger und Energiepflanzen (einschließlich Gärrestausbringung) entwickelte die vorgenannte Arbeitsgruppe in Zusammenarbeit mit dem Ktbl<sup>14</sup> eine deutsche Methodik.“<sup>15</sup>*

Hinsichtlich der Ergebnisse zur Bewirtschaftung von Agrarflächen werden folgende Ergebnisse aus dem Bericht in der Zusammenfassung genannt:

11 <https://www.thuenen.de/de/ak/>.

12 [Rösemann et al.] Rösemann C, Haenel H-D, Vos C, Dämmgen U, Döring U, Wulf S, Eurich-Menden B, Freibauer A, Döhler H, Schreiner C, Osterburg B, Fuß R (2021) Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2019 : Report on methods and data (RMD) Submission 2021. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 454 p, Thünen Rep 84, DOI:10.3220/ REP1616572444000; [https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-report/Thuenen\\_Report\\_84.pdf](https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-report/Thuenen_Report_84.pdf).

13 Inventar-Modell „Gasförmige Emissionen“; Py-GAS-EM ist ein in der Programmiersprache Python geschriebenes Programm zur Berechnung gas- und partikelförmiger Emissionen aus Tierhaltung und Pflanzenbau in der Landwirtschaft. Zur Emissionsberechnung mit dem Py-GAS-EMModell wird das System Landwirtschaft im Sinne der IPCC-Berichterstattung definiert. Die Methoden zur Emissionsberechnung beruhen auf den Vorgaben der entsprechenden Konventionen und den aktuellen Regelwerken. (siehe Seite 32 in [Rösemann et al.]).

14 Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Ktbl); <https://www.ktbl.de/>.

15 Seite XXIII ebd.

*„Auch die Emissionen aus der Mineraldüngerausbringung sind höher als 1990, obwohl die ausgebrachte Mineraldüngermenge (in Stickstoff-Einheiten) abgenommen hat. Dies liegt am steigenden Harnstoffanteil, da Harnstoff einen deutlich höheren Emissionsfaktor aufweist als andere Mineraldünger. Einen großen Anteil am Anstieg der NH<sub>3</sub>-Emissionen in den zurückliegenden Jahren hat die Zunahme der Vergärung von Energiepflanzen. Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen und der Ausbringung von Energiepflanzengärresten werden zwar berichtet, bleiben im Hinblick auf die Einhaltung international vereinbarter Emissionsobergrenzen derzeit noch ohne Berücksichtigung (Adjustment). Ohne Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen (incl. Ausbringung der Gärreste) liegen die NH<sub>3</sub>-Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2019 bei 500,0 Gg<sup>16</sup> und damit um 26,6 % niedriger als 1990 mit 681,6 Gg und um 9,4% niedriger als 2005 mit 551,6 Gg. Mit der Vergärung von Energiepflanzen (incl. Gärrestausbringung) liegen die Gesamt-NH<sub>3</sub>-Emissionen 2019 bei 557,8 Gg (- 18,2 % gegenüber 1990 und - 0,009% gegenüber 2005).“<sup>17</sup>*

Die Darstellung der NH<sub>3</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen ist besonders wichtig, da sie einen Großteil der direkten Emissionen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen ausmachen. Im Kapitel 11 des zitierten Berichts findet sich eine detaillierte Darstellung, wie die Daten zu diesen Emissionen gesammelt werden und welche Methoden im Einzelnen angewandt werden.<sup>18</sup>

## 2.4. Zertifikate für Humus

Als Humus wird die Gesamtheit der organischen Stoffe im Boden, die beim Abbau und Umbau pflanzlicher und tierischer Überreste entstehen (Humifizierung) bezeichnet.<sup>19</sup> Er besteht zu 60 Prozent aus Kohlenstoff und ist daher für die Klimaschutzdebatte bedeutsam. Die Bewirtschaftung des Bodens ist ausschlaggebend für das Ausmaß an Kohlenstoffspeicherung. Seit einiger Zeit wird diskutiert, ob freiwillige CO<sub>2</sub>-Zertifikate für Humusneubildung im landwirtschaftlichen Sektor eine Option sind, um einen Ausgleich für ihre Klimaschutzleistungen zu erhalten. Im Zuge von Klimaschutzprojekten wurden verschiedene Kriterien für Zertifikate formuliert.<sup>20</sup> Um dies auf mögliche Humus-Zertifizierungen zu übertragen, müssten wichtige Faktoren erfüllt sein:

- 1) Die Wirkung der klimaschützenden Maßnahme muss **nachweisbar** sein.

16 1.000 Tonnen sind 1 Gg (Gigagramm) CO<sub>2</sub>-Äquivalent.

17 Seite XXXIV ebd.

18 [Rösemann et al.] Seite 340 ff.

19 <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/humus/32850>.

20 [https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/Factsheet\\_Freiwillige-Kompensation.pdf?blob=publicationFile&v=12](https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/Factsheet_Freiwillige-Kompensation.pdf?blob=publicationFile&v=12).

- 2) Die Maßnahme muss „**zusätzlich**“ sein. „Das heißt, ohne den Verkauf der Zertifikate und den daraus ergebenen Erlös, hätte das Projekt nicht realisiert werden können.“<sup>21</sup>
- 3) Die Minderung bzw. Einsparung der Emissionen sollten einen **dauerhaften** Charakter haben.
- 4) Das Projekt darf keine **Verlagerungseffekte** erzeugen. Das bedeutet, dass hierdurch nicht an anderer Stelle Emissionen verursacht werden dürfen und der Humusvorrat nicht reduziert werden darf.
- 5) Die Minderung oder Einsparung darf **nicht mehrfach gezählt** werden (d.h. das Zertifikat nicht mehrfach verkauft werden).

Auf einer Informationsseite des Thünen-Instituts werden die oben benannten Kriterien für CO<sub>2</sub>-Zertifikate im Einzelnen vorgestellt<sup>22</sup>:

Hinsichtlich der Nachweisbarkeit wird konstatiert:

*„Der Humusgehalt kann schon auf kleinen Flächen deutlich variieren. Für ein korrektes Ergebnis müssen deshalb mehrere Bodenproben genommen werden. Der Aufbau zusätzlicher Humusvorräte braucht Zeit. Änderungen sind meist erst nach fünf bis zehn Jahren das erste Mal nachweisbar, weil geringe Mengen im Labor nicht festgestellt werden können. Das Risiko, dass es zu keinem nachweisbaren Humusaufbau und damit zu keinem Erlös aus den Zertifikaten kommt, liegt im Wesentlichen bei den Landwirten.“<sup>23</sup>*

Hinsichtlich der Zusätzlichkeit wird konstatiert:

*Eine klare Trennung zwischen üblichem und zusätzlichem Humusaufbau sei schwierig: „Humuserhalt und -aufbau ist Teil der Ackerbodenpflege. Zertifizierbaren, für das Klima relevanten Humus aufzubauen, bedeutet hingegen häufig zusätzlichen Arbeitsaufwand zu treiben. Viele Maßnahmen zum Humusaufbau werden finanziell bereits gefördert, etwa der Anbau von Zwischenfrüchten über Winter. Beim ebenfalls geförderten Ökologischen Landbau gehört der Anbau von humusbildendem Kleegras zur üblichen Fruchfolge.“<sup>24</sup>*

---

21 [https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/Factsheet\\_Freiwillige-Kompensation.pdf?blob=publicationFile&v=12](https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/Factsheet_Freiwillige-Kompensation.pdf?blob=publicationFile&v=12).

22 <https://thuenen.pageflow.io/klimaschutz-durch-co-zertifikate-für-humus#292304>.

23 Ebd.

24 Ebd.

Hinsichtlich der Dauerhaftigkeit wird konstatiert:

*„Nur Humus, der dauerhaft und zusätzlich im Boden gespeichert wird, ist eine Klimaschutzmaßnahme. Wird eine humusbildende Maßnahme beendet, baut sich der Humus zügig wieder ab. Der gespeicherte Kohlenstoff wird freigesetzt, die Klimaschutzwirkung geht verloren. Zudem wird es durch die Klimaerwärmung schwieriger, Humus dauerhaft im Boden zu halten. Je wärmer es ist, desto aktiver sind die Mikroorganismen, die den Humus abbauen. [...] [Es] müsste sichergestellt werden, dass die angerechnete Klimaschutzleistung auch über zehn Jahre hinaus erhalten bleibt. Offen ist zudem die Frage, ob jemand dafür haften muss, wenn der Humus nach einigen Jahrzehnten wieder verloren ginge oder das gesteckte Ziel durch eine veränderte Bewirtschaftung nicht erreicht würde.“<sup>25</sup>*

Hinsichtlich der Verlagerungseffekte wird konstatiert:

*„Am schnellsten baut sich zusätzlicher Humus auf, indem man große Mengen an Kompost auf den Ackerboden bringt. Auf den meisten Flächen, die bisher an Projekten der CO<sub>2</sub>-Zertifizierung teilnehmen, wird das so gemacht. Die Folge: Der ausgebrachte Kompost steht andernorts nicht mehr für den Humuserhalt zur Verfügung. Während also an einem Ort der Humusgehalt steigt, sinkt er am anderen – ein sogenannter Leakage-Effekt. Weitere derartige Effekte werden begünstigt, wenn humusbildende Maßnahmen auf dem Acker nicht ausreichend bei der Düngung einkalkuliert werden und dadurch verstärkt Lachgas freigesetzt wird. [...] Stammen Mist und Gülle von Tieren, die mit Importfutter versorgt wurden, das einen unklaren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck mitbringt, kann sich das ungünstig auf die Kohlendioxid-Bilanz auswirken.“<sup>26</sup>*

Aus diesen Ausführungen wird deutlich, dass der positive Klimaeffekt hinterfragt werden muss und zumindest nicht kurzfristig zu erzielen ist. Der Aufbau von Humus ist zwar aus einer Vielzahl von Gründen sinnvoll und notwendig und sollten nach Meinung von Wissenschaftlern aus den relevanten Fachbereichen gefördert werden<sup>27</sup>, CO<sub>2</sub>-Zertifikate sind als Förderinstrument allerdings - zumindest zum derzeitigen Zeitpunkt – von fraglichem Nutzen hinsichtlich ihrer Klimaschutzwirkung.

Im März 2020 wurde unter Beteiligung verschiedener Forschungseinrichtungen eine bewertende Studie („CO<sub>2</sub>-Zertifikate für die Festlegung atmosphärischen Kohlenstoffs in Böden: Methoden, Maßnahmen und Grenzen“) publiziert, die einen Überblick über Grundlagen der Kohlenstoffbin-

---

25 Ebd.

26 Ebd.

27 Siehe beispielsweise: <https://www.leibniz-gemeinschaft.de/ueber-uns/neues/forschungsnachrichten/forschungsnachrichten-single/newsdetails/humuszertifikate-fuer-den-klimaschutz>.

dung in Böden bietet und insbesondere die Effizienz von Klimaschutzmaßnahmen unter Einbeziehen von CO<sub>2</sub>-Zertifikate bewertet.<sup>28</sup> Insgesamt wird das Instrument der „Humus-Zertifikate“ zum aktuellen Zeitpunkt noch als kritisch bewertet. Dies wird wie folgt begründet:

Die „Studie macht deutlich, dass alle Anreicherungen vollständig reversibel sind und eine Zusätzlichkeit und Langfristigkeit der Kohlenstoffspeicherung kaum sichergestellt werden kann und Verschiebungseffekte, die nur scheinbar eine positive Klimawirkung erzielen, von Zertifikatobieter nur schwer ausgeschlossen werden können.“<sup>29</sup>

Tatsächlich könnte ein sinnvolles Humusmanagement aber einen wesentlichen Beitrag für den Klimaschutz leisten. Allerdings müssten wissenschaftliche Mindeststandards in der Praxis berücksichtigt werden. Die Studie liefert Empfehlungen hinsichtlich der Erfassung von organischem Kohlenstoff (Probenahme, Analytik, Vorratsberechnung), eine Bewertung von Maßnahmen zum Aufbau von organischem Kohlenstoff und Hinweise zu generellen Einschränkungen hinsichtlich des Klimaschutzes über CO<sub>2</sub>- Zertifikate. Die Autoren sehen in Zukunft in CO<sub>2</sub>-Zertifikate ein Instrument, dass Landwirte darin bestärken könne, nachhaltiger zu bewirtschaften und sich mit dem Humusaufbau im Boden zu beschäftigen. Hierzu sollte es unabhängig von Zertifikaten passende Beratungsoptionen und Unterstützung geben.<sup>30</sup>

## 2.5. Zur Ambivalenz hinsichtlich der Klimawirkung von Agrarflächen

Wie bereits ausgeführt, ist Humus für die Speicherung von Kohlenstoff im Boden wichtig. In Böden unter Dauergrünland - wenn die Fläche als Weide oder zur Futtergewinnung genutzt wird – besteht hinsichtlich der Kohlenstoffanteile ein Gleichgewicht (und speichert daher hohe Anteile von Kohlenstoff). Auch auf Ackerböden kann bei etwa 90 Prozent der Flächen mit nur geringen Kohlenstoffverlusten gerechnet werden. Wenn allerdings nur wenige Pflanzenreste auf dem Acker verbleiben und dieser bearbeitet wird, werden Kohlenstoffverluste höher.

Neben der Bodenbearbeitung ist ein weiterer Aspekt, warum Agrarböden eine klimaschädliche Komponente haben, die Nutzung ehemaliger Moorgebiete (Trockenlegung von Mooren). Moore finden sich in Deutschland vorwiegend in der norddeutschen Tiefebene (78 %) und im Alpenvorland (20 %). Vom geschätzten deutschen Moorbestand von rund 1.419.000 ha entfallen über

28 Wiesmeier, M. et al.: CO<sub>2</sub>-Zertifikate für die Festlegung atmosphärischen Kohlenstoffs in Böden: Methoden, Maßnahmen und Grenzen; BonaRes-Zentrum für Bodenforschung; März 2020; [https://literatur.thuenen.de/digbib\\_extern/dn062163.pdf](https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn062163.pdf).

29 <https://www.leibniz-gemeinschaft.de/ueber-uns/neues/forschungsnachrichten/forschungsnachrichten-single/newsdetails/humuszertifikate-fuer-den-klimaschutz>.

30 Wiesmeier, M. et al.: CO<sub>2</sub>-Zertifikate für die Festlegung atmosphärischen Kohlenstoffs in Böden: Methoden, Maßnahmen und Grenzen; BonaRes-Zentrum für Bodenforschung; März 2020; [https://literatur.thuenen.de/digbib\\_extern/dn062163.pdf](https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn062163.pdf).

910.000 ha (65 %) auf landwirtschaftlich genutzte Flächen. Infolge dessen werden die betroffenen Flächen entwässert. Entwässerte landwirtschaftlich genutzte Moore sind verantwortlich für 80 Prozent der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der landwirtschaftlichen Landnutzung in der EU.<sup>31</sup>

Zudem kommt es infolge der Düngung mit mineralischen Stickstoffdüngern zu direkten<sup>32</sup> und indirekten<sup>33</sup> Emissionen stickstoffhaltiger klimarelevanter Gase (Lachgas und Stickoxide). Laut Angaben der Plattform pflanzenforschung.de<sup>34</sup> werden infolge von Stickstoffdüngung jährlich Lachgasmengen freigesetzt, die 2,1 Milliarden Tonnen Kohlendioxid entsprechen. Dies ist ein weiterer Faktor, der bei der Betrachtung der CO<sub>2</sub>-Bilanzierung im Ackerbau beachtet werden muss.

Ackerpflanzen binden zwar - wie alle Pflanzen - im Zuge der Photosynthese Kohlenstoff und entziehen somit der Atmosphäre zunächst CO<sub>2</sub>. Dennoch sind sie kein ausschlaggebender Faktor zur Minimierung atmosphärischen Kohlendioxids. In der Gesamtbilanzierung<sup>35</sup> wird im Ackerbau Kohlenstoff nicht gebunden, sondern sogar freigesetzt. Dies liegt daran, dass der Kohlenstoff-Entzug weitestgehend von kurzzeitigem Charakter ist und Teil des natürlichen biologischen Stoffkreislaufes ist. In der jährlichen Emissionsberichterstattung gehen nur langfristige Änderungen von Kohlenstoffvorräten ein, nicht aber annuelle C-Kreislauf-Faktoren, wie dies bei Ackerpflanzen der Fall ist. Berücksichtigt wird der annuelle C-Kreislauf (und Änderungen der Humusvorräte) nur in dem Fall, dass ein Landnutzungswechsel von Ackerland zu einer anderen Landnutzung vorliegt. Biomassezuwächse/verluste werden nur für mehrjährige Pflanzen (Bäume, Sträucher) berechnet.<sup>36</sup> Im Wald wird durch Bäume im Gegensatz zu Ackerpflanzen auf eine sehr lange Zeitspanne Kohlendioxid der Atmosphäre entzogen.

Weizen beispielsweise bindet zunächst eine große Menge Kohlenstoff aus der Atmosphäre. Dieser Speicher ist allerdings von sehr kurzer Dauer, der Großteil der Pflanzenbiomasse wird sofort verbraucht (von Mensch oder Tier) und unmittelbar wieder als Kohlendioxid ausgeatmet. Der nicht verbrauchte Rest, z.B. Erntereste und Wurzeln, wird zu einem kleinen Anteil zu Humus, einem Kohlenstoffspeicher. Momentan findet sich dieser kleine Anteil nicht in der Emissionsberichterstattung, denn es wird davon ausgegangen, dass die Humusvorräte auf Ackerland sich im

31 Joosten, H., Tapio-Biström, M.-L. & Tol, S. (eds.) (2012). Peatlands – guidance for climate change mitigation by conservation, rehabilitation and sustainable use. Mitigation of Climate Change in Agriculture Series 5. FAO, Rome, L + 96 S.

32 Direkte Bewirtschaftung des Bodens.

33 z.B. Oberflächenabfluss und Auswaschung.

34 Pflanzenforschung.de ist eine vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Informationsplattform.

35 Diese ist grundsätzlich langfristig angelegt, da sie Klimawirksamkeit beurteilen soll.

36 Persönliche Auskunft des Thünen-Instituts vom 7. Dezember 2021.

Gleichgewicht befinden (es sei denn es werden Maßnahmen zur Änderung der Humusbevorratung betrieben). Auf der anderen Seite entstehen Lachgasemissionen durch Düngung und CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Kalkung von Böden, die in der Bilanzierung berücksichtigt werden.<sup>37</sup>

## 2.6. Zum Vergleich der Energiebilanzierung verschiedener Energieträger

Hinsichtlich des Einsatzes erneuerbarer Energien ist Biomasse bislang der wichtigste Energieträger in Deutschland. Sowohl in fester wie in flüssiger und gasförmiger Form wird er zur Strom- und Wärmeerzeugung und zur Herstellung von Biokraftstoffen genutzt. Dabei stellt land- und forstwirtschaftlich bereitgestellte Biomasse den Großteil dar; hinzukommen Reststoffe und Abfälle biogenen Ursprungs (Alt- und Gebrauchtholz, Bioabfälle, Gülle/Festmist und Getreidestroh).<sup>38</sup>

Aus Biomasse erzeugte Energie zeigt gemeinhin eine bessere Treibhausgasbilanz als fossile Energie. Jedoch kann der Anbau von Biomasse mit vielfältigen negativen Wirkungen auf Mensch und Umwelt verbunden sein. Diese sind sehr vielfältig. Vor dem Hintergrund der Fokussierung der vorliegenden Arbeit wird lediglich auf die Problematik der Ausweitung der landwirtschaftlichen Produktionsfläche eingegangen. Mit einer Ausweitung von Energie aus Biomasse ist einem weiteren Verlust von Ökosystemen, wie Wälder, Grünland oder Moore zu rechnen, was sich auf die Bilanzierung auswirkt. Eine Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion hingegen führt dazu, dass in verstärktem Maße synthetische Dünge- und Pflanzenschutzmitteln eingesetzt werden, die mit einem Humusabbau einhergehen.<sup>39</sup> Tatsächlich wird durch die Erneuerbare-Energien-Richtlinie 2009/28/EG festgelegt, dass Biomasse nicht von Flächen stammen darf, die durch Rodung oder Drainage von Moorböden erschlossen wurden oder die als Grünland mit hoher Biodiversität einzustufen sind. Außerdem muss eine mindestens 35-prozentige Treibhausgaseinsparung gegenüber fossilen Energieträgern vorliegen.<sup>40</sup>

In einer im Auftrag des Umweltbundesamtes erstellten Publikation zum Thema „Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2016“<sup>41</sup> werden Emissionsbilanz der erneuerbaren Energien für die Sektoren Strom, Wärme und Verkehr detailliert untersucht und mit fossilen Brennstoffen verglichen. In Kapitel 5.4 wird auf „Flüssige Biomasse“ eingegangen. Es werden unter anderem die vermiedenen Brutto-Emissionen der Wärmebereitstellung aus flüssiger Biomasse ermittelt:

37 Persönliche Auskunft des Thünen-Instituts vom 7. Dezember 2021.

38 <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html>.

39 Weitere Aspekte werden auf den Seiten des UBA diskutiert: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/bioenergie#Nachhaltigkeit>.

40 <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/bioenergie#Anbaubiomasse>.

41 Memmeler M et al.: Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2016; Umweltbundesamt, 2016; ISSN 1862-4359; [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-10-26\\_climate-change\\_23-2017\\_emissionsbilanz-ee-2016.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-10-26_climate-change_23-2017_emissionsbilanz-ee-2016.pdf).

„Im Hinblick auf die Wirkungskategorie Treibhausgaseffekt vermeidet die Wärmebereitstellung aus flüssiger Biomasse (Pflanzenöl) 67.800 t CO<sub>2</sub>-Äq. Treibhausgasemissionen mit einem spezifischen Treibhausgas-Vermeidungsfaktor von ca. 250 g CO<sub>2</sub>-Äq. / kWhth<sup>42</sup>. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass Emissionen aus Landnutzungsänderungen aufgrund des Anbaus von Energiepflanzen zur Pflanzenölgewinnung nicht enthalten sind. Flüssige Biomasse, die in der Industrie zur Wärmebereitstellung eingesetzt wird, trägt mit 34.800 t CO<sub>2</sub>-Äq. (160 g CO<sub>2</sub>-Äq. / kWhth) zur Treibhausgasvermeidung bei. Durch den im Bereich Landwirtschaft eingesetzten Biodiesel bzw. eingesetztem HVO<sup>43</sup> werden ca. 243.000 t CO<sub>2</sub>-Äq. Treibhausgasemissionen vermieden. Entsprechend den Verbrauchsmengen ergibt sich ein Treibhausgas-Vermeidungsfaktor von netto 156 g CO<sub>2</sub>-Äq. / kWhth.“<sup>44</sup>

### 3. Daten zur CO<sub>2</sub>-Speicherung in verschiedenen Böden

#### 3.1. Allgemeine Hinweise zu den Ökosystemen Wald, landwirtschaftlich genutzte Böden und Moore

In einer Grafik, die in einer Darstellung ausgewählter Ergebnisse der Bodenzustandserhebung des Johann-Heinrich-von-Thünen-Instituts<sup>45</sup> 2018 publiziert wurde, wird verdeutlicht, dass in unterschiedlichen Bodentiefen landwirtschaftlich genutzter Mineralböden die Variabilität der Vorräte an organischem Kohlenstoff auf unterschiedliche Faktoren zurückgeführt werden kann. So werden in einem Meter Tiefe die Kohlenstoffvorräte im Wesentlichen durch die geologische Zusammensetzung bestimmt, während oberflächennah Landnutzung und Klimaeinfluss ca. 50 Prozent Einfluss haben.

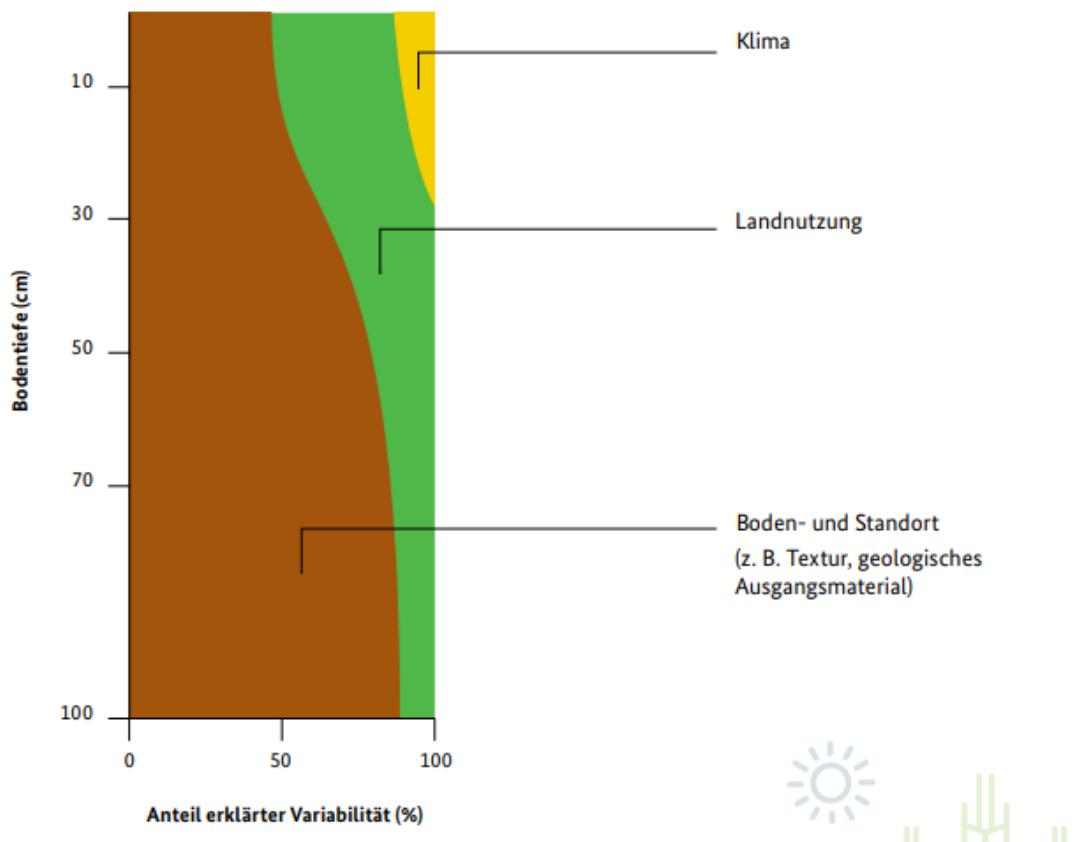
42 Kilowattstunde thermisch.

43 Hydrotreated Vegetable Oils.

44 [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-10-26\\_climate-change\\_23-2017\\_emissionsbilanz-ee-2016.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-10-26_climate-change_23-2017_emissionsbilanz-ee-2016.pdf).

45 Bundesministerin für Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.): Humus in landwirtschaftlich genutzten Böden Deutschlands; September 2018; Seite 24. <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Bodenzustandserhebung.pdf;jsessionid=4599A701B3C1FDFA03B8FC6A65604D13.live832?blob=publicationFile&v=10>.

**ABBILDUNG 12:** Einfluss von Bodeneigenschaften, Landnutzungsart und Bewirtschaftung sowie Klimavariablen auf die Variabilität (erklärter Anteil) der Vorräte an organischem Kohlenstoff in verschiedenen Tiefen landwirtschaftlich genutzter Mineralböden in Deutschland



Bei unterschiedlichen Standorten und Nutzungsformen ist auch die geologische Bodenstruktur sehr verschieden.<sup>46</sup> Ebenso spielen Jahreszeit und das Wetter am Beprobungsstandort eine entscheidende Rolle.

Kohlenstoffspeicherkapazitäten von Waldböden hingegen unterliegen deutlichen Schwankungen, je nach Alter des Baumbestandes, Auswirkungen von Stürmen, Bränden und Schädlingseinwirkungen. In Folge von Einwirkungen wie Bränden werden gespeicherte Kohlenstoffvorräte freigesetzt (Emission).

Treten in Mooren vermehrt Brände auf, wird ebenfalls in großem Ausmaß CO<sub>2</sub> freigesetzt (Emission).

46 Siehe hierzu Seite II: Johann Heinrich von Thünen-Institut: Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland Ergebnisse der Bodenzustandserhebung; Thünen Report 64; DOI:10.3220/REP15428183910000.

Daten, die bezüglich einer Vielzahl dieser Einflussfaktoren stratifizieren, d.h. parallel auch Alter und Einwirkungen auf das Ökosystem umfassend erheben, konnten im Rahmen dieser Arbeit nicht gefunden werden.

Vom Umweltbundesamt (UBA) werden Daten zu Emissionen verschiedener klimawirksamer Verbindungen ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) für verschiedene Landschaftstypen in der zeitlichen Entwicklung seit 1990 aufgelistet. Diese umfassen Wälder, Ackerland, Grünland, Feuchtgebiete, Siedlungen und Holzprodukte. Ein tabellarischer Überblick zu Emissionen der Kategorien „Wälder, Ackerland, Grünland, Feuchtgebiete, Siedlungen und Holzprodukte“ in den Jahren 1990 bis 2019, wie sie vom UBA erhoben wurden, finden sich in Kapitel 2.3 dieser Arbeit. Hierbei wird deutlich, dass die  $\text{CO}_2$ -Emission (Quelle (positiver Wert) oder Senke (negativer Wert)) in den vergangenen Jahren zwar punktuell Schwankungen unterlag, aber sich insgesamt nicht sehr stark verändert hat.<sup>47</sup> Allerdings gibt es deutliche regionale Unterschiede, d.h. teilweise sind in gleichen Bodentypen Zunahmen, teilweise auch Abnahmen zu verzeichnen. Daher müssen Bodentypen wesentlich detaillierter nach spezifischen Charakteristika unterschieden werden.

Laut Bodenzustandserhebung<sup>48</sup> lässt sich aus den Analysen von Wald und landwirtschaftlichen Ökosystemen folgende allgemeine Aussage zum organischen Kohlestoffvorrat in Deutschland treffen:

*„Zusammen beträgt die aktuelle Speicherleistung dieser Ökosysteme [wald- und landwirtschaftliche Ökosysteme] für organischen Kohlenstoff rund fünf Milliarden Tonnen. Den höchsten Anteil hieran (ca. 48 %) haben landwirtschaftlich genutzte Böden mit rund 2,4 Milliarden Tonnen Kohlenstoff. Der Humus in landwirtschaftlich genutzten Böden bevorzugt damit mehr als doppelt so viel Kohlenstoff wie alle Bäume in den Wäldern Deutschlands zusammen. Dies ist in erster Linie auf den größeren Anteil landwirtschaftlich genutzter Flächen im Vergleich zur Waldfläche zurückzuführen. Bezogen auf einen Hektar und 0–90 cm Bodentiefe ergibt sich folgendes Bild: Die deutlich größten Vorräte an organischem Kohlenstoff weisen mit 181 t Böden unter Dauergrünland auf, gefolgt von Waldböden mit 100 t und knapp dahinter Ackerböden mit 95 t. Die hohen Vorräte an organischem Kohlenstoff in landwirtschaftlich genutzten Böden werden maßgeblich durch ihre Tiefgründigkeit und die größeren Anteile an grundwasserbeeinflussten Böden mit sehr hohen Kohlenstoffvorräten (z. B. Moorböden und moorähnliche Böden) verursacht.“<sup>49</sup>*

47 [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/2\\_tab\\_emi-senken-lulucf\\_2021.png](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/2_tab_emi-senken-lulucf_2021.png). Erläuterungen siehe: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland/emissionen-der-landnutzung-aenderung#bedeutung-von-landnutzung-und-forstwirtschaft>.

48 Die Bodenzustandserhebung (BZE) im Wald wird in Deutschland in regelmäßigen Abständen durchgeführt. Hierzu wird eine systematische Stichprobeninventur (ca.  $8 \times 8 \text{ km}$  Netz) der deutschen Waldböden durchgeführt. Die Daten werden durch das Thünen-Institut ausgewertet. Verweis im Internet: [https://www.bmel.de/DE/themen/wald/wald\\_node.html](https://www.bmel.de/DE/themen/wald/wald_node.html).

49 Seite 20 in: [Humus in landwirtschaftlich genutzten Böden Deutschlands \(bmel.de\)](https://www.bmel.de/DE/themen/humus/humus_node.html)

### 3.2. Waldböden

Laut dritter Bundeswaldinventur<sup>50</sup> (2012) beläuft sich die ober- und unterirdische Biomasse sowie das Totholz in Deutschland zusammen auf ca. 1.169 Mio. Tonnen Kohlenstoff (C).

Laut zweiter Bundeswaldinventur (2002)<sup>51</sup> beträgt der geschätzte Kohlenstoffvorrat im Auflagehumus und im Mineralboden bis in 90 cm Tiefe ca. 1.321 Mio. Tonnen, was im Mittel einen Vorrat von ca. 119 Tonnen Kohlenstoff pro Hektar bedeutet. Dabei sind nahezu zwei Drittel davon im Auflagehumus und im Oberboden (0–30 cm) gespeichert. Insgesamt speichern Böden unter Laubwald mehr Kohlenstoff als Böden unter Nadelwald.

Gegenüber früheren Bodenzustandserhebungen haben sich die Kohlenstoffvorräte im Auflagehumus nicht signifikant geändert, allerdings sind die C-Vorräte im Mineralboden, in dem bis zum Zeitpunkt der zweiten Bundeswaldinventur ein mittlerer jährlicher Anstieg von ca. 0,41 Tonnen pro Hektar zu verzeichnen war, deutlich angestiegen. Die bundesweit stärksten C-Zunahmen sind im norddeutschen Tiefland zu verzeichnen (sowohl Auflagehumus als auch Mineralbodenvorräte in 0-30 cm Tiefe).

In Berg- und Hügelländern nahmen die Vorräte im Auflagehumus überwiegend ab (auch Mineralbodenvorräte). Als Ausnahme ist das Alpenvorland zu nennen, wo die im Auflagehumus gespeicherten C-Vorräte zunahmen. Die Kalkstandorte der Schwäbischen Alb sowie der Frankenalb und des Oberpfälzer Jura zeigten eine deutliche Abnahme der C-Vorräte innerhalb der oberen 30 cm des Mineralbodens, ebenso wie im nördlich angrenzenden Neckarland. Als Erklärung für das auftretende Muster der Veränderungen werden verschiedene Argumente angebracht.

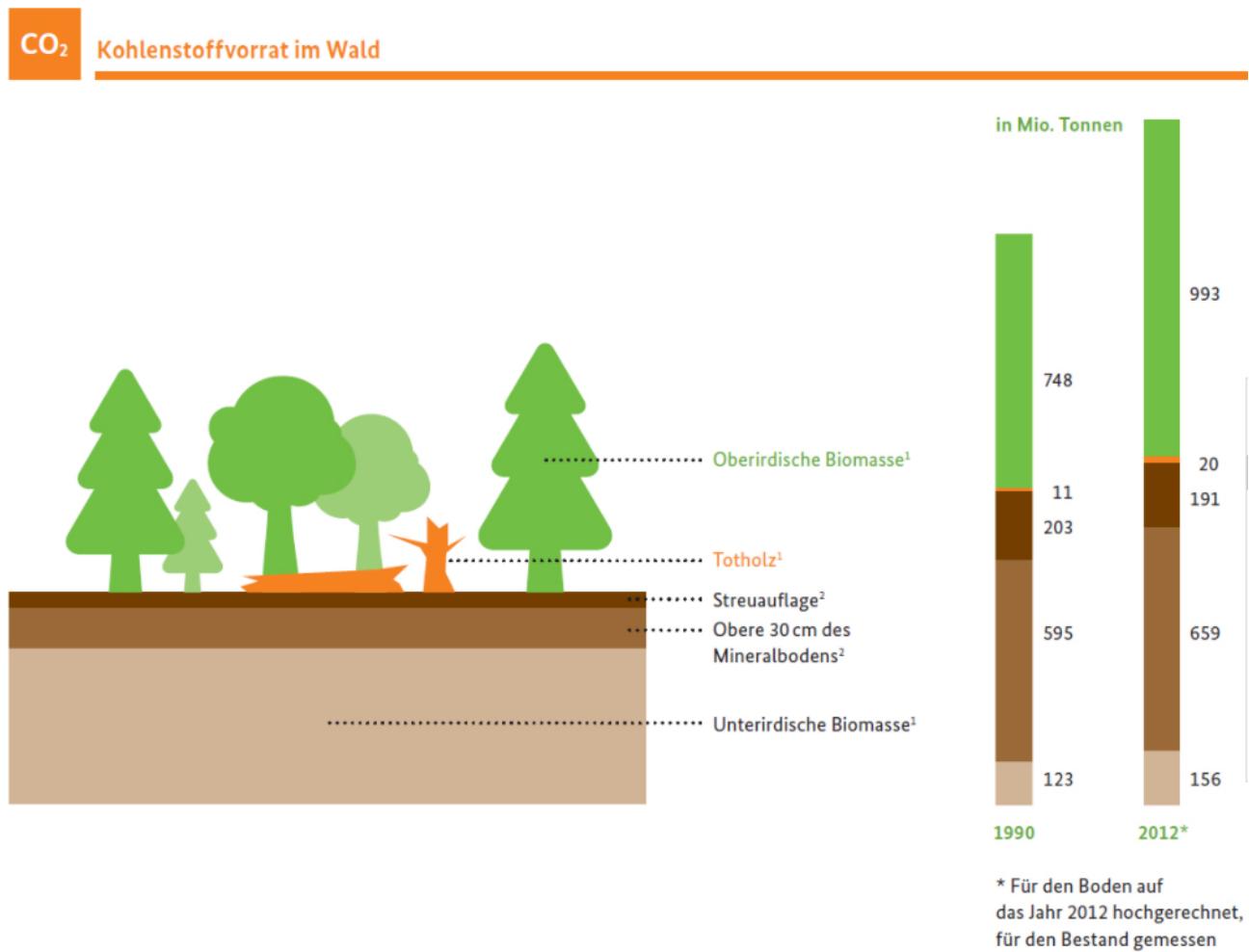
„Im Tiefland waren besonders die von Natur aus schwachen (alt)-pleistozänen Sandboden nach Übernutzung großflächig an organischer Substanz verarmt und die generelle Verbesserung der Standortsqualität durch bewusst bodenpflegliche Waldbewirtschaftung macht sich seit der ersten Bodenwaldinventur auf diesen degradierten Standorten besonders bemerkbar. Im Einzelfall ist aber davon auszugehen, dass weniger generelle als vielmehr lokal wirksame Prozesse für die Veränderungen der C-Gehalte ausschlaggebend sind. So können Zu- und Abnahmen der C-Vorräte sowohl im Auflagehumus als auch im Mineralboden von Einflüssen wie Kalkung, Waldumbaumaßnahmen, klimabedingt zunehmendem Wassermangel oder durch die spezifische Wirkung regional unterschiedlicher N-Einträge abhängen.“<sup>52</sup>

50 <https://bwi.info/>.

51 <https://www.bundeswaldinventur.de/service/publikationen/artikel-und-verordnungen/>.

52 Auskunft des Johann-Heinrich-von-Thünen-Instituts vom 15.6.2021.

Die nachfolgende Grafik von den Internetinformationsseiten der Bundeswaldinventur stellt das Kohlenstoffspeicherpotenzial von Wäldern dar:



<sup>1</sup>Daten der Bundeswaldinventuren 1987, für die neuen Länder ergänzt aus dem Datenspeicher Wald, 2002 und 2012

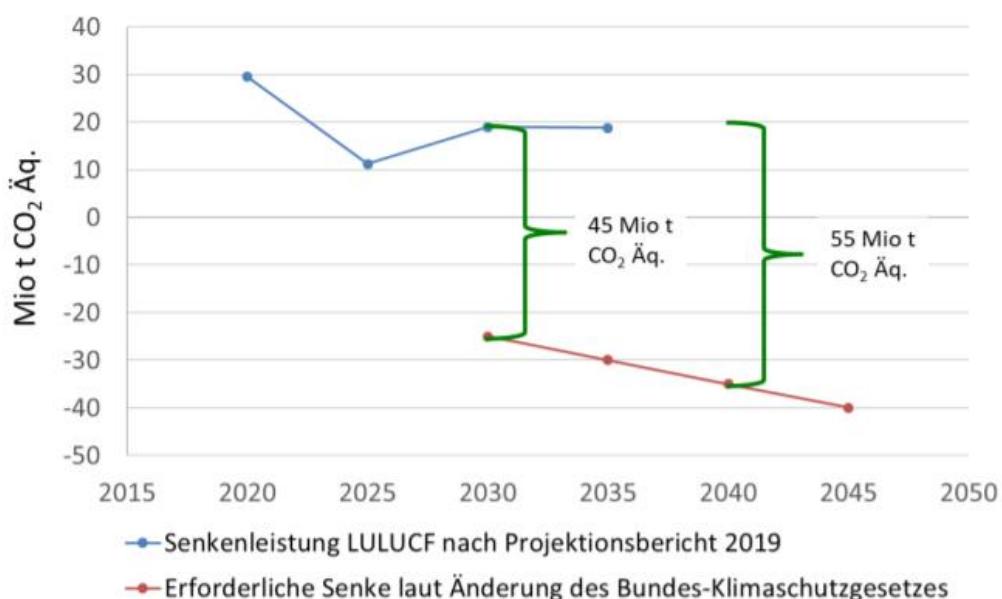
<sup>2</sup>Bodenzustandserhebung im Wald

Quelle: Wellbrock, N. et al. (2014): Wälder in Deutschland speichern Kohlenstoff. AFZ-Der Wald, 18/2014 (geändert)

Daten zur Kohlenstoffspeicherung in Abhängigkeit vom Alter der Bäume konnten im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht gefunden werden.

Vor dem Hintergrund der Änderung des Bundes-Klimaschutzgesetzes am 12. Mai 2021 hat der Wissenschaftliche Beirat für Waldbewirtschaftung am 22. Juni 2021 eine Stellungnahme mit dem Titel „Geplante Änderung des Klimaschutzgesetzes riskiert Reduktion der potenziellen Klimaschutzbeiträge von Wald und Holz“ veröffentlicht.<sup>53</sup>

Um die gewünschte Treibhausgas-Senkenleistung des Sektors „Landnutzung, Landnutzungsänderung und Waldwirtschaft“ bis zum Jahr 2030 zu erreichen, müsste die Bilanz durch Vermeidung von THG-Emissionen oder Speicherung in den Ökosystemen 2030 um 45 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente reduziert werden, im Jahre 2040 wären das ca. 55 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Dies veranschaulicht die untenstehende Grafik aus der Stellungnahme.<sup>54</sup> Zur Ausgestaltung, wie die Minde rungen erreicht werden sollten, mache das Klimaschutzgesetz keine Angaben. Die Autoren kalkulieren, dass für eine ausschließliche zusätzliche Senkenleistung durch die Speicherfunktion im Wald es nötig sei, dass rund 47 bis 58 Prozent des jährlichen Zuwachses von 2030 bis 2040 im Wald verblieben.<sup>55</sup>



*Abbildung: Differenzen zwischen der für den ProJEktionsbericht modellierten THG-Emissionsbilanz des LULUCF-Sektors (UBA 2019) (in Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten) und der laut Entwurf zur Änderung des Klimaschutzgesetzes eingeforderten Treibhausgassenke dieses Sektors. Differenzbeträge dargestellt als grüne Klammern.*

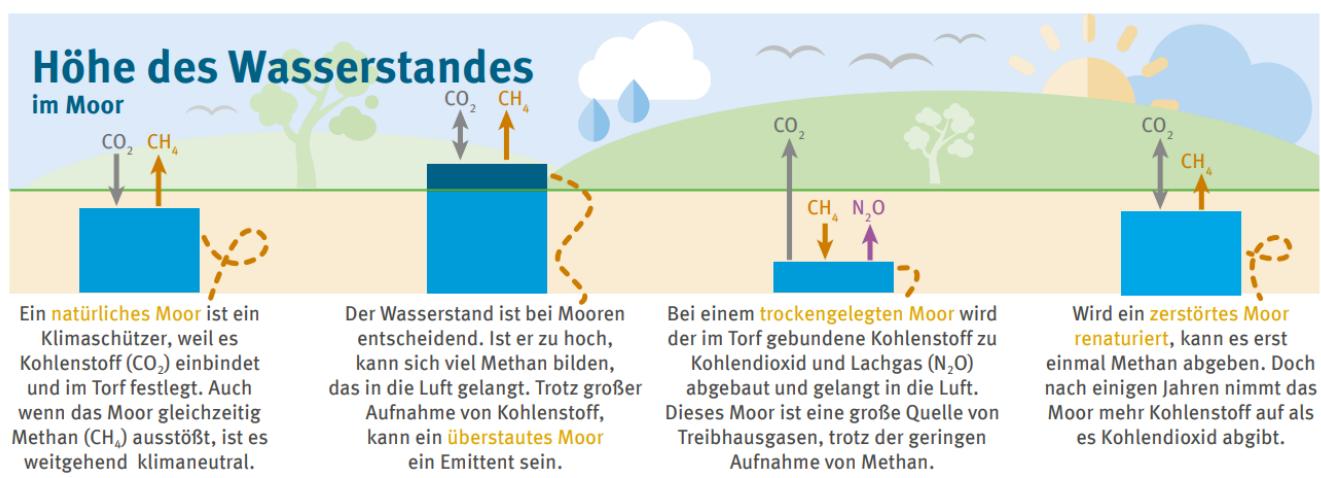
<sup>53</sup> Wissenschaftlicher Beirat Waldbewirtschaftung beim BMEL (Hrsg.) (2021): Geplante Änderung des Klimaschutzgesetzes riskiert Reduktion der potenziellen Klimaschutzbeiträge von Wald und Holz. Stellungnahme. Berlin, 13 S.

<sup>54</sup> Ebd. Seite 5.

<sup>55</sup> Seite 5 f, ebd.

### 3.3. Moore

In der letzten Eiszeit bildeten sich in Mitteleuropa Moore. Dabei wurden im wassergesättigten Milieu abgestorbene Pflanzenreste nicht vollständig zersetzt, da die Sauerstoffzufuhr fehlte. In Folge dessen kommt es zur Torfbildung. Lebendige Moore wachsen jährlich um ca. 1 cm in die Höhe. Außerdem wird im abgelagerten organischen Material Kohlenstoff für Jahrtausende gespeichert. Die Fähigkeit zur Speicherung von CO<sub>2</sub> hängt insbesondere vom Wasserstand ab. Die Deutsche Emissionshandelsstelle (Umweltbundesamt) hat 2020 eine Übersichtsinformation publiziert<sup>56</sup>, die die Abhängigkeit von CO<sub>2</sub>-Emission vom Wasserstand grafisch darstellt:



Aufgrund der Fähigkeit effektiv Kohlenstoff zu binden, haben sich natürliche Moore im Laufe der Erdgeschichte zu großen Kohlenstoffspeichern entwickelt. Lediglich 3 % der terrestrischen Erdoberfläche sind mit Mooren bedeckt, binden aber in ihren Torfschichten ein Drittel des terrestrischen Kohlenstoffs. Dies ist etwa doppelt so viel wie die Wälder weltweit in ihrer Biomasse binden.<sup>57</sup>

„Für Deutschland wird davon ausgegangen, dass in Mooren genau so viel Kohlenstoff gespeichert ist wie in Wäldern, nämlich jeweils ca. ein Drittel der Kohlenstoffvorräte, obwohl Moore hier nur

56 [https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/Factsheet\\_Moore.pdf?blob=publicationFile&v=6](https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/Factsheet_Moore.pdf?blob=publicationFile&v=6).

57 Parish, Sirin, Charman, Joosten, Minayeva, Silvius, Stringer (2008): Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change: Main Report. Global Environment Centre and Wetlands International.

ca. 4 % der Landfläche bedecken und Wälder ca. 30 %.<sup>58</sup> Werden aber Moore trockengelegt und bewirtschaftet, so wird der Kohlenstoff freigesetzt.<sup>59</sup>

In Deutschland werden momentan schätzungsweise 70 % der Moore land- und forstwirtschaftlich genutzt, zumeist als Grünland (39-50 %), auch als Ackerland (19-32 %) und forstwirtschaftlich (14-15 %).<sup>60</sup> Dabei werden die Moore fast immer entwässert.

„In Deutschland emittieren die Moorböden ca. 2,5 – 5 % der CO<sub>2</sub>-Äquivalente der jährlichen Gesamtemissionen, aufgrund unangepasster Bewirtschaftung. Besonders hoch sind die Ausgasungen ackerbaulich genutzter, gepflügter und gedüngter Moore.“<sup>61</sup> Ackerland auf entwässertem Moor trägt zu jährlichen Emissionen mit 37 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äq. pro Hektar bei, Grünland auf entwässertem Moor zu 29 Tonnen pro Hektar.<sup>62</sup>

Im Umweltgutachten des Umweltrates 2012 widmet sich ein Kapitel dem Zustand und Potenzial von Mooren.<sup>63</sup> Hierin findet sich eine Abbildung, die die durch Moore bedingten Emissionen einiger ausgewählter Länder darstellt. Demzufolge steht Deutschland nach China und Polen an dritter Stelle der durch Moorflächen bedingten Emissionen.

---

58 [https://greifswaldmoor.de/files/dokumente/Infopapiere\\_Briefings/2019\\_Faktenpapier\\_MoorklimaschutzMV\\_Dez2019\\_fin\\_korr2.pdf](https://greifswaldmoor.de/files/dokumente/Infopapiere_Briefings/2019_Faktenpapier_MoorklimaschutzMV_Dez2019_fin_korr2.pdf).

59 Neben dem ehemals gespeicherten CO<sub>2</sub> entweicht auch zusätzlich Lachgas (N<sub>2</sub>O), was noch klimaschädlicher wirkt als CO<sub>2</sub>.

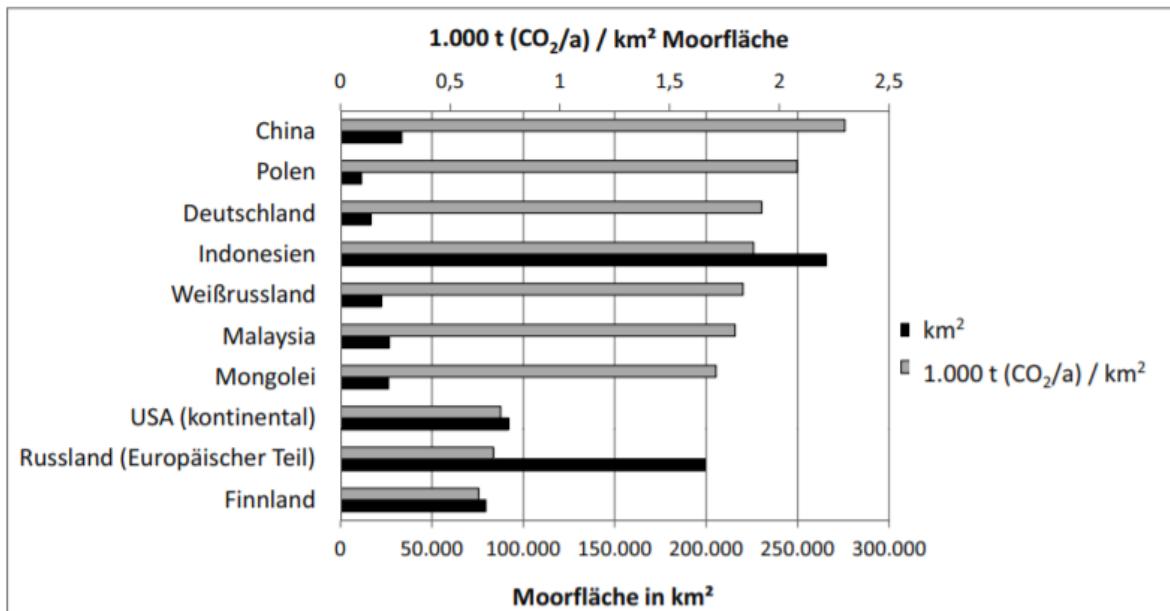
60 <https://www.moorwissen.de/de/moore/moornutzung/nutzungsarten.php>.

61 <https://www.bfn.de/themen/biotop-und-landschaftsschutz/moorschutz/oekosystemleistungen.html>.

62 [https://greifswaldmoor.de/files/dokumente/Infopapiere\\_Briefings/2019\\_Faktenpapier\\_MoorklimaschutzMV\\_Dez2019\\_fin\\_korr2.pdf](https://greifswaldmoor.de/files/dokumente/Infopapiere_Briefings/2019_Faktenpapier_MoorklimaschutzMV_Dez2019_fin_korr2.pdf).

63 [https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01\\_Umweltgutachten/2012\\_2016/2012\\_06\\_04\\_Umweltgutachten\\_HD.pdf?blob=publicationFile](https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01_Umweltgutachten/2012_2016/2012_06_04_Umweltgutachten_HD.pdf?blob=publicationFile).

Abbildung 7-1

**Moorflächen und deren Emissionen je km<sup>2</sup> (zehn größte Emittenten)**

SRU/UG 2012/Abb. 7-1; Datenquelle: JOOSTEN 2010

In dem Gutachten wird hinsichtlich der Problematik der Emissionen durch landwirtschaftlich genutzte Moorflächen konstatiert: „Die Umkehr dieses Trends, zum einen durch die Erhaltung noch intakter Moore und zum anderen durch die aktive Wiedervernässung genutzter Moorböden, ist damit ein Erfolg versprechendes und vergleichsweise kostengünstiges klimapolitisches Handlungsfeld mit einem großen Emissionsreduktionspotenzial.“<sup>64</sup>

Im Auftrag des Bundesumweltministeriums (BMU) hat das Bundesamt für Naturschutz (BfN) ein Forschungs- und Entwicklungsvorhaben initiiert, in dem fachliche Grundlagen für die Moorschutzstrategie der Bundesregierung<sup>65</sup> und für deren Umsetzung erarbeitet wurden. Eine Synopse dieses Vorhabens - erarbeitet vom Institut für Ländliche Strukturforschung (IfLS) an der Goethe-

64 Ebd., Seite 243.

65 <https://www.bfn.de/themen/biotop-und-landschaftsschutz/moorschutz/fachliche-grundlagen-moorschutzstrategie.html>.

Universität Frankfurt am Main - liegt seit 2020 vor.<sup>66</sup> Parallel zur Erarbeitung der Moorschutzstrategie der Bundesregierung wird seit 2017 unter gemeinsamer Federführung von BMU und BMEL eine Bund-Länder-Zielvereinbarung zum Klimaschutz durch Moorböden schutz erarbeitet.<sup>67</sup>

Im Grundlagenpapier für eine Moorschutzstrategie der Bundesregierung des IfLS wird die Bedeutung von Mooren für den Klimaschutz erläutert. Bisher liege der Schwerpunkt bei Umsetzungsprojekten im Moorschutz v.a. im Naturschutz und dem Schutz noch „halbwegs“ intakter Moorflächen. Da Moorschutz vor dem Hintergrund Klimaschutz verstärkt umgesetzt werden solle, würden in Zukunft zunehmend land- und forstwirtschaftlich genutzte Flächen betroffen sein. Aber auch bei der Unterhaltung und Planung von Infrastruktur müsse der Moorschutz berücksichtigt werden. Um bereits gesetzte Klimaziele zu erreichen und die Netto-THG Senkenfunktion des Sektors Landnutzung und Landnutzungsänderung zu sichern, müssten auch große Teile solcher Flächen bis zum Jahr 2050 vollständig oder zumindest teilweise vernässt sein. Eine Erhöhung des Wasserstandes bedeute eine Anpassung der momentan üblichen Flächennutzung und bringe in betroffenen Regionen strukturelle Änderungen mit sich. Dringlich sei sowohl ein Verschlechterungsverbot (Umbruchverbot für Grünland auf organischen Böden, Verbot oder Genehmigungspflicht von Drainageerneuerung bzw. -vertiefung, Verbot von Tiefenumbruch auf organischen Böden) als auch die Abschaffung von Hemmnissen für die Wiedervernässung.

Am Thünen-Institut für Agrarrelevante Klimaforschung wird an den Problemen der Entstehung von klimaschädlicher Treibhausgase infolge landwirtschaftlicher Nutzung von Moorböden geforscht. Eine allgemeinverständliche Einführung in die Erforschung effektiver Klimaschutzmaßnahmen durch Moorschutz wurde als Informationsschrift veröffentlicht und steht im Internet zur Verfügung.<sup>68</sup>

### 3.4. Landwirtschaftlich genutzte Böden

Zunächst wird auf landwirtschaftlich genutzte Böden als Emissionsquelle eingegangen, im weiteren Verlauf des Kapitels seine Kohlenstoffbevorratende Kapazität hingegen dargestellt. Wie bereits erläutert sind landwirtschaftlich genutzte Böden Emissionsquellen von klimarelevanten Gasen.

Neben der erhöhten Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)-Freisetzung infolge von Landnutzung und Landnutzungsänderungen (Umbruch von Grünland- und Niedermoorstandorten) sowie der CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch die Anwendung von Harnstoffdünger und der Kalkung von Böden handelt es sich hauptsächlich um Lachgas<sup>69</sup>-Emissionen. Mikrobielle Umsetzungen (sog. Nitrifikation und Denitrifikation) von Stickstoffverbindungen führen zu Lachgas-Emissionen aus Böden und entstehen

66 H. Nitsch und J. Schramek: [Grundlagen für eine Moorschutzstrategie der Bundesregierung \(bfn.de\): \[https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/landschaftsundbiotopschutz/Dokumente/SynopseMoorschutzstrategiefinal\\\_2.pdf\]\(https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/landschaftsundbiotopschutz/Dokumente/SynopseMoorschutzstrategiefinal\_2.pdf\)](https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/landschaftsundbiotopschutz/Dokumente/SynopseMoorschutzstrategiefinal_2.pdf).

67 <https://www.bmu.de/themen/natur-biologische-vielfalt-arten/naturschutz-biologische-vielfalt/moorschutz/>.

68 [https://www.thuenen.de/media/ti-themenfelder/Wasser/Organische\\_Boeden/ForschungsReport\\_2-11-Moor.pdf](https://www.thuenen.de/media/ti-themenfelder/Wasser/Organische_Boeden/ForschungsReport_2-11-Moor.pdf).

69 Distickstoffmonoxid; N<sub>2</sub>O.

---

vornehmlich aus der Umsetzung von Mineral- und Wirtschaftsdünger sowie der Umsetzung von Ernterückständen.

Vor dem Hintergrund des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) eine vom Thünen-Institut durchgeführte Studie zu „Umweltauswirkungen der Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF) in einem zukünftigen Klimaschutzabkommen“ unterstützt. Im Jahr 2016 erschien der Endbericht, mit Fokus auf den Waldsektor.<sup>70</sup> Im November 2013 erschienen „Handlungsoptionen für den Klimaschutz in der deutschen Agrar- und Forstwirtschaft“ im Rahmen eines Thünen-Reports.<sup>71</sup> Hierin werden Stand und Entwicklung der THG-Emissionen der Gruppen Landwirtschaft sowie Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) anhand der Daten aus der nationalen Emissionsberichterstattung dargestellt:

*„Die jährlichen THG-Emissionen der Quellgruppe 4 (Landwirtschaft) in Deutschland sind zwischen 1990 und 2010 von ca. 83 auf 67,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-äq. zurückgegangen: Dies entspricht einem Rückgang von knapp 19 % gegenüber 1990. Der Anteil der Quellgruppe 4 an den gesamten THG-Emissionen in Deutschland einschließlich LULUCF lag im Jahr 2010 bei 7,1 %. In der Quellgruppe LULUCF haben bis zum Jahr 2001 aufgrund der gestiegenen C-Vorräte in den Wäldern die Kohlenstofffestlegungen die Freisetzung aus anderen Flächennutzungen überwogen. Im Mittel der Jahre 1990 bis 2001 lag die Netto-Festlegung bei 27,7 Mio. t CO<sub>2</sub>-äq. pro Jahr. Danach überstieg die Kohlenstofffreisetzung die Festlegungen. Im Jahr 2010 lag die jährliche THG-Emission der Quellgruppe LULUCF bei 17,5 CO<sub>2</sub>-äq., dies entspricht 1,8 % an den gesamten THG-Emissionen in Deutschland. In der Kategorie Wald lag die Senkenwirkung im Jahr 2010 bei 25 Mio. t CO<sub>2</sub>-äq. bzw. -2,6 % der gesamten THG-Emissionen in Deutschland einschließlich LULUCF. Die Emissionen aus Acker- und Grünlandnutzung betrugen zusammen 37,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-äq. (3,9 % der Gesamtemissionen). Aus Feuchtgebieten und Siedlungen emittierten weitere 4,7 Mio. t CO<sub>2</sub>-äq. (0,5 % der Gesamtemissionen).“<sup>72</sup>*

Hinsichtlich der Fähigkeit Kohlenstoff zu binden, finden sich Angaben in einer zusammenfassenden Darstellung, die vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft auf Basis der

---

70 [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/2016-11-15\\_lulucf-post2020\\_uba-abschlussbericht\\_final.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/2016-11-15_lulucf-post2020_uba-abschlussbericht_final.pdf).

71 Osterburg B, et al. (2013): Handlungsoptionen für den Klimaschutz in der deutschen Agrar- und Forstwirtschaft. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 158 p, Thünen Rep 11. [https://literatur.thuenen.de/dig-bib\\_extern/dn052858.pdf](https://literatur.thuenen.de/dig-bib_extern/dn052858.pdf).

72 Ebd., Seite 4.

Bodenzustandserhebung<sup>73</sup> im Jahr 2018 publiziert wurde.<sup>74</sup> Verfasst wurde die Schrift von Wissenschaftlern des Thünen-Instituts für Agrarklimaschutz. Die Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE-LW), die vom Thünen-Institut durchgeführt wurde, ist die erste bundesweit einheitliche Inventur landwirtschaftlich genutzter Böden und ist in voller Länge im Internet abrufbar.<sup>75</sup>

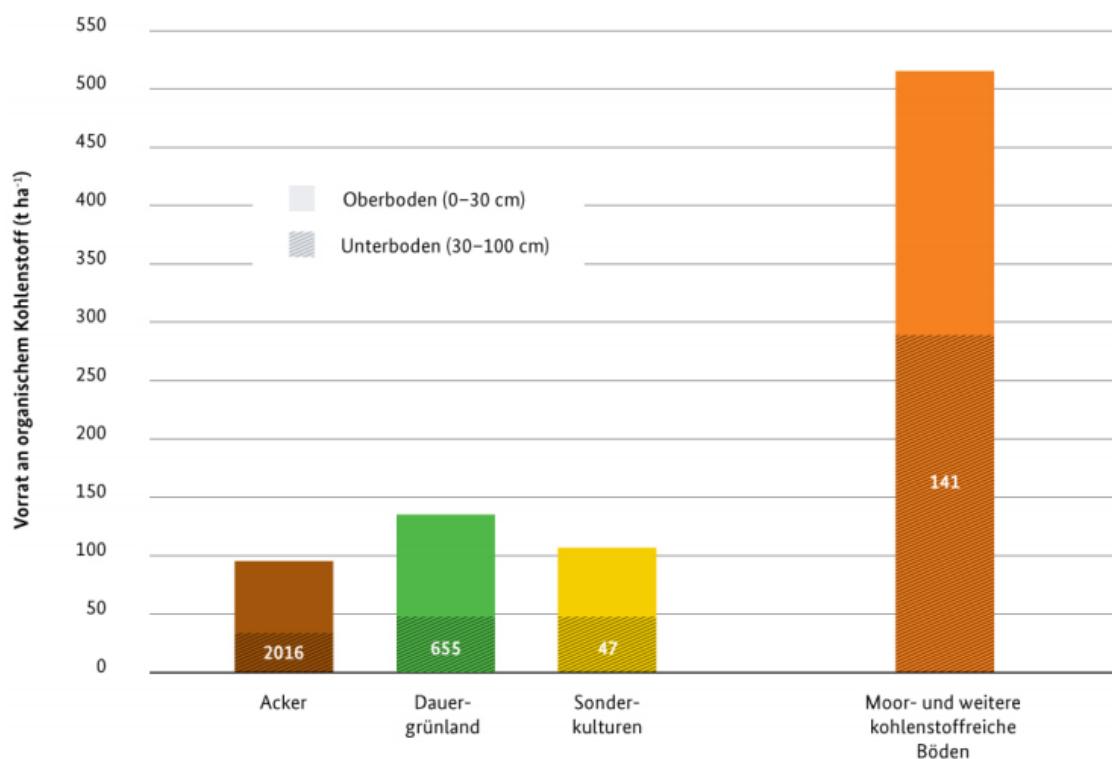
Hinsichtlich des Kohlenstoffvorrates in landwirtschaftlich genutzten Böden wird konstatiert<sup>76</sup>:

*„Die Vorräte an organischem Kohlenstoff zeigen einen deutlichen Zusammenhang mit der Landnutzung. Mineralböden unter Ackernutzung in Deutschland weisen in der Bodentiefe 0–30 cm im Mittel einen Vorrat an organischem Kohlenstoff von 61 t ha<sup>-1</sup> auf und haben damit 31 % weniger organischen Kohlenstoff als Böden unter Grünlandnutzung mit 88 t ha<sup>-1</sup>. Bilanziert man das gesamte Bodenprofil bis in einen Meter Tiefe, erhöhen sich die mittleren Vorräte an organischem Kohlenstoff in Mineralböden auf 96 t ha<sup>-1</sup> für Ackerböden und 135 t ha<sup>-1</sup> für Böden unter Dauergrünland. Im Durchschnitt befinden sich also rund 65 % des organischen Kohlenstoffs im Oberboden (0–30 cm) und 35 % im Unterboden (30–100 cm). Mineralische Oberböden sind generell kohlenstoffreicher als Unterböden, denn sie erhalten den meisten Kohlenstoffeintrag durch Wurzel- und Erntereste und organische Dünger.“<sup>77</sup>*

- 
- 73 Informationsseite mit weiterführenden Verweisen: [Thünen-Institut: Bodenzustandserhebung Landwirtschaft \(BZE-LW\) \(thuenen.de\)](https://www.thuenen.de/Institute/Boden/Bodenzustandserhebung_Landwirtschaft_(BZE-LW)_thuenen.de). Die Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE-LW) ist die erste bundesweit einheitliche Inventur landwirtschaftlich genutzter Böden.
- 74 Hrsg. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL): [Humus in landwirtschaftlich genutzten Böden Deutschlands \(bmel.de\)](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Bodenzustandserhebung.pdf;jsessionid=4599A701B3C1FDFA03B8FC6A65604D13.live832?blob=publicationFile&v=10); November 2018. Abrufbar unter: <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Bodenzustandserhebung.pdf;jsessionid=4599A701B3C1FDFA03B8FC6A65604D13.live832?blob=publicationFile&v=10>.
- 75 Weiterführende Hinweise siehe: [Thünen-Institut: Bodenzustandserhebung Landwirtschaft \(BZE-LW\) \(thuenen.de\)](https://www.thuenen.de/Institute/Bodenzustandserhebung_Landwirtschaft_(BZE-LW)_thuenen.de).
- 76 Seite 16 f in: Hrsg. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL): [Humus in landwirtschaftlich genutzten Böden Deutschlands \(bmel.de\)](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Bodenzustandserhebung.pdf;jsessionid=4599A701B3C1FDFA03B8FC6A65604D13.live832?blob=publicationFile&v=10); November 2018. Abrufbar unter: <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Bodenzustandserhebung.pdf;jsessionid=4599A701B3C1FDFA03B8FC6A65604D13.live832?blob=publicationFile&v=10>.
- 77 Zur exakten Berechnungsweise des Kohlenstoff- und Stickstoffvorrates siehe Seite 28 in: [https://www.thuenen.de/media/institute/ak/Allgemein/news/Thuenen\\_Report\\_64\\_final.pdf](https://www.thuenen.de/media/institute/ak/Allgemein/news/Thuenen_Report_64_final.pdf).

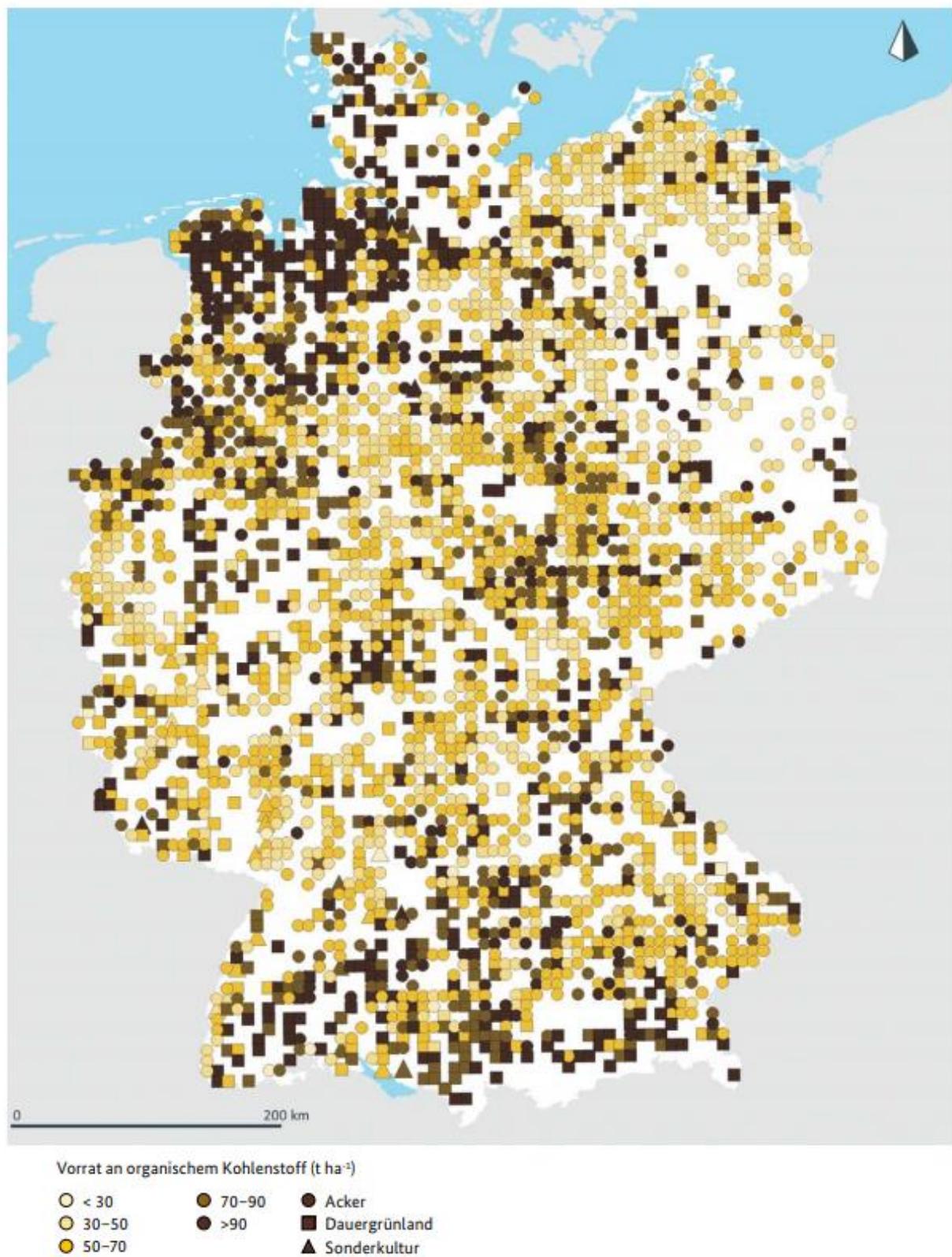
Diese Ergebnisse werden grafisch wie folgt präsentiert:

**ABBILDUNG 8:** Vorräte an organischem Kohlenstoff im Oberboden (0–30 cm) und Unterboden (30–100 cm) von Mineralböden mit Ackernutzung, Dauergrünland, Anbau von Sonderkulturen sowie in landwirtschaftlich genutzten Moor- und moorähnlichen kohlenstoffreichen Böden (Dauergrünland und Acker). Zahlen in den Säulen kennzeichnen die Anzahl der beprobteten Standorte.

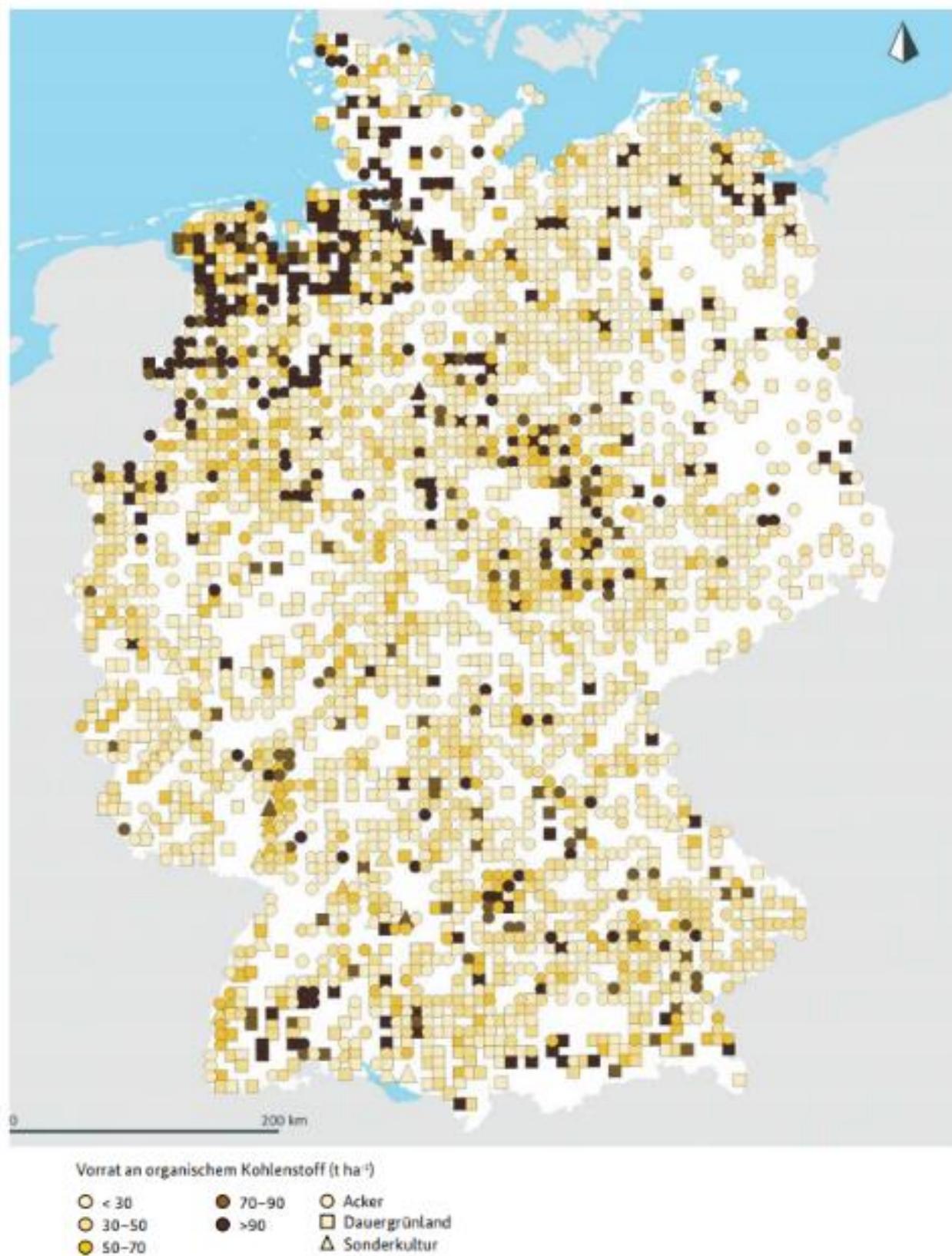


Daneben zeigen sich deutliche Unterschiede je nach geografischer Lage in Deutschland. Die Vorräte an organischem Kohlenstoff sind sowohl im Oberboden wie in den Unterböden besonders in Nordwestdeutschland ausgeprägt:

**KARTE 2:** Vorräte an organischem Kohlenstoff in Oberböden (0–30 cm). Stand August 2018. Die Symbole differenzieren die Landnutzungsarten Acker, Dauergrünland und Sonderkulturen (z. B. Wein, Obstbau, Hopfen).



**KARTE 3:** Vorräte an organischem Kohlenstoff in Unterböden (30–100 cm). Stand August 2018. Die Symbole differenzieren die Landnutzungsarten Acker, Dauergrünland und Sonderkulturen (z. B. Wein, Obstbau, Hopfen).

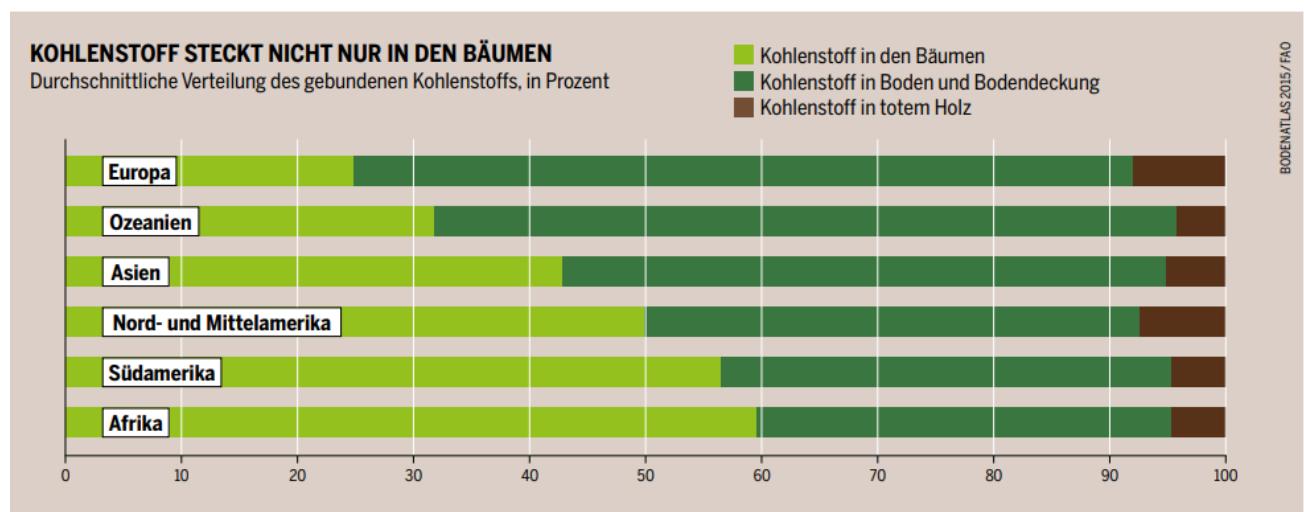


## 4. Allgemeinverständliche Darstellungen

Unter Fokussieren auf die Speicherung von Kohlenstoff in verschiedenen Bodentypen (Waldböden, Mooren und landwirtschaftlich genutzten Böden) wird in einer Arbeit der Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages eine Einführung in die Kohlenstoffbevorratung in Deutschland bereitgestellt.<sup>78</sup>

### 4.1. Bodenatlas 2015

Der Bodenatlas 2015 wurde als Kooperationsprojekt von der Heinrich-Böll-Stiftung, Institute for Advanced Sustainability Studies, Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland und Le Monde diplomatique erstellt. Hierin werden verschiedene umweltrelevante Themen zu Böden erläutert. Ein Kapitel (16: Der große Kohlenspeicher) widmet sich dem Potenzial von Böden als Speicher für Kohlenstoffverbindungen. Dabei wird deutlich, dass die Speicherkapazität von Böden insbesondere in Europa eine Rolle spielt. Hier wird im weltweiten Vergleich besonders viel Kohlenstoff im Boden gesammelt.<sup>79</sup> Europa emittiere viel mehr Treibhausgase, als es binde. Zugleich sinke aber die Qualität der Böden und damit auch seine Speicherkapazität.



<sup>78</sup> Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages: Speicherung von CO<sub>2</sub> in Böden; WD 8 - 3000 - 061/21 vom 5. Juli 2021. Im Internet abrufbar unter: <https://www.bundestag.de/resource/blob/854488/90e6d18844960c5aa81dfc675afec5a3/WD-8-061-21-pdf-data.pdf>.

<sup>79</sup> Bodenatlas 2015: [https://www.boell.de/sites/default/files/bodenatlas2015\\_iv.pdf?dimension1=ds\\_bodenatlas](https://www.boell.de/sites/default/files/bodenatlas2015_iv.pdf?dimension1=ds_bodenatlas). Seite 16.

#### 4.2. Max Planck Gesellschaft

Im Forschungsbericht 2011 hat das Max-Planck-Institut für Biogeochemie eine Informations-schrift zu Kohlenstoffspeicherung in Böden veröffentlicht.<sup>80</sup>

Hierin wird allgemeinverständlich erläutert, wo Kohlenstoff im Boden zu finden ist, Beispiele für offene Forschungsfragen benannt und Methoden genannt, mittels derer an der Frage des Alters, der Verweilzeiten des Kohlenstoffs im Boden und der zugrundeliegenden geochemischen Prozesse geforscht werden kann.

#### 4.3. Spektrum der Wissenschaft

Im Onlineangebot der populärwissenschaftlichen Zeitschrift „Spektrum der Wissenschaft“ finden sich verschiedene Artikel zur CO<sub>2</sub>-Speicherung in Böden.

In einem 2018 erschienenen Artikel („Wieviel Kohlendioxid kann die Erde noch schlucken?“)<sup>81</sup> werden verschiedene Senken von Ozeanen, Böden und Wäldern beschrieben, ihr Potenzial zur CO<sub>2</sub>-Speicherung dargestellt und auf bestehende Probleme und Gefährdungen hingewiesen.

In einem 2019 erschienenen Artikel<sup>82</sup> wird auf die Problematik der Freisetzung von CO<sub>2</sub> durch Mikroorganismen im Boden eingegangen. Landökosysteme gäben immer mehr Kohlendioxid aus den Böden ab. Das liege an einer zunehmenden Stoffwechselaktivität von Mikroben. Dies wiederum könnte langfristig die Auswirkungen des Klimawandels verschärfen.

Ein 2016 erschienener Artikel thematisiert die Folgen der Entwässerung von Mooren hinsichtlich einer erhöhten Brandgefahr und der steigenden Emissionen.<sup>83</sup>

#### 4.4. Umweltbundesamt

Das Umweltbundesamt bietet auf seiner Internetpräsenz verschiedene Informationsschriften zum Thema „Böden und Klimawandel“.

<sup>80</sup> Schrumpf, M.; Trumbore, S.: Unser wichtigster Kohlenstoffspeicher: Wie der Boden als dünne Haut der Erde globale Stoffkreisläufe und das Klima beeinflusst; in: Forschungsbericht 2011 - Max-Planck-Institut für Biogeochemie; [https://www.mpg.de/4705567/Kohlenstoffspeicher\\_Boden#:~:text=B%C3%B6den%20sind%20der%20gr%C3%B6%CC%9Fte%20terrestrische,f%C3%BCr%20den%20Klimawandel%20von%20Bedeutung.](https://www.mpg.de/4705567/Kohlenstoffspeicher_Boden#:~:text=B%C3%B6den%20sind%20der%20gr%C3%B6%CC%9Fte%20terrestrische,f%C3%BCr%20den%20Klimawandel%20von%20Bedeutung.)

<sup>81</sup> R. Knauer: Wieviel Kohlendioxid kann die Erde noch schlucken? Spektrum.de; 24.04.2018; <https://www.spektrum.de/news/kohlenstoffdioxid-kann-in-waeldern-und-meeren-gespeichert-werden-aber-wie-lang/1561156>.

<sup>82</sup> K. Ogle: Mikroorganismen im Boden setzen mehr CO<sub>2</sub> frei; Spektrum.de; 16.01.2019; <https://www.spektrum.de/magazin/boeden-setzen-immer-mehr-kohlendioxid-frei/1614978>.

<sup>83</sup> D. Lingenhöhl: Wenn Moore zu Zunder werden; Spektrum.de; 27.06.2016; <https://www.spektrum.de/news/wenn-moore-zu-zunder-werden/1414720>.

- „Anpassung: Handlungsfeld Boden“: Hier werden Anpassungsmaßnahmen vorgestellt, die darauf abzielen, den Boden vor Erosion, Humusverlust und anderen klimabedingten Risiken zu schützen.<sup>84</sup>
- „Boden beobachten und bewerten“: Diese Seite bietet einen Überblick über die wichtigsten Projekte auf Bundesebene zum Schutz der Böden.<sup>85</sup>
- „Emissionen der Landnutzung, -änderung und Forstwirtschaft“: Es wird die Auswirkung von Landnutzung und Forstwirtschaft auf den Kohlenstoffzyklus und die klimawirksame CO<sub>2</sub>-Speicherungskapazität dargestellt.<sup>86</sup>
- „Peatlands, Forests and the Climate Architecture: Setting Incentives through Markets and Enhanced Accounting“: In der Studie, die im Auftrag der Deutschen Emissionshandelsstelle (DEHSt) im UBA erstellt wurde, werden Schutzmaßnahmen für Moore auf internationaler Ebene formuliert.<sup>87</sup>
- Beitrag der Landwirtschaft zu den Treibhausgas-Emissionen: Eine einführende Darstellung zu den unterschiedlichen Arten treibhausgaswirksamer Emissionen innerhalb der Landwirtschaft.<sup>88</sup>

#### 4.5. Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung

Eine einführende Darstellung zur Studie des Leibniz-Zentrums für Agrarlandschaftsforschung zu „Humuszertifikate` für den Klimaschutz?“ findet sich auf der Internetseite des Instituts.<sup>89</sup> Zudem ist die Studie selbst im Internet abrufbar.<sup>90</sup>

#### 4.6. Thünen-Institut

Das Thünen-Institut wurde 2008 als Bundesforschungsinstitut im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aus drei Vorgängereinrichtungen gegründet. Landwirtschaftliche Forschungsfelder sind ein wesentlicher wissenschaftlicher Schwer-

84 <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/anpassung-an-den-klimawandel/anpassung-auf-laenderebene/handlungsfeld-boden>.

85 <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/boden-schuetzen/boden-beobachten-bewerten#boden-dauerbeobachtung->.

86 <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland/emissionen-der-lan-dnutzung-aenderung>.

87 <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/peatlands-forests-the-climate-architecture-setting>.

88 <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhaus-gas#treibhausgas-emissionen-aus-der-landwirtschaft>.

89 <https://www.leibniz-gemeinschaft.de/ueber-uns/neues/forschungsnachrichten/forschungsnachrichten-single/newsdetails/humuszertifikate-fuer-den-klimaschutz/>.

90 <https://tools.bonares.de/doi/doc/26/>.

punkt des Instituts. Auf verschiedenen Faktencheck-Seiten wird allgemein verständlich in verschiedene Problemfelder der Klimawirksamkeit von Böden eingeführt. Diese sind im Internet abrufbar.<sup>91</sup>

\*\*\*

---

91 <https://www.thuenen.de/de/thema/boden/>.